



Det här verket har digitaliserats vid Göteborgs universitetsbibliotek och är fritt att använda. Alla tryckta texter är OCR-tolkade till maskinläsbar text. Det betyder att du kan söka och kopiera texten från dokumentet. Vissa äldre dokument med dåligt tryck kan vara svåra att OCR-tolka korrekt vilket medför att den OCR-tolkade texten kan innehålla fel och därför bör man visuellt jämföra med verkets bilder för att avgöra vad som är riktigt.

This work has been digitized at Gothenburg University Library and is free to use. All printed texts have been OCR-processed and converted to machine readable text. This means that you can search and copy text from the document. Some early printed books are hard to OCR-process correctly and the text may contain errors, so one should always visually compare it with the images to determine what is correct.



**Rapport**

**R27:1992**

# **System och komponenter**

**Datorbaserade system med  
komponenter för styrning och  
övervakning av byggnader**

**Arne Rejdin  
Sten Hellström**

V-HUSETS BIBLIOTEK, LTH



15000

400129228

# **Byggeforskningsrådet**

R27:1992

LUNDS TEKNISKA HÖGSKOLA  
VÄG- OCH VATTENBYGGNAD  
BIBLIOTEKET

**SYSTEM OCH KOMPONENTER**

**Datorbaserade system med komponenter för  
styrning och övervakning av byggnader**

Arne Rejdin

Sten Hellström

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 890307-1  
från Byggeforskningsrådet till Rejdin & Co AB, Stockholm.

## REFERAT

1980-talet kan betraktas som informationsteknikens hittills mest påtagliga decennium. Detta om man ser på utbud av nya tjänster och produkter men också i form av avregleringar och standard.

Som ofta är fallet i nya branscher är mångfalden av liknande produkter överväldigande stort, vilket inte alltid varit gynnsamt.

För 90-talet kan förväntas en fortsatt tillväxt av etablerade och nya faciliteter, trots att världsekonomin kan verka dämpande några år framåt.

Men ovanstående medför också att IT-området förmodligen går in i en konsolideringsfas, i olika bemärkelser. Detta är relevant även för de styr- och övervakningsutrustningar vilka, mer eller mindre sofistikerade, byggs in i moderna kontor, fabriker och hem.

Samma gäller de nya komponenter som beskrives i rapporten. Systemen och delsystemen måste tillämpas och testas i praktiskt bruk, för att skapa förtroende hos användaren, samtidigt som ekonomin skall kunna deklarerars.

Syftet med rapporten är att ge en beskrivning av de moderna komponenter som användes i nya system. Vidare att visa bakgrunden till systemuppbyggnaden samt exemplifiera. Valet av exempel, ur en mångfald, är svårt. Grundkoncepten är dock begränsade. Rapporten avslutas med sammanfattning och synpunkter på val av koncept.

---

I Bygghörsningsrådets rapportserie redovisar forskaren sitt anslagsprojekt. Publiceringen innebär inte att rådet tagit ställning till åsikter, slutsatser och resultat.

Denna skrift är tryckt på miljövänligt, oblekt papper.

R27:1992

ISBN 91-540-5470-2  
Bygghörsningsrådet, Stockholm

## INNEHÅLL

		Sid
1	DATORBASERADE SYSTEM FÖR STYRNING OCH ÖVERVAKNING	7
1.1	Introduktion	7
1.2	Val av begrepp	8
1.3	Bakgrund: AI-forskning	10
1.4	Kunskapsbaserade expertsystem	11
1.5	Tillämpningsområden. Framtida roll. Översiktsbild	13
1.6	Embedded expert systems	17
1.7	Beslutsfattande i automatiserade system	18
1.8	"Intelligens" i sensorer; systemaspekter	19
1.9	Litteratur och referenser	21
2	SYSTEM I TILLÄMPNING OCH UNDER UTVECKLING	22
2.1	Inledning	22
2.2	Tillämpning och utveckling i Japan	
	Exempel	25
2.2.1	Intelligenta hus	25
2.2.2	Intelligenta byggnader	36
2.2.3	Drift och underhåll av intelligenta byggnader. Marknaden	45
2.3	Tillämpning och utveckling i Frankrike	
	Exempel	47
2.3.1	Intelligenta hus	47
2.3.2	Standard för hem-system	49
2.3.3	Europas största domotique-satsning i Metz	53
2.3.4	Övriga synpunkter	57
2.4	Tillämpning och utveckling i Sverige	
	Exempel	59
2.4.1	Intelligenta hus. Larmlagen	59
2.4.2	Electrolux system 2000	61
2.4.3	Servicehus - Trygghetssystem	66
2.4.4	Intelligenta byggnader	74
2.4.5	ELECTRUM	74
2.4.6	SE-Banksgruppen. Bankhus 90	81
2.4.7	SL. Tunnelbanebyggnaderna	92
2.5	Litteratur och referenser	101

		Sid
3	KOMPONENTER-BYGGKLOTSAR	102
3.1	Introduktion	102
3.2	Översikt av mikroteknologiområdet	102
3.3	Allmänt om mikromekanik	105
3.4	Sensorer	106
3.5	Intelligenta sensorer	110
3.6	De enskilda sensorerna	114
3.7	Exempel på nya framställningsmetoder	124
3.8	Val av sensorer	131
3.9	Övriga komponenter, översikt	132
3.10	Tyristorer m m	133
3.11	Fiberoptik	175
3.12	Supraledare	178
3.13	Logikkretsar	184
3.14	Minnen	208
3.15	Mikroprocessorer	212
3.16	Grindmatriser	215
3.17	ASIC (Applied Specific Integrated Circuit)	215
3.18	Motstånd, kondensatorer, induktanser och reläer	216
3.19	Montering och byggsätt	217
3.20	Litteratur och referenser	219
4	SAMMANFATTNING	221
4.1	System	221
4.2	Komponenter	222
5	VAL AV SYSTEM OCH KOMPONENTER	224
5.1	Synpunkter	224

**FÖRORD**

Rapporten, **Datorbaserade system med komponenter för styrning och övervakning av hus och byggnader**, är indelad i tre avsnitt.

*Det första avsnittet* belyser den inverkan och framtida roll som forskningen om Artificiell Intelligens haft och kan komma att få vid systemutformningen, t ex i form av kunskapsbaserade expertsystem och "embedded" sådana. I detta avsnitt har fil. dr Carl Wilhelm Welin medverkat.

*Det andra avsnittet* innehåller ett urval exempel på tillämpning av system, av vilka en del är i bruk och några under inbyggnad.

Betydligt fler koncept är studerade än de som ingår i rapporten. Av utrymmesskäl har antalet exempel begränsats, men de som valts visar ett principiellt mönster för systemuppbyggnaden.

Jag är tacksam för den vänlighet, generositet och tid som systemleverantörer och användare visat och gett mig. Ett speciellt tack riktas till Sveriges Tekniska Attachéer och den välvilliga medverkan från deras kansli.

*Det tredje avsnittet* beskriver komponenter. Det är omfångsrikt och delvis detaljerat. Anledningen härtill är att komponenter utvecklats mycket de senaste åren och en grundläggande kännedom om dem krävs för att förstå deras verkningsätt.

En tydlig tendens är att förmågan, det "intelligenta" agerandet, både att registrera och agera allt mer överförs till komponentnivå.

Komponentavsnittet är utarbetat av teknologie licentiat Sten Hellström. som jag är stort tack skyldig.

*Rapporten avslutas* med en kort sammanfattning och några synpunkter inför det val som måste göras, när en byggnad skall förses med system för styrning och övervakning.

Stockholm april 1992

Arne Rejdin





# 1 DATORBASERADE SYSTEM FÖR STYRNING OCH ÖVERVAKNING

## 1.1 INTRODUKTION

Datavetenskapens utveckling under de senaste 30 åren har gett människorna stora möjligheter till globalt men också nära informationsutbyte. Den fragmentering/specialisering som pågått länge inom naturvetenskap och andra discipliner medför ett större behov av sökning i t ex databaser. Vi har fått möjlighet att skapa system som hjälper oss till att bättre styra vår miljö och säkerhet i önskad riktning. De kan rätt anpassade och valda öka vår rationalitet och medverka till en bättre livskvalitet.

I Sverige, liksom i många andra länder, kommer de äldre att bli allt fler under 90-talet och början av 21:a seklet. Det är troligt att datorbaserade system med nya, ofta elektronikbaserade komponenter kan hjälpa, stödja och förbättra liv och vård för dessa grupper, varför inte med minskade kostnader?

Populärt kan man säga att vi går och bär på en gigantisk informationsprocessor med säte i vår hjärna. Tanken, d v s funktionen hos vårt eget centrala nervsystem, är en gåta. Vad sker egentligen, när vi på ett ögonblick känner igen en person vi inte sett på många år? Det kan inte förklaras. Vi kallar människans förmåga att förstå (m m) för Naturlig Intelligens.

Inom datavetenskapen finns det forskargrupper som valt att rubricera sin verksamhet Artificiell Intelligens, AI.

AI-forskningens strävan att i datorsystem efterlikna den naturliga intelligensen och bidra till förståelsen av den har hittills varit relativt begränsad och kontroversiell.

En grupp av system som har sina rötter i AI är de s k Expert- och kunskapsbaserade systemen. Dessa har fått praktisk tillämpning och expanderar nu starkt. Man har också s k (Embedded Systems), många av dem enkla men nu t ex med moderna sensorer och övrig systemteknik alltmer sofistikerade.

Neurala Nät, NN, fick ett nyvaknat intresse genom att man först nu fått datorer som är snabba nog för att inom rimlig tid kunna göra simuleringar i form av datorprogram. Grundelementet har ett funktions sätt som är en förenklad variant av en biologisk nervcell, en neuron. För alla praktiskt intressanta NN finns en inläsningsalgoritm, där neuronens beteende mellan in- och utsignal styrs genom inläsning. Intressanta försök har gjorts med överföring av skrift till tal, beslut i komplicerade värderingsfrågor m m.

Det råder ingen tvekan om att det under 90-talet kommer att utvecklas många nya styr- och övervakningssystem för byggnader av olika kategorier.

## 1.2

### VAL AV BEGREPP

I inledningen nämns något om naturlig intelligens och artificiell intelligens. Utan att gå vidare in på detta i sig svåra frågor kan det underlätta för rapporten och den potentiella läsaren att välja några begrepp, hur bräckliga de än må te sig.

Benämningen intelligenta eller smarta hus myntades i USA i mitten av 70-talet och spred sig sedan över världen. Innan system och komponenter beskrivs, anges nedanstående begrepp.

**Intelligenta hus** är utrustade med avancerade system för hemautomatisering samt tele- och datakommunikation. Ofta finns möjligheter att genom programmering eller via telefonnätet utifrån styra funktionen hos olika system. Målgrupperna är dels penningstarka och tekniskt intresserade husköpare, dels gamla och sjuka.

**Intelligenta byggnader** är benämningen på kontorsbyggnader utrustade med avancerade system för kontors- och byggnadsautomation samt tele- och datakommunikation. Målet är att skapa en arbetsplats som möjliggör ökad produktivitet och kreativitet samt erbjuder goda möjligheter till nationell och internationell telekommunikation.

**Intelligenta städer** är utrustade med olika typer av nätverk som skall underlätta kommunikationen mellan intelligenta byggnader och hus. Vidare förekommer olika former av informations- och databaser samt system för stadsautomatisering.

#### Nät

LAN (Local Area Network)	Inom huset eller byggnaden.
WAN (Wide Area Network)	Större nät för sammankoppling av byggnader, städer, länder.
MAN (Metro Area Network)	WAN benämnes ibland MAN.

#### Ledare

Tvinnade koppartrådar	Twisted pairs.
Koaxial ledare	
Optisk ledare	Glasfiber.

### Hastigheter

Överföringshastigheter anges i bit/sek (b/s). En bit är digitalt 0 eller 1.

Vanliga telefonsamtal motsvarar 64 Kbit/sek = 64 000 b/s. Området kallas för *Smalband*. Vanlig CU-ledare är tillräcklig.

Mellan 64 Kbit/s och 2 Mbit/sek = 2 000 000 b/s betecknas området som *Wideband*. Koaxledare är vanlig.

Över 2 Mbit/sek kallas området *Bredband*. I dag sänds med hastigheter till 565 Mbit/sek, men detta är inte gränsen för höga hastigheter. Optiska ledare används i allt större utsträckning.

### 1.3 BAKGRUND: AI-FORSKNING

Programvaruteknologin betraktas med rätta som en av nyckelteknikerna i den moderna tekniska utvecklingen och som den självklara basen för sofistikerade övervaknings- och reglersystem och servicefunktioner av olika slag. Man har i detta sammanhang haft speciellt stora förväntningar på möjligheterna att praktiskt tillämpa resultat och tekniker från det forskningsområde inom datavetenskapen som benämns artificiell intelligens (AI) och som började redan på 50-talet med försök till simulering på dator av mänskliga kognitiva processer såsom förståelse, problemlösning, minne och inlärning.

Eftersom begreppet intelligens i sig är vagt och ofta uppfattas som något typiskt mänskligt, som skiljer oss från maskiner, har det varit notoriskt svårt att definiera och avgränsa artificiell intelligens som forskningsområde, och termen är väl i viss mån fortfarande kontroversiell. Några mer eller mindre strikta försök till definition av AI är de följande:

- Användningen av datorteknik för att belysa principerna för intelligens i allmänhet och mänskligt tänkande i synnerhet.
- Ett delområde av kognitionsvetenskapen med inriktning på maskiner, eller studiet av fysiska symbolmanipulerande system.
- Vetenskapen om hur man får maskiner att göra saker som skulle kräva intelligens om de gjordes av människor.

Några av de delområden som AI-forskningen sysselsätter sig med är system för explicit representation av kunskap, utnyttjande av klassisk logik och alternativa logiksystem för att beskriva människans sätt att resonera och lösa problem, metoder för heuristisk, dvs icke uttömmande, smart sökning efter lösningar på problem, automatisk teorembevisning och automatisk programmering. Andra forskningsområden är simulering av synigenkänning (machine vision), förståelse och generering av text och dialog på naturligt mänskligt språk, maskininlärning, teori för planering och samarbete mellan autonoma agenter och robotteknologi.

#### 1.4 KUNSKAPSBASERADE EXPERTSYSTEM

Det kommersiella intresset för AI-forskningen och dess tekniska resultat som ökade mer eller mindre explosionsartat i början av 80-talet berodde framför allt på de framgångar som man hade vid utvecklandet av s k kunskapsbaserade expertsystem, dvs programsystem som självständigt eller när de konsulteras av en användare löser problem och ger råd som normalt anses kräva en mänsklig specialist. En handfull av dessa expertsystem, såsom MYCIN för diagnos av blodinfektioner, DENDRAL för masspektrografisk analys, R1/XCON för datorkonfigurering och PROSPECTOR för geologisk prospektering kom att fungera som effektiva och lättillgängliga demonstratorer som öppnade även Wall Streets ögon för den nya teknikens möjligheter.

Kunskapsbaserade system, eller expertsystem, innebär alltså att man praktiskt tillämpar resultat från AI-forskningen för att konstruera datorsystem som kan användas för att lösa arbetsuppgifter inom områden där svårigheter att formulera eller ekonomiskt använda exakta, uttömmande lösningsmetoder gör att man inte kunnat använda traditionell datateknik, såsom numerisk analys, databassystem eller administrativ databehandling. Utvecklingen av ett expertsystem baseras på idén att man skall kunna samla in kunskaper, fakta och erfarenheter genom intervjuer med mänskliga experter på en tillämpning och lagra dem i en dator så att de kan utnyttjas på ett sätt som liknar den mänskliga expertens sätt att lösa problem.

Men kunskapstekniken, utövad av en s k kunskapsingenjör, innebär också möjligheter att på ett mer rationellt och effektivt sätt dokumentera, kommunicera och utnyttja kunskaper som finns implicit samlade inom ett företag. Själva den insamling och systematisering av en viss typ av odokumenterad specialistkunskap som en kunskapsingenjör gör kan ha ett stort värde i sig även om den inte leder till ett produktionsstätt expertsystem. Omvänt har det i vissa fall visat sig att insamlingen av en mängd utspridd och odokumenterad specialistkunskap hade kunnat leda till sådana säkerhetsproblem för organisationen att expertsystemet aldrig kom till stånd.

Med kunskapsbaserade expertsystem menar man alltså i första hand datorsystem för att lösa problem inom ett avgränsat tillämpningsområde som normalt brukar lösas av mänskliga specialister. Ett sådant datorsystem baseras på att kunskaper, fakta och erfarenheter inom området kan lagras i en s k kunskapsbas (jmftr databas), som ligger till grund för och styr datorns resonemang och problemlösning. Kunskapsbasen skall lätt kunna förändras och utvidgas efter hand, dels medan expertsystemet utvecklas och testas under prototypstadiet, dels som ett led i det löpande underhållet av systemet allteftersom tillämpningen utvecklas och förändras eller ny, förbättrad expertkunskap blir tillgänglig från mänskliga specialister.

Problemlösningskunskapen är alltså inte "hårdlödd" in i expertsystemet, som i traditionella datorsystem, och det är alltså en karaktäristisk skillnad mellan dem och kunskapsbaserade expertsystem att algoritmer och metoder för problemlösning på sätt och vis betraktas som data som kan tillföras systemet efterhand och lätt inspekteras. Denna systemutvecklingsmodell understöds av speciella programvaruverktyg, s k expertsystemskal, som finns kommersiellt tillgängliga i många olika varianter, och som understöder problemorienterad kunskapsrepresentation på en mycket hög maskinberoende nivå.

Exempel på andra resultat från AI-forskningen som expertsystemskalen tillhandahåller är tekniker för slutsatsdragning och andra typer av symbolisk databehandling, såsom mönsterigenkänning av objekt- eller begreppsstrukturer. Några huvudtyper av slutsatsdragning som utnyttjas är s k måldrivna (bakåtkedjande) och datadrivna (framåtkedjande) inferensmekanismer, resonemang baserade på analogier med typfall eller prototypexempel, s k ickemonoton logik, och "fuzzy logic", som möjliggör resonemang med osäkerhetsfaktorer i indata och slutsatsregler fortplantade till resultaten.

Dessa tekniker innebär bl a att expertsystemen i stort sett som mänskliga experter kan resonera med osäkra indata och tumregler som fungerar i en majoritet av fallen men inte alltid. De kan göra s k "default"-antaganden i avsaknad av fullständig information som korrigeras när det kommer in kompletterande data, eller om antagandena leder till motsägelser.

Vad beträffar den typ av expertsystem som är avsedda att konsulteras i dialog med en mänsklig användare förväntar man sig vanligen också att de skall ha förmåga att förklara och motivera sina resultat och rekommendationer. Detta kan realiseras med hjälp av en speciell förklaringskomponent i expertsystemskalet som utnyttjar den explicita representationen av data och problemlösningskunskaper och formulerar om de regler som använts för att lösa problemet på naturlig svenska eller engelska etc.

Andra typer av expertsystem kan vara avsedda att fungera autonomt, t ex för en viss övervaknings- eller reglerfunktion, eller inbäddade som del av ett större datorsystem. I dessa fall är naturligtvis förklaringsfunktionen mindre viktig.

Den första generationen av expertsystem som utvecklades var i allmänhet isolerade system som utvecklings- och driftsmässigt hanterades avgränsade från andra datasystem. Man har sedan dess insett att ett brett utnyttjande av kunskapssystemen gör det nödvändigt att integrera dem med existerande datorsystem, databehandlingsrutiner och databassystem inom organisationen.

## 1.5 TILLÄMPNINGSSOMRÅDEN

Man kan urskilja ett antal olika delvis överlappande klasser av praktiska tillämpningar av expertsystemtekniken, av vilka de viktigaste är de följande.

- **Systemövervakning och reglersystem:** T ex för att övervaka en industriell tillverkningsprocess eller ett kraftverk etc, och slå larm eller sätta in reglerande åtgärder om något onormalt inträffar.
- **Dataanalys:** Att analysera och tolka en ström av inkommande mätvärden, signaler eller andra data i realtid och avgöra vilka bakomliggande fenomen de tyder på, t ex en typ av ubåt. Man har här speciella svårigheter med störningar, ofullständiga data, mätfel etc. Ett paradexempel är svårigheterna med datoriserad taligenkänning.

- **Felsökning (diagnos):** En av de vanligaste tillämpningstyperna, som kan avse både felsökning på tekniska system och diagnos i medicinska sammanhang.
- **Planering och konfigurering:** Att bestämma en sekvens av åtgärder som på ett optimalt sätt leder till önskat mål inom givna begränsningar. Att välja komponenter för och sätt att montera en produkt som ska levereras för en viss användning.
- **Rådgivning:** Oftast i form av en dialog där systemet frågar ut användaren om hans behov och successivt avgränsar valet av lösning. Tillämpningarna kan gälla allt från val av metoder för hållfasthetsberäkningar till rådgivning om försäkringskassans bidragsregler och val av lämpligt semester mål.
- **Designstöd:** Intelligent assistans med biblioteksfunktioner för konstruktionselement, övervakning att konstruktionsregler följs etc, vid konstruktion av en produkt som skall fylla en viss funktion till ett visst pris och med vissa tekniska begränsningar etc.
- **Datorstödd undervisning:** Istället för att använda expertsystemet till att lösa verkliga problem kan man använda det i pedagogiskt syfte till att gå igenom olika simulerade typfall och låta en student lära sig hur en expert skulle lösa problemen.

Det har i praktiken visat sig att den kunskapsbaserade tekniken passar bäst för att utveckla tillämpningar som har slutna, begränsade kunskapsområden där de relevanta faktorerna lätt kan avgränsas och identifieras. Man bör inte välja en alltför stor tillämpning; den bör vara lagom svår för att få demonstrations-effekt men inte överväldigande. Man bör undvika tillämpningar som kräver mycket "common sense"-kunskap;



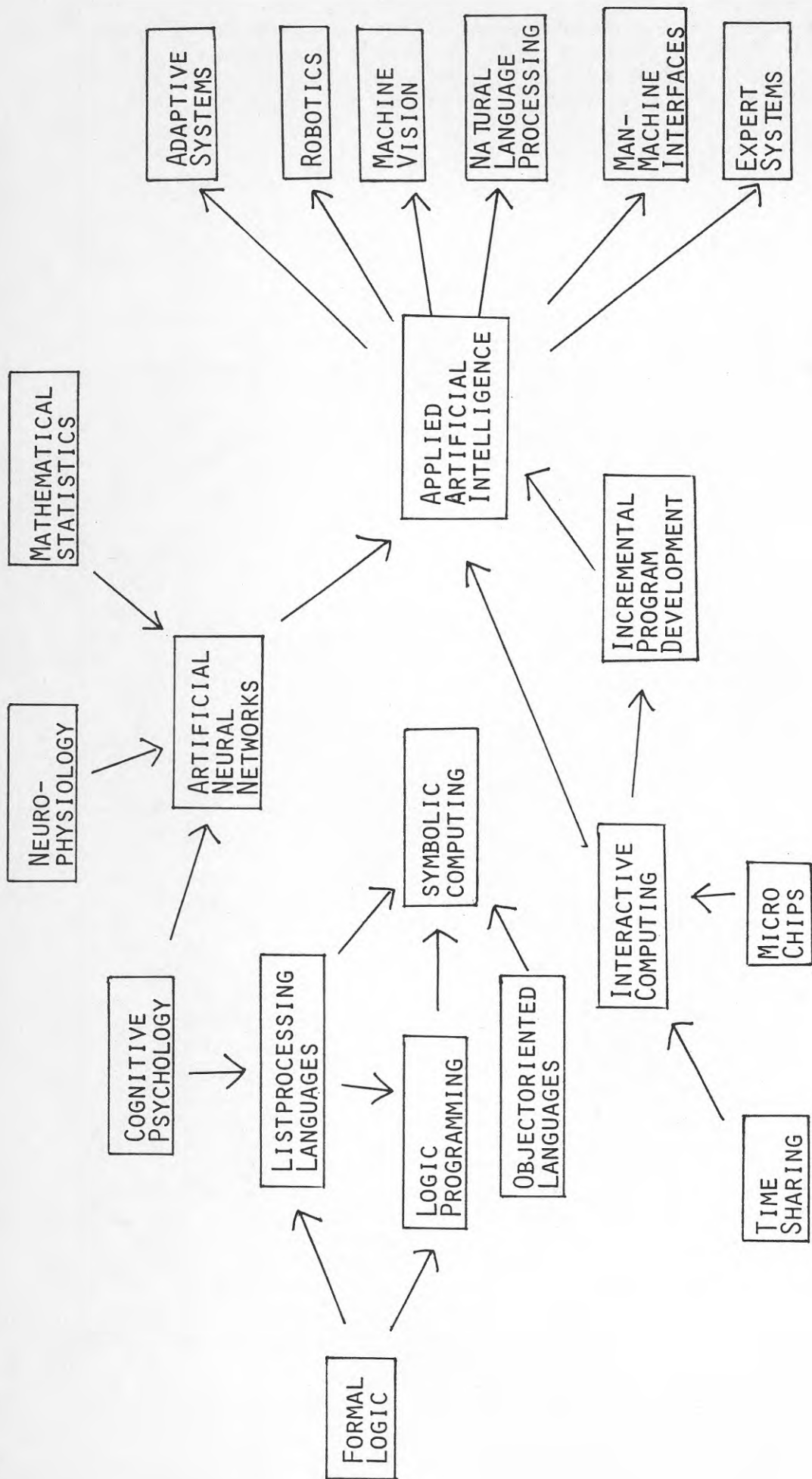
den har visat sig svårare att fånga än man tror. Det måste finnas experter på området som kan dela med sig av sin kunskap. Problemet bör kräva att man hanterar data i symbolisk form och använder ett sätt att resonera som inte passar in i mönstret för traditionell databehandling.

### **Framtida roll**

De mycket högt ställda förväntningarna på expertsystemtekniken har väl inte riktigt infriats, och antalet expertsystem som finns i lönsam kommersiell drift idag är inte på långt när så stort som man väntade sig i mitten av 80-talet. På senare år har man bl a fått konkurrens av s k artificiella neurala nätverk, en teknik vars anhängare delvis är starkt antagonistiska till företrädarna för klassisk symbolbehandlande AI och expertsystem.

De artificiella neurala nätverken kan tränas automatiskt med exempeldata från ett tillämpningsområde; man behöver alltså inte mata dem med explicita kunskapsrepresentationer och problemlösningsregler. De har i många fall visat sig mycket framgångsrika när det gäller dataanalys och klassificering och hantering av illa strukturerade problem där man i stort sett bara känner indata och önskade resultat men inte någon explicit lösningsmetod. Å andra sidan är det svårt att producera motiveringar till ett resultat som ett neuralt nätverkssystem kommer fram till, eftersom den automatiserade inlärningsprocessen inte leder till att några explicita regler eller symboliska strukturer lagras i systemet.

En annan trend som i viss mån begränsat den förväntade kommersiella expansionen för s k klassisk AI är att en del av de tekniker som på 70-talet och början av 80-talet ännu räknades som typiska AI-tekniker, t ex kraftfulla arbetsstationer med interaktiv fönstergrafik, inkrementell systemutveckling och rapid prototyping, objektorienterad programmering och i viss mån även logikprogrammering numera räknas som "mainstream" datateknik.



ÖVERSIKTSBILD

## 1.6 EMBEDDED (INBYGGDA) EXPERT SYSTEMS

Termen, embedded expert system, innehåller två koncept.

Vart och ett av koncepten är välkänt, men i kombination täcker de något som behöver sin egen definition.

Definitionen är gjord från följande:

- **Ett system är embedded**, om det arbetar autonomt med ingen eller liten mänsklig påverkan. Systemet kan vara fysiskt stort eller litet. Man kan inte anse ett distribuerat system som embedded.
- **Ett system är ett expertsystem**, om det i stort använder, arbetar med explicita regler för problemlösning - till skillnad från enbart matematiska och fysiska lagar. Systemen kan använda formler för kontroll och reglering. När dessa formler är baserade på erfarenheter hos experter, kan systemen definieras som regelbaserade.

Härav följer att man kan klassificera expertsystem med hänsyn till deras påverkan från verkligheten (the outer world), t ex sensorer, aktuatorer.

Man skiljer mellan påverkan från människor och från andra in- och utsignalkällor.

		input	
		humans	world
output	humans	consultants	monitors
	world	assistants	embedded e.s.

Fig. 1.6-1 Classification of expert systems depending on the source/destination of input/output.

Embedded-expert-systemen får sina indata från t ex sensorer och levererar utdata t ex till aktuatorer. De är autonoma och behöver ingen permanent mänsklig aktivitet för sin funktion. Därför finns som regel ej heller behov av anslutna grafikutrustningar.

Viktiga förutsättningar är:

- **Embedded expert systems** måste ha förmågan att samarbeta med andra program.

- **Embedded expert systems** måste ha förmågan att verka i en "real time"-miljö; t ex måste de vara i stånd att hantera avbrott, ha tillräcklig effektivitet etc.

Expertsystemen måste vara fullt embeddable, "inbyggbara", i andra system och måste därför vara autonoma - självstyrande. Säkerhets- och minnesfunktioner är viktiga aspekter då systemen skall användas i dagligt bruk.

## 1.7 **BESLUTSFATTANDE I AUTOMATISERADE SYSTEM**

På den högsta nivån i ett automatiserat system är detta som regel indelat i följande subsystem:

- Mätningar av olika parametrar
- Beslutsfattande
- Åtgärder

Mätningarna och åtgärderna är till sin natur distribuerade, d v s utspridda i rum och tid. Men beslutsfattandet är ännu så länge för det mesta centraliserat och baserat på analytiska och algoritmiska metoder. Ofta behövs en operatör som läser av och värderar. Till sin hjälp kan han använda sk off-line rådgivande expert- eller kunskapssystem för att fatta ett beslut om eventuella åtgärder.

Fysiskt kan man dela upp hela det automatiska övervaknings- och styrsystemet i delsystem vilka är mer eller mindre autonoma. Valfrihet finns givetvis att använda stödsystem till mänskliga operatörer i olika delar av systemet.

Problemet är att ett komplext system med många sensorer genererar mer data än vad som effektivt kan hanteras av människor och konventionella instrument, i realtid. Speciellt gäller detta när bilder och olika robotar är involverade.

Vi kan därför se en trend att göra mätdelsystemen - sensorerna - mer "intelligenta". Vad man behöver är expert-sensor-system vilka kan komprimera datamängden till ett antal "regler" och på så sätt undvika överbelastning.

Normalt kan kunskapen om ett komplext övervaknings- och styrsystem inte bli helt distribuerad. Som en regel bör det finnas ett överordnat skyddssystem. Idealiskt för ett sådant är om det kan fördefinieras till att fatta snabbare beslut vid faro- och konfliktsituationer än en människa förmår.

Sensorer beskrivs mera ingående i kapitel . Nedan ges synpunkter på dessa ur systemaspekt.

## 1.8 "INTELLIGENS" I SENSORER, SYSTEMASPEKTER

En sensor är, som namnet anger, en enhet som känner något i den fysikaliska världen. Det kan vara temperatur, tryck, stålning, gas etc. Om ett expertsystem skall benämnas embedded, innehåller det i regel ett antal sensorer. Sensorerna tar över operatörens arbete, t ex förser systemet med aktuella fakta.

Sensorer är mycket olika. Sensorelementet kan bestå av elektroder som blir våta, membraner som oscillerar i en ström, dioder som reagerar på ljus etc. Utmärkande är att sensorn producerar en elektrisk signal som reflekterar den storlek av den fysikaliska parametern som den känner.

De sex "nivåerna" i vetenskapen om sensorutveckling har angetts enligt nedan:

- |   |                                   |
|---|-----------------------------------|
| 1 | Signal/storhet - enhetsomvandling |
| 2 | Miljökompensation                 |
| 3 | Kommunikation via ett nät         |
| 4 | Systemdiagnos                     |
| 5 | Logik/actuation (agera)           |
| 6 | Artificiell intelligens           |

**På första nivån** försiggår endast en omvandling till Volt eller Ampère, omvandlingen till A oftast inom området 4-20 mA. En orsak är att nollavläsning är svår att skilja från en felaktig sensor. Det finns sällan ett linjärt förhållande mellan fysikalisk parameter och producerad elektrisk enhet.

**Nivå 2** avser miljökompensation. Man kan t ex bygga in en sensor i en sensor om miljöfaktorerna i sig själva påverkar mätningen. Som exempel kan en smart gas-sensor förse med en temperaturkompenserande sensor.

**Nivå 3 och 4** behandlar kommunikation till nät och diagnos. Dagens sensorer är vanligen anslutna till en PLC (Progr. Logic Contr.), en PC eller liknande mindre dator. Sensorsignalerna kan integreras med datorns elektroniska kretsar.

Det finns flera fördelar med en sådan smart integrerad sensor. Ledningsvägen blir kort, vilket minskar störning-brusnivå. De elektroniska kretselementen kan utföra preprocessing av mätningarna från sensorn, t ex linjäritet och komprimering av datamängd. Resultatet blir färre och "renare" data till en högre systemnivå, vilken kan vara en människa.

**På nivå fem** är sensorn utvecklad att utföra logiska operationer och agera. Den blir en typ av microprocessor som "instrument", "regulator" eller "controller". På detta sätt kan ett sådant instrument mäta ett stort område av t ex olika temperaturer eller tryck. De blir säkrare och ekonomiskt gynnsammare än de typiska analogt arbetande utrustningar man nu så ofta ser i kontrollpaneler.

**Den sjätte nivån** är utveckling av expertsensorn. Denna sensor är inte avsedd för gripbara parametrar av typen flöde, temperatur, tryck, saltmängd etc. Istället utvecklas den för att känna/observera subjektiva karakteristika av typen hälsopåverkande parametrar.

Sammanfattningsvis kan sägas att sensorer utgör en viktig byggsten i moderna styr- och övervakningssystem och att deras betydelse växer i och med utvecklingen och integration med elektronikkretsar av olika slag. Detta innebär inte att övriga mer klassiska komponentslag som reläer, brytare m m spelat ut sin roll. Mera som detta se kapitel 3.

## 1.9 LITTERATUR OCH REFERENSER

Området AI-forskning är svårt att avgränsa. En generös tolkning av AI är att det mesta i modern databehandling har sina rötter i AI-forskning. Med snävare definition blir det emellertid inte mycket kvar, troligen endast de s k expertsystemen. Den som är intresserad av AI och debatten rörande detta område rekommenderas rekommenderas bok nr 1 av följande.

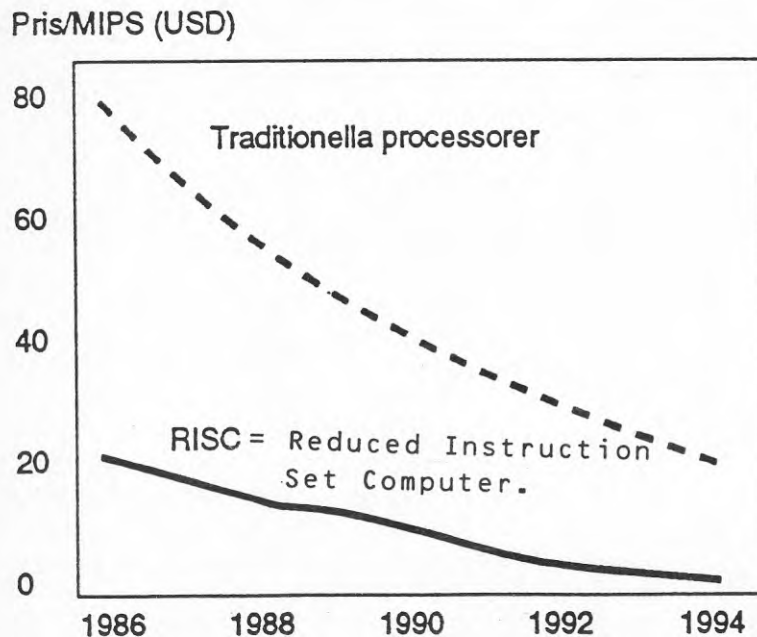
*I övrigt har gjorts ett begränsat val av litteratur och referenser.*

- 1 Graubard S R 1988  
THE ARTIFICIAL INTELLIGENCE DEBATE  
MIT Press Cambridge
- 2 Harmon P, King D 1985  
EXPERT SYSTEMS  
J Wiley & Sons Inc New York
- 3 Parsaye K, Chignell M 1988  
EXPERT SYSTEMS FOR EXPERTS  
J Wiley & Sons Inc New York
- 4 Turban E 1990 second edition  
DECISION SUPPORT AND EXPERT SYSTEMS  
Macmillan Publishing Company New York
- 5 Bøegh J, Kyster H, Grønnegaard Nielsen L  
1989  
EMBEDDED EXPERT SYSTEMS  
Elektronikcentralen Hörsholm Danmark
- 6 Östberg O, Whitaker R, Amick B 1988  
DEN AUTOMATISERADE EXPERTEN  
Teldok Nyströms Bollnäs
- 7 Holst G M, Vedin B A 1991  
NY INFORMATIONSTEKNIK - NYA STRUKTURER  
Teldok Rapport 68 Brolins Stockholm
- 8 Utbult M 1990  
BOR OCH JOBBAR VI ANNORLUNDA MED DATA-TELE-  
TEKNIK  
Teldok Rapport 60 Brolins Stockholm
- 9 Davidson C 1988  
EXPERT SYSTEMS AND THE USE OF INFORMATION IN  
BUILDING DESIGN AND CONSTRUCTION  
Journal of Documentation, Volume 44 nr 2,  
Montreal, Quebec, Canada

## 2 SYSTEM I TILLÄMPNING OCH UNDER UTVECKLING

### 2.1 INLEDNING

Informationsteknikens förändringstakt ser inte ut att minska; tvärtom accelererar den på vissa områden. Genom utveckling av komponenter och programvaror kommer troligen priset på datorkraft att reduceras kraftigt.

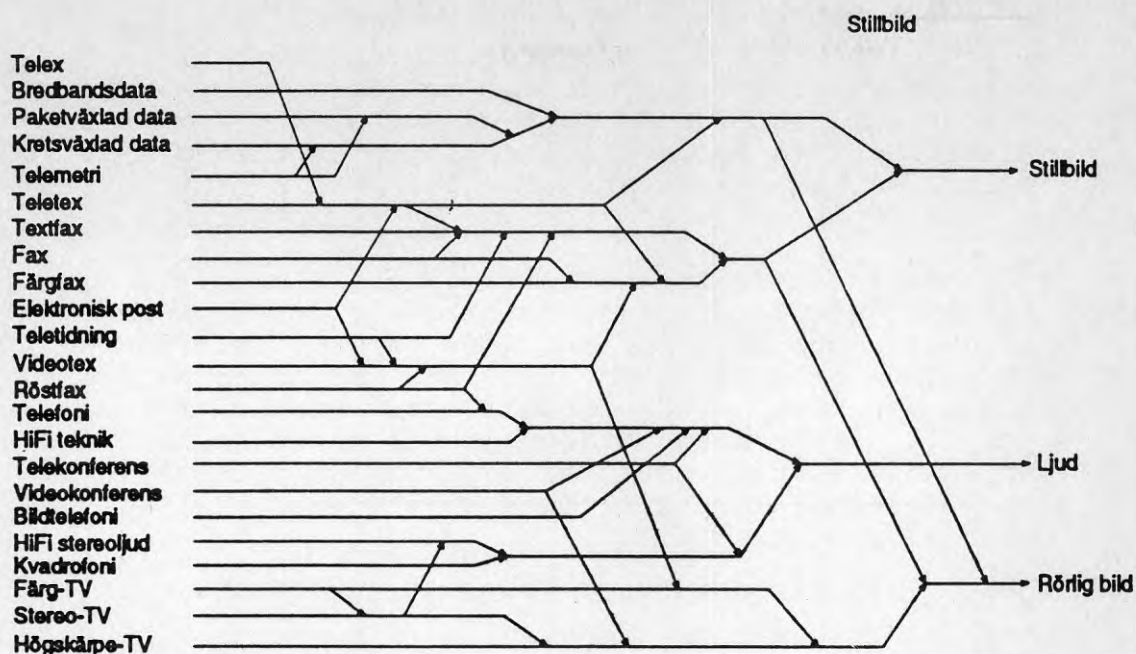


Figur 2.1:1. En prognos över datakraftens prisutveckling visar att priset mätt i USD per MIPS (miljoner instruktioner per sekund) kommer att rasa. Pris/prestandaförhållandet för de traditionella processorerna faller drastiskt medan RISC-processorerna blir billigast.

Källa: The Gartner Group/Computer Sweden, 9 februari 1990.

Digitalisering är en generell trend och i telesammanhang har den ofta dolts under kodnamnet ISDN. Begreppen är inte synonyma. Kanske blir det digitalisering och integration men inte nödvändigtvis enligt ISDN-standard. Ett antal länder tävlar om att ange hur långt de kommit på vägen mot ett helt digitalt telesystem, "integrated services digital network (ISDN)". På så vis skall många olika tjänster kunna växa samman, integreras, figur 2.1:2.





Figur 2.1:2. Integration av tjänster

Källa: AIIT/Teleskolan, 18 mars 1991

ISDN innebär en viss typ av standard; man vet vad man talar om, i form av bandbredd, signaler etc, när man nämner denna akronym. Frågan är om det är just den kombinationen som är så helt bestämd.

Att närma sig människan är en annan strävan, som utvecklats i t ex system som efterliknar ögat och dess informationsbehandlande system, så långt vi känner detta.

Att direkt använda penna eller skrift gör tangentbordet i det närmaste överflödigt.

En ny verklighet - en virtuell verklighet kan redan nu användas.

En speciell typ av både in- och utmatning är den som förekommer när man utnyttjar så kallad virtuell verklighet. Genom att trä på sig handskar och glasögon (de liknar mest en cyklop) eller kanske sitta framför en speciellt utvecklad skärm kan man träda in i en konstgjord, tredimensionell verklighet som vore den helt reell.

Denna konstlade verklighet kan vara ett flygplan uppe i luften eller en bil på vägen; tillämpningar som utbildning och övning är uppenbara, gränsen mot simulering oklar.

Det finns andra sätt att utnyttja inmatning av data via rörelser. Det går att dirigera en dator med interaktiva handskar eller för den delen med musikdirigentens taktpinne i luften, som då följs på t ex optisk väg. Den första tillämpningen är faktiskt musikalisk, men nästa arbetsområde, som man arbetar på, kan mycket väl bli styrning av rymdskepp.

AT&T (American Telephone & Telegraph) tänker sig tillämpningar direkt i det vanliga telefonsystemet. Det gäller att låta personer som talar i telefon uttrycka sig också genom att vifta med händerna och beröra människor eller föremål i sin närhet. För mer specifika användningsområden provar man taktila handskar som skall göra det möjligt för exempelvis en undervisande läkare att följa en students skalpell under kirurgisk träning.

Om detta låter exklusivt, låt oss gå till en absolut motsats: ett japanskt företag låter kunderna möblera sina kök på detta sätt - företaget säljer elektronik och möbler som skall ingå i köket. Nu kan kunderna prova olika möblemanng och se hur de passar, utan att köpa eller låna och flytta runt, annat än i datorn.

Så småningom skall kanske elektroniken i detta kök kopplas samman och sedan kopplas samman med elektroniken i hela hemmet. Det blir rent av ett av framtidens intelligenta hem. För att apparaterna skall kunna kommunicera, måste det då finnas ett standardiserat kommunikationssystem eller gränssnitt, som det brukar kallas. I Europa pågår utvecklingen av en sådan standard just för hemelektronik, bland annat inom Eureka samt EG-programmet för forskning och utveckling inom informationsteknik - Esprit.

Möjligheterna är alltså stora när det gäller utveckling av nya och sofistikerade styr- och övervakningssystem.

Man bör dock hålla i minnet att konsumenter, speciellt för boende, är relativt konservativa vad gäller ny teknologi. Marknadsförarna buntar därför ofta ihop systemen med andra produkter. T ex har många system blivit byggda kring säkerhets- eller underhållningssystem.

När fler "intelligenta" produkter kommer in i hemmet eller huset, blir synergieffekter och ekonomi krafter som verkar för vidare sammankoppling.

Slutligen, för att begränsa materialet, väljs tre länder för exemplifiering av nutid och framtid inom området, Japan, Frankrike och Sverige, ty utveckling av system och standard är i stort sett global, om än kryddad med olika nationell mentalitet, demografi och geografi.

## 2.2 TILLÄMPNING OCH UTVECKLING I JAPAN

Japan har blivit en av de ledande nationerna vad gäller tillämpning och utrustning av styr-övervakningssystem för hem och andra byggnader. Många faktorer medverkar till detta. Den starka ekonomin, en tätposition inom IT, hög medellivslängd och många kvinnor ute i arbetslivet innebär att allt fler köper hemelektronik. De senaste årens satsning på systemlösningar kanske också är första fasen i en exportoffensiv.

### 2.2.1 Intelligent hus

Det har i Japan och på andra ställen presenterats en hel del olika typer av utrustning och teknik för intelligenta hus. Ofta består utrustningen i ett intelligent hus av någon form av kontrollenhet, från vilken man kan styra och övervaka funktionen hos de olika intelligenta systemen i huset. Kopplade till denna enhet är tekniska system av olika slag, t ex klimat, belysning, hushållsutrustning, ljud och bild samt säkerhetssystem. För överföring av kontroll- och informationssignaler mellan dessa och kontrollenheten fordras speciella kommunikationssystem, ofta kallade hembussar.

Systemen för hemautomatisering i ett intelligent hus kan ofta delas in i tre kategorier:

- *system för hemhushållning och skötsel,*
- *system med tjänster för hemförvaltning, kultur och utbildning,*
- *system för kommunikation och kontroll.*

I princip omfattar den första kategorin olika tekniska hjälpmedel och apparater för att underlätta boendet, medan den andra kategorin omfattar olika typer av tjänster för att underlätta och förnöja den privata tillvaron. Kategori tre tar upp de olika typer av kommunikationssystem som behövs dels för att styra och övervaka de olika tekniska systemen i det intelligenta huset, dels för att överföra information. Det framgår att kategori ett och tre är vad man skulle kunna kalla hårdvarurelaterade medan kategori två är mjukvarurelaterad, d v s mer beroende av ett datorprogram och databaser för att fungera än av en maskin.

#### **System för hemhushållning och skötsel**

De olika systemen för hemautomatisering i ett intelligent hus kan sägas vara ett andra steg i arbetet med att underlätta och automatisera tillvaron i hemmet. Det första kom med kylskåpet, tvättmaskinen och dammsugaren. Avsikten med dessa var ju densamma som med dagens intelligenta system, nämligen att underlätta tillvaron i hemmet.

Vad man nu söker automatisera och underlätta skötseln av är bl a de olika klimatsystem som finns i ett hus. Detta innebär t ex att driften av värme- och luftkonditioneringssystem styrs automatiskt med hjälp av sensorer i olika rum. I vissa fall är automatisk öppning/stängning av persienner och fönster integrerad i dessa system. Målet här är inte bara att optimera klimatet i olika delar av huset utan också att så långt det är möjligt minimera energiåtgången.

När det gäller hushållsutrustning finns olika exempel på förenkling/automatisering. Funktionen hos köksutrustning som mikrovågsugn, riskokare etc är ofta möjlig att tidsprogrammera. Vidare är den vanligen försedd med automatiska på/avstängningssystem för att öka säkerheten. Ett annat exempel är centrala dammsugningssystem, där varje rum har ett uttag som är kopplat till rörsystem med undertryck. Genom att koppla en lång slang och dammsugningsmunstycke till detta slipper man släpa på tunga dammsugare, t ex i trappor.

Ett mål i de intelligenta husen är att öka säkerheten. Av det skälet installeras ofta en hel del övervakningsutrustning i form av rök-, gas- och vattensensorer. Vidare är det vanligt att dörrar och ibland fönster är utrustade med TV-kameror eller sensorer för att hindra ovälkomna gäster. Man tror också att olika former av övervakningssystem kommer att underlätta skötseln av gamla i framtiden.

För att öka flexibiliteten hos dessa system har man försökt att i stor utsträckning göra det möjligt att förprogrammera skötseln samt styra och övervaka funktionen utifrån. Detta möjliggörs om man sammankopplar de i rubriken nedan beskrivna kommunikationssystemen med t ex det allmänna telefonnätet. Då blir det möjligt att utifrån styra och övervaka t ex klimat- och belysningssystem samt från en telefon på arbetet starta eller stoppa hushållsutrustning av olika slag.

### **System och tjänster för hemförvaltning, kultur och utbildning**

De ökade kommunikationsmöjligheterna har under den senaste tiden gjort det möjligt att från hemmet ta del av centrala data- och informationsbaser av olika slag. Genom olika typer av Videotextsystem är det möjligt att från hemmet sköta en hel del av vad man skulle kunna kalla hemförvaltningen. Så t ex kan man från den egna dataterminalen sköta den privata ekonomin via direkta kontakter med post och bank. Vidare kan man handla och boka resor, hotell, nöjen etc.

Från den egna dataterminalen kan man också ta del av underhållning och kultur. Det finns t ex möjligheter att följa kurser av olika slag samt ta del av underhållning i form av musik och filmer.

## **System för kommunikation och kontroll**

En förutsättning för att de ovan nämnda systemen skall fungera är någon typ av kommunikationssystem. Detta skall mellan de olika enheterna i huset och nätverk utanför kunna överföra dels kontrolls signaler, dels informationssignaler. Då det i ett intelligent hus ofta finns en rad olika typer av utrustning, gäller det att hitta ett medium, ofta i form av en ledning, för att överföra signaler av skilda slag. Det är också önskvärt att denna ledning skall vara lätt åtkomlig för att underlätta inkoppling och installation i olika delar av huset.

Man talar idag om två olika system för överföring av kontroll- och informationssignaler. Det ena systemet, ofta kallat kabelhembuss, utnyttjar speciellt installerade kablar för signalöverföring, medan det andra systemet, vanligen kallat elledningshembuss, utnyttjar husets befintliga elledningar.

### **Kabelhembuss**

Buss är en benämning för någon typ av samlingsledning. Kabelhembussen är en samlingskabel installerad i intelligenta hus för överföring av kontroll- och informationssignaler. Den kan vara utformad på många olika sätt men består vanligen av ledningar och kablar för överföring av olika typer av signaler. Ofta utnyttjas koaxialkabel för överföring av bredbands- och höghastighetsdata. För överföring av ljud- och låghastighetsdata används partvinnad kabel. I vissa fall kombineras kablar av detta slag till en enhetskabel, som alltså kan överföra all slags information. Detta ger förstås mycket goda möjligheter till informationsöverföring. Nackdelen är att enhetskabeln måste installeras separat. Särskilt i färdigbyggda hus kan detta vålla problem och öka kostnader.

### **Elledningshembuss**

De i alla hus redan existerande elledningarna kan också utnyttjas för överföring av kontroll- och informationssignaler. Problemet är att elledningens egenskaper som informationsöverförande media inte är de bästa, detta eftersom motståndet i ledningen varierar och brusnivån är relativt hög. Vidare varierar överföringskvaliteten beroende av belastningen på elledningen. I vissa fall kan också signaler från ett hus störa funktionen hos system i närliggande hus.

För att möjliggöra kommunikation via elledningar fordras speciella kontrollmoduler. Dessa kan sägas ha flera uppgifter, t ex till- och fränkoppling till elledningen, modulation och demodulation, synkronisering med elledningens frekvens, generering och tolkning av informationsbitar och paket etc.

En uppenbar fördel med detta system är att man inte behöver installera speciella kommunikationsledningar. Således kan man också i äldre hus införa olika typer av intelligenta system.

### **Japansk standard**

#### **Kabelhembuss (ET 2101)**

På olika håll i Japan har man arbetat med att utveckla enhetliga system för signalöverföring, t ex gemensam kabel, en s k hambuss, för överföring av alla de olika signaler som förekommer i ett intelligent hus.

I juli 1986 startades en kommitté för standardisering av en japansk hambuss. Kommittén organiserades av EIAJ (Electronic Industries Association of Japan) och REEA (Radio Engineering and Electronic Association). Baserad på erfarenheter från denna antogs i september 1988 en standard kallad ET 2101.

Som framgår av figur 2.2.1:1 bygger denna standard på en kombinerad kabel bestående av maximalt två koaxialkablar och fyra partvinnade kablar. På denna kabel kan man överföra all slags information. En av de partvinnade kablarna används för kontroll, de övriga för informationsöverföring. Av koaxialkablarna utnyttjas en för kontroll och informationsöverföring medan den andra enbart används för själva överföringen.

I systemet utnyttjas kontrollkanalerna för att kontrollera olika system och apparater samt för kommunikation dem emellan med den s k paketöverföringsmetoden. Informationskanalerna utnyttjas för kommunikation och överföring av information med den s k kanalöverföringsmetoden.

De informationsuttag som utnyttjas för att ta del av information via systemet för hemautomatisering är standardiserade på samma sätt som eluttag. De är utformade i ett lågprisutförande utan aktiva element och kan förinstalleras i huset.

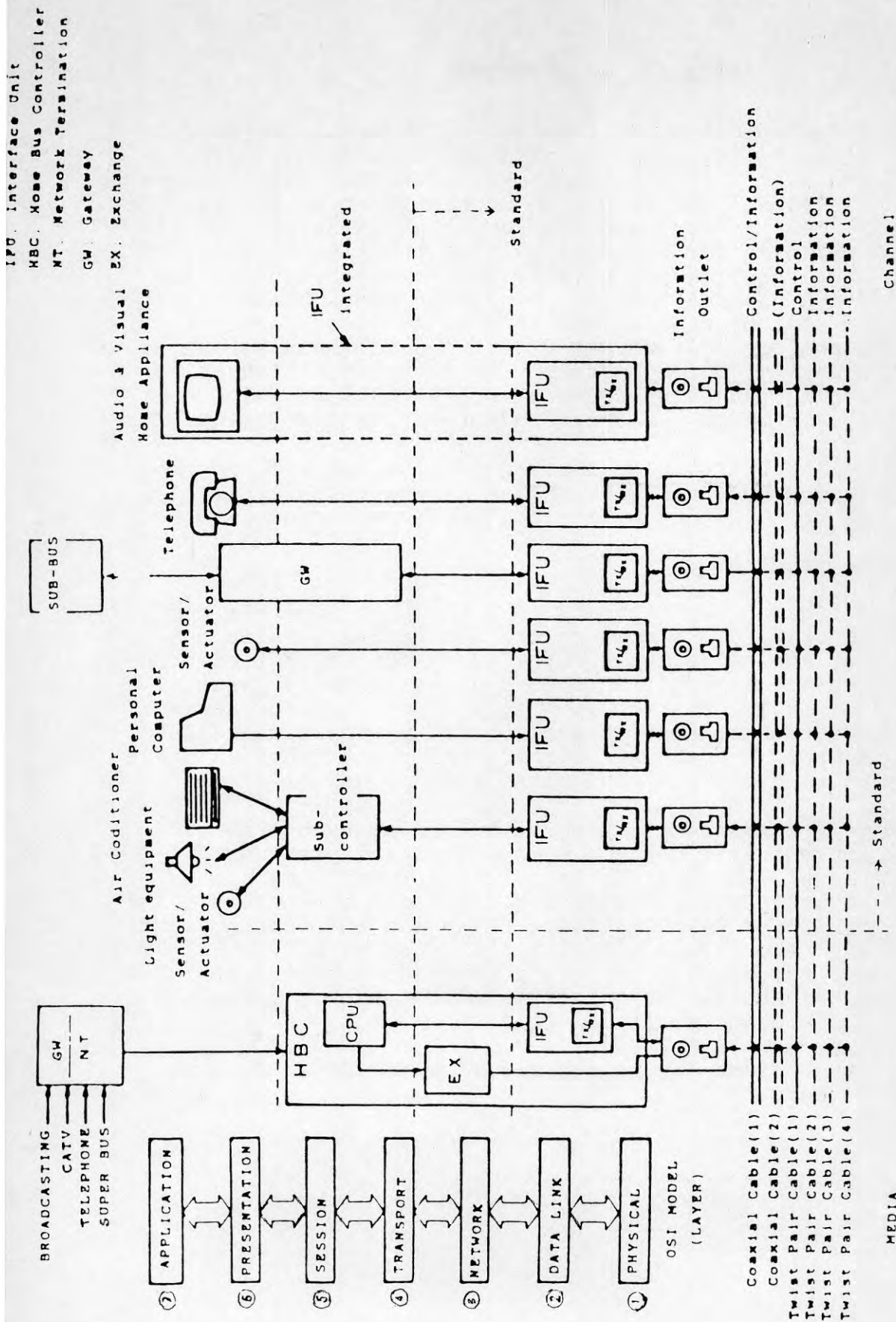


Figure 2.2.1:1. Japansk standard för kabelhembuss - ET 2101.

IPU: Interface Unit  
 HBC: Home Bus Controller  
 NT: Network Termination  
 GW: Gateway

Audio & Visual Home Appliance

Telephone

SUB-BUS

Personal Computer

Air Conditioner

Light equipment

Sensor/Actuator

Sensor/Actuator

IFU integrated

Standard

Information Outlet

Control/Information

(Information) Control Information Information Information

Channel

Standard

MEDIA

Coaxial Cable (1)  
 Coaxial Cable (2)  
 Twist Pair Cable (1)  
 Twist Pair Cable (2)

OSI MODEL (LAYER)

7 APPLICATION  
 6 PRESENTATION  
 5 SESSION  
 4 TRANSPORT  
 3 NETWORK  
 2 DATA LINK  
 1 PHYSICAL

BROADCASTING  
 CATV  
 TELEPHONE  
 SUPER BUS

GW  
 NT

HBC  
 CPU  
 EX  
 IFU

GW

Sub-controller

IFU

IFU

IFU

IFU

IFU

IFU

IFU

*Elledningshembuss.*

Ett förslag till standard finns. Det lades fram 1986.

I detta förslag till standard föreskrivs enfas 2- eller 3- trådars elledning som överföringsmedium. Vad överföringshastigheterna beträffar talar man om en låghastighets- och en höghastighetsmetod. Den lägre hastigheten, med överföring på 100 eller 200 bps, utnyttjas för kontroll av ljus och klimatsystem etc. Dessa hastigheter används idag av de flesta system för hemautomatisering. Den högre hastigheten utnyttjas för överföring med 4800 eller 9600 bps och skall kunna användas för de flesta ändamål inom hemautomatisering, förutom överföring av rörliga bilder. För de lägre hastigheterna utnyttjas AM modulation och för de högre s k Spectrum Spread för överföring.

De i detta standardförslag föreskrivna systemen möjliggör kommunikation mellan maximalt 255 terminaler på upp till 200 meters avstånd från varandra.

**Hemrobotar**

Det har i Japan talats en del om att utveckla hemrobotar, dvs robotar som kan utföra sysslor som matlagning, städning etc. En faktor som har ökat intresset för dylika robotar är att också i Japan allt fler kvinnor engagerar sig i arbete utanför hemmet. Vidare ökar andelen gamla i det japanska samhället snabbt, och man ser för framtiden ett behov av hjälp med skötsel och omhändertagande av dessa.

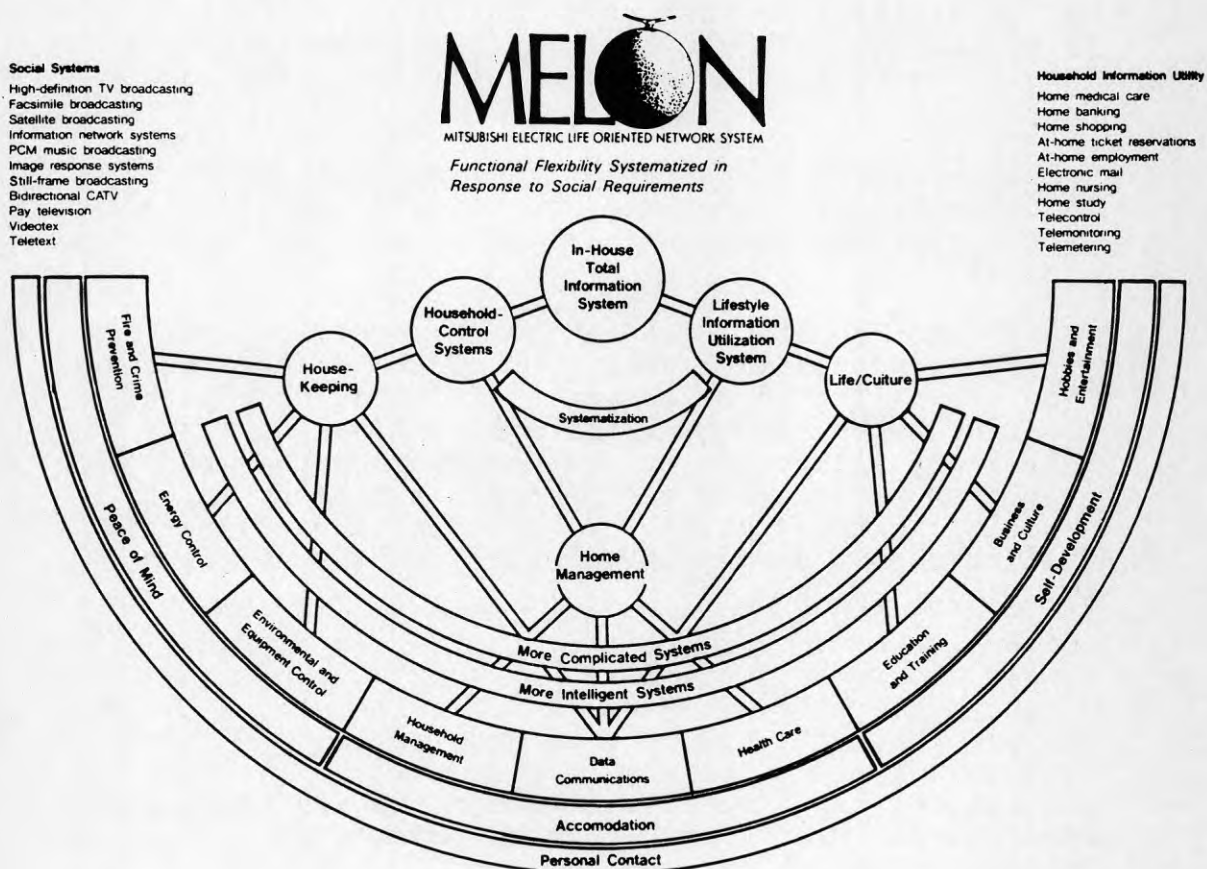
I diskussionerna kring utvecklingen av hemrobotar koncentrerar man sig kring ett antal problemställningar. För det första gäller det att utveckla en robottyp som är så flexibel att den kan utföra olika sysslor i hemmet. Vidare anser man att roboten måste vara energisnål och lätt att underhålla. Viktigt är att roboten kan fungera i hemmiljö och i harmoni med människorna. Man talar här om en 'mjuk', säker och fullkomligt pålitlig robot.

Utvecklingen av hemrobotar i Japan ligger ännu på konceptstadiet.



**Exempel på intelligenta hus i Japan**

Vid Mitsubishi har man utvecklat ett HA-system kallat MELON - Mitsubishi Electric Life Oriented Network System. Se figur 2.2.1:2.



Figur 2.2.1:2. Mitsubishi Life Oriented Network System.

Eftersom de flesta hus är uppbyggda på olika sätt och livsmönstret hos de flesta husägare är olika har man velat skapa ett så flexibelt system som möjligt. Detta är baserat på tre olika typer av HA-system: ett för hushållning, ett för hemförvaltning och ett för liv/kultur. De båda senare har ännu inte börjat marknadsföras.

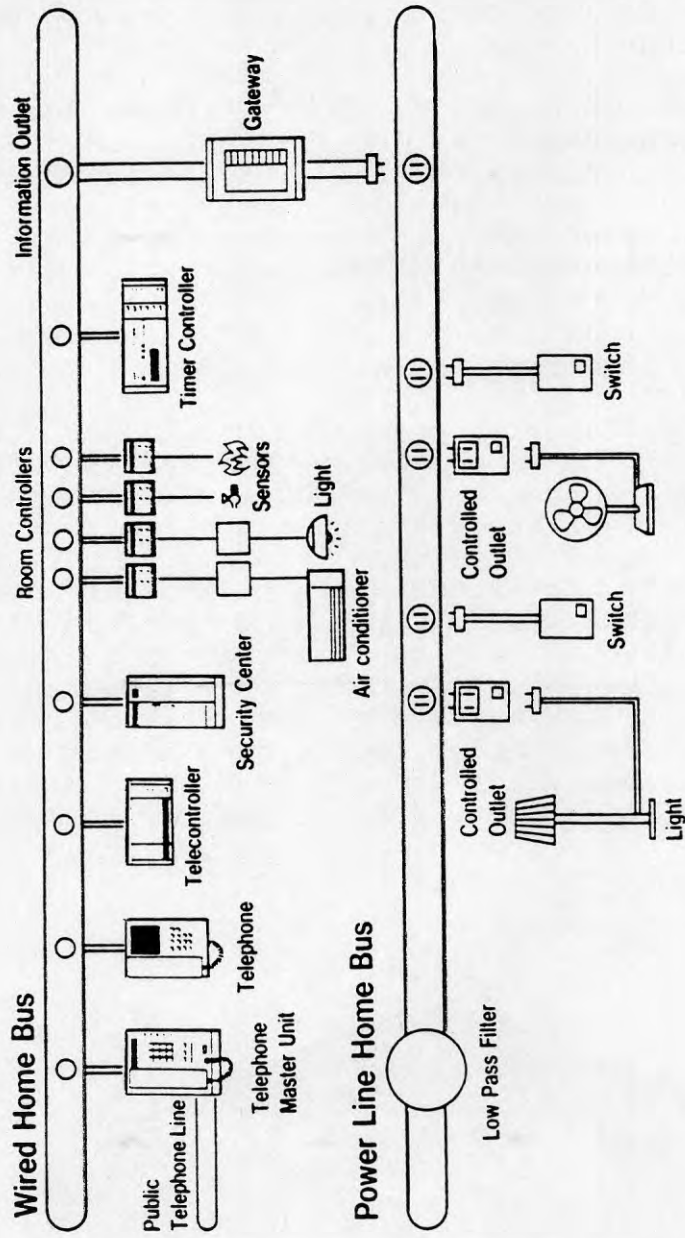
En central roll i MELON intar hushållningssystemet. Detta består av system för säkerhet/kontroll, hemtelefoni och telekontroll. Man utvecklar också ett system för kontroll och överföring av videosignaler.

### **Hembussar**

MELON-systemet är baserat på en kabel- och elledningshembuss. För att öka flexibiliteten i systemet har man utvecklat en gateway mellan de olika bussarna.

Kabelhembussen består av en koaxialkabel och en par-tvinnad kabel. Den senare utnyttjas främst för telefonöverföring, medan koaxialkabeln används för övriga ändamål.

Hemtelefon-, säkerhets- och telekontrollsystemen är installerade på kabelhembussen medan kontrollsystemet för överföring på elledningen är installerat på elledningshembussen. De olika systemen har modularstruktur, vilket gör att de kan fungera både på egen hand och tillsammans med de andra systemen. En speciell gateway förmedlar kommunikation mellan de två bussarna. Systemuppbyggnaden framgår av figur 2.2.1:3.



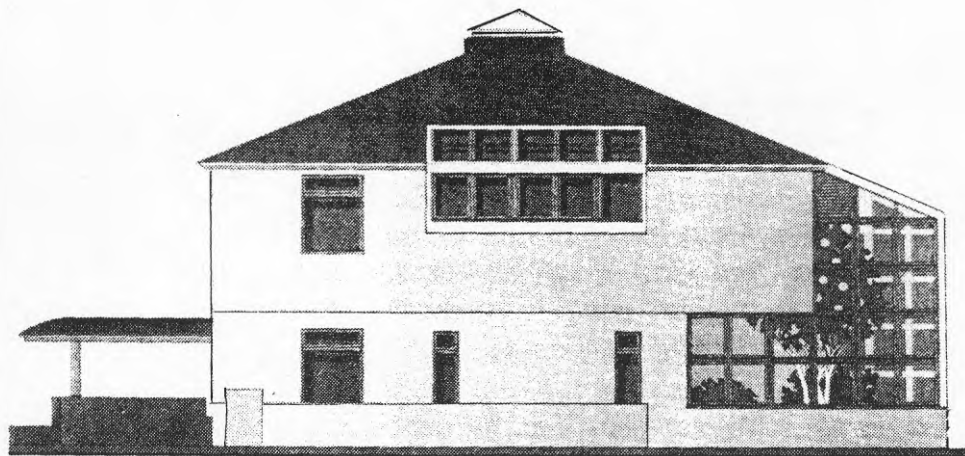
Figur 2.2.1:3. Systemuppbyggnad i MELON

### TRON intelligent hus

Realtidsoperativsystemet TRON introducerades 1984 av professor Ken Sakamura vid Tokyo universitet. Motivet var att hitta ett datorsystem som erbjöd större kompatibilitet än dagens system vad gäller såväl hård- som mjukvara. Sedan 1984 har man i The TRON Association sökt finna tillämpningar för det nya systemet. Automatisering av hus är ett av de områden man valt att studera närmare.

Det första hus som utnyttjar TRON-systemet, det s k TRON Intelligent House (se figur 2.2.1:4) började byggas i oktober 1988 i centrala Tokyo. Vid färdigställandet hösten 1989 hade 380 mikroprocessorer installerats. Datortätheten hos detta hus uppges därmed vara större än hos NASAs rymdskyttel. Med processorerna hoppas man kunna uppnå 'en fusion av människa, natur och dator, för att kunna erbjuda ett komfortabelt, hälsosamt och säkert boende'.

Flertalet av de 380 mikroprocessorerna kommer att byggas in i golv, tak och möbler. Styrsystemet för dessa baseras på den enhetliga TRON-arkitekturen, som gör det möjligt att integrera husets olika funktioner. Så t ex kommer all extern information (TV, radio, bildtelefon) och intern information (AV-system, intercom, säkerhetssystem) att integreras och vara tillgänglig via högtalare och bildskärmar i alla rum. Kontroll och styrning av systemet sker via tre s k BTRON-terminaler och multifunktionsfjärrkontroller. En fördel med detta integrerade system är att man kan ta med sig en idealmiljö vad gäller klimat, belysning, underhållning etc vid förflyttning i huset.



Figur 2.2.1:4. TRON Intelligent House.

Huset kommer bli att utrustas med ett automatiskt klimatsystem. I detta kommer värme- och luftkonditioneringssystem att kombineras med fönster som öppnas och stängs automatiskt. Det datoriserade köket har som mål att göra matlagning rolig. Recept lagrade på en central databas presenteras på en skärm placerad i närheten av spisen. All köksutrustning, matförråd och kylskåp kommer att förvaras i källarplan. Vid behov 'hämtas de fram' med speciella mekaniska anordningar.

Målet för de 16 företag som samarbetar i detta projekt är att bygga ett pilothus utan hänsyn tagen till kostnader, i vilket koncept för TRON-datorisering kan utvärderas. Man räknar med att kostnaden för det 372m<sup>2</sup> stora 2-våningshuset kommer att uppgå till närmare 50 miljoner SEK. Trots att de flesta av idéerna som testas i detta pilothus framstår som mycket futuristiska planerar man att kommersialisera delar av tekniken inom kort.

#### **Marknaden för intelligenta hus i Japan**

I väntan på standarder har hemelektronikindustrin varit ganska avvaktande vad gäller utveckling av utrustning för hemautomatisering. Nu när standarder kommit anser man det vara fritt fram att bearbeta denna som man tror mycket lovande marknad.

De flesta räknar med att marknaden under de närmaste åren kommer att mångdubblas. Vad gäller installation av hembussar har tillverkare uppskattat att det under 1990 kommer att installeras hembussar i knappt 1% av existerande hus och i 3-5% av alla nybyggda. År 2000 och 2010 räknar man med att dessa siffror skall ha ökat till 5-8% respektive 15-25% för existerande hus och 30-40% respektive 50-80% för nybyggda. Man uppskattar att det i Japan år 2010 kommer att finnas mellan 20-28 miljoner hus där hembussar installerats.

Från tillverkares sida har man försökt uppskatta hur mycket denna marknad kan vara värd. Man har kommit fram till att den totala marknaden vad gäller såväl tillverkning av hembussystem och installation som underhåll av dessa samt adaptrar och uttag etc år 2000 kan komma att uppgå till 20-27 miljarder SEK. År 2010 torde motsvarande siffra vara 40-55 miljarder SEK. Här är det viktigt att påpeka att detta endast gäller hembussystem, alltså inte de olika intelligenta system och apparater som utnyttjar hembussen för kommunikation.

Av nämnda siffror bör man kunna utläsa att man i Japan tror på en framtid med intelligent boende.

### 2.2.2 Intelligentta byggnader

Med intelligenta byggnader avses enligt tidigare angiven indelning fabriker, kontor, hotell, banker och andra offentliga byggnader.

Efter andra världskriget blev under flera decennier uppbyggnad av fabriker det som fick högsta prioritet. Resultatet av nya fabriks-verkstadslokaler med moderna maskiner och metoder blev ett starkt bidrag till Japans ekonomiska expansion.

En sektor som varit framgångsrik är den informations-teknologiska. Inom denna har man nått en tätposition och inom delar därav en dominans. Det bör framhållas att en avsevärd fusions- och licensaktivitet har skett och sker Japan - USA - Europa, vilket medför att komponenter och grundkoncept ofta är mycket lika. Konceptet får måhända en kulturpräglad version där det används.

Kontor och andra allmännyttiga byggnader fick således vänta på modernisering. Vändningen kom i slutet av 70-talet, och sedan dess har nybyggnad och modernisering präglats av hög aktivitet och stora resursinsatser.

I Japan introducerades konceptet med intelligenta byggnader ganska snart efter det att byggnaden City Plaza i USA färdigställdes 1984. Detta fick till följd att de flesta större byggföretag liksom universitet och forskningsinstitut skickade över representanter till USA för att närmare studera det nya konceptet och därefter startade forskningsgrupper med intelligenta byggnader som forskningstema. Redan före 1984 hade man emellertid i Japan byggt kontorsbyggnader utrustade med avancerad teknik vad gäller byggnads- och kontorsautomation. Dessa kallades dock inte intelligenta utan 'informationsbyggnader'. Trots detta får man nog säga att det var först efter introduktionen i USA som man i Japan på allvar startade arbetet med att utveckla och bygga intelligenta byggnader.

I Japan används ordet 'intelligent' idag för en byggnad som är utrustad med avancerade system för:

- *kontorsautomation*
- *byggnadsautomation*
- *tele- och datakommunikation.*

Under de senaste åren har också kontorsmiljö och säkerhet kommit att få en allt större betydelse.

### Kontorsautomation

Omläggningen från en ekonomi där den tillverkande industrin står i centrum till en där informations- och serviceindustrin spelar en allt större roll har under senare år ökat statusen för det japanska kontoret och dem som arbetar där. När ekonomin blivit starkare har det också funnits ekonomiska möjligheter att förbättra utrustningen och miljön i de japanska kontoren.

Kontorsautomation är den benämning som brukar användas för åtgärder och utrustning som underlättar arbetet i en intelligent byggnad. Kontorsautomation kan delas upp i system för dokumenthantering och system för bearbetning av information. Målet för införandet av dessa system har varit att minska pappersflödet och öka effektiviteten och produktiviteten.

I många fall hyser en intelligent byggnad mer än en hyresgäst. För att kunna utnyttja gemensam utrustning för kontorsautomation krävs speciella system. Dessa gör det möjligt för flera mindre företag i en intelligent byggnad att tillsammans kunna utnyttja kapaciteten hos en stordator utan att behöva ta hela kostnaden för detta själva. Detta förfarande kallas för *Shared Tenant Service (STS)*.

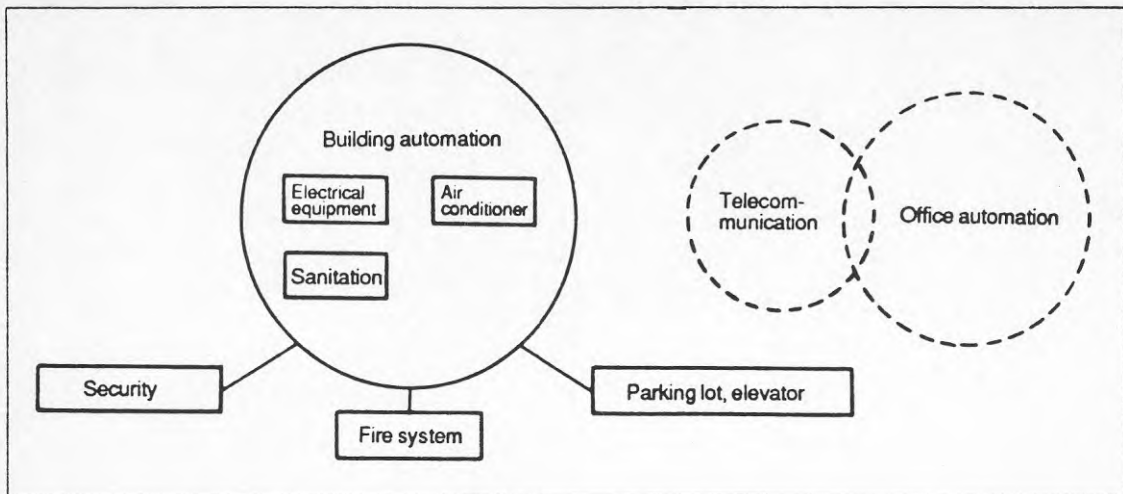
### Byggnadsautomation

En kontorsbyggnad är ett mycket komplext byggnadsverk. För dess funktion krävs inte bara system som underlättar och effektiviserar arbetet utan också system för att ge dess hyresgäster en komfortabel och säker arbetsmiljö. Vidare krävs system som ser till att kommunikationen inom och utom huset flyter på ett effektivt sätt.

För att beskriva en intelligent byggnad brukar man ibland göra jämförelser med människan. Hjärnan motsvaras då av de olika systemen för kontorsautomation, de olika autonoma systemen i kroppen motsvaras av system för byggnadsautomation och nerverna av de olika telekommunikationssystemen.

För att en modern kontorsbyggnad skall fungera krävs en hel del tekniska system. Det gäller att se till att klimat, belysning etc är de rätta i olika typer av kontorsutrymmen, att transport av personal mellan våningar fungerar, att tillräcklig säkerhet finns mot brand och andra katastrofer. Vidare måste de olika systemen fungera så effektivt och energisnålt som möjligt.

I en intelligent byggnad söker man på olika sätt integrera dessa system och i så hög grad som möjligt effektivisera och automatisera dem. Byggnadsautomation är den gemensamma benämningen på detta. Se figur 2.2.2:5.



Figur 2.2.2:5. Byggnadsautomation

Gemensamt för de olika typerna av system är att de sköts mer eller mindre automatiskt. Sensorer utplacerade i olika delar av byggnaden matar en styrningscentral med information. Med denna som grund styrs t ex luftkonditioneringen/uppvärmningen i olika delar av byggnaden. Man tar hänsyn till olika parametrar och försöker göra driften så energisnål som möjligt.

#### **Telekommunikation**

En förutsättning för att en intelligent byggnad skall fungera är ett avancerat system för tele- och datakommunikation. Som tidigare nämnts kan detta sägas utgöra byggnadens livsnerv. I och med att japanska företags internationella verksamhet ökar samtidigt som allt fler utländska företag visar intresse för etablering i Japan krävs numera inte bara avancerad utrustning för kommunikation inom byggnaden utan också mellan byggnader i olika städer och länder.

Alla de olika systemen för kontorsautomationen och kraven på snabb överföring av en stor mängd information nödvändiggör flera olika system för tele- och datakommunikation.

Utan att beskriva dessa system kan man indela dem i:

- *System för överföring/koppling*

Kommunikationsnät för överföring inom byggnaden benämnes LAN (Local Area Network), mellan byggnader WAN (Wide Area Network).



- *System för in- och utgående tele- och data från en DPBX (Digital Private Branch Exchange), vilken kan ses som byggnadens telefon-dataväxel till/från omvärlden.*
- *System för visuell kommunikation, t ex Telefax, Videotex, TV-kommunikation, elektronisk post och konferens.*

### **Exempel på intelligent byggnadskoncept**

#### **NTT**

Det japanska telekommunikationsföretaget NTT har kommit att spela en nyckelroll i utvecklingen av intelligenta byggnader i Japan. Det beror på att företaget dels intar en central roll vad gäller telekommunikation i Japan, dels efter introduktionen 1985 av ett eget system för intelligenta byggnader aktivt har deltagit i utvecklingen av intelligent teknik. När man under 1984 började bygga ett nytt kontorskomplex valde man att göra det i form av två intelligenta byggnader kallade NTT Shinagawa Twins. Efter färdigställandet i oktober 1986 har detta komplex fungerat som ett demonstrationsobjekt för NTTs koncept för intelligenta byggnader.

Som namnet antyder består NTTs nya kontorskomplex, beläget i Shinagawa, Tokyo, av två byggnader. Men namnet Twins har också betydelsen ToWard INS (Information Network System).

De två byggnaderna är 12 respektive 14 våningar höga med två gemensamma källarvåningar och har tillsammans en golvyta på ca 110 000 m<sup>2</sup>. Den lägre, kallad databyggnaden, utnyttjas av NTTs data- och telekommunikationssystem medan den högre är en kontorsbyggnad med plats för ca 2800 anställda.

Som framgår av figur 2.2.2:6 består NTTs Intelligent Building System av system för kontors- och byggnadsautomation samt telekommunikation och vidare system för miljö- och byggteknik.

I följande figurer visas:

Fig 2.2.2:6 NTT IBS (Intelligent Building System)

Fig 2.2.2:7 NTT 1<sup>3</sup>h-CS (Integration, ISDN, Intelligence, Cable System)

Fig 2.2.2:8 Office Automation Application in a Multi-tenant building.

Fig 2.2.2:9 NTT-Bas Total System (med olika styr- och övervakningsenheter).

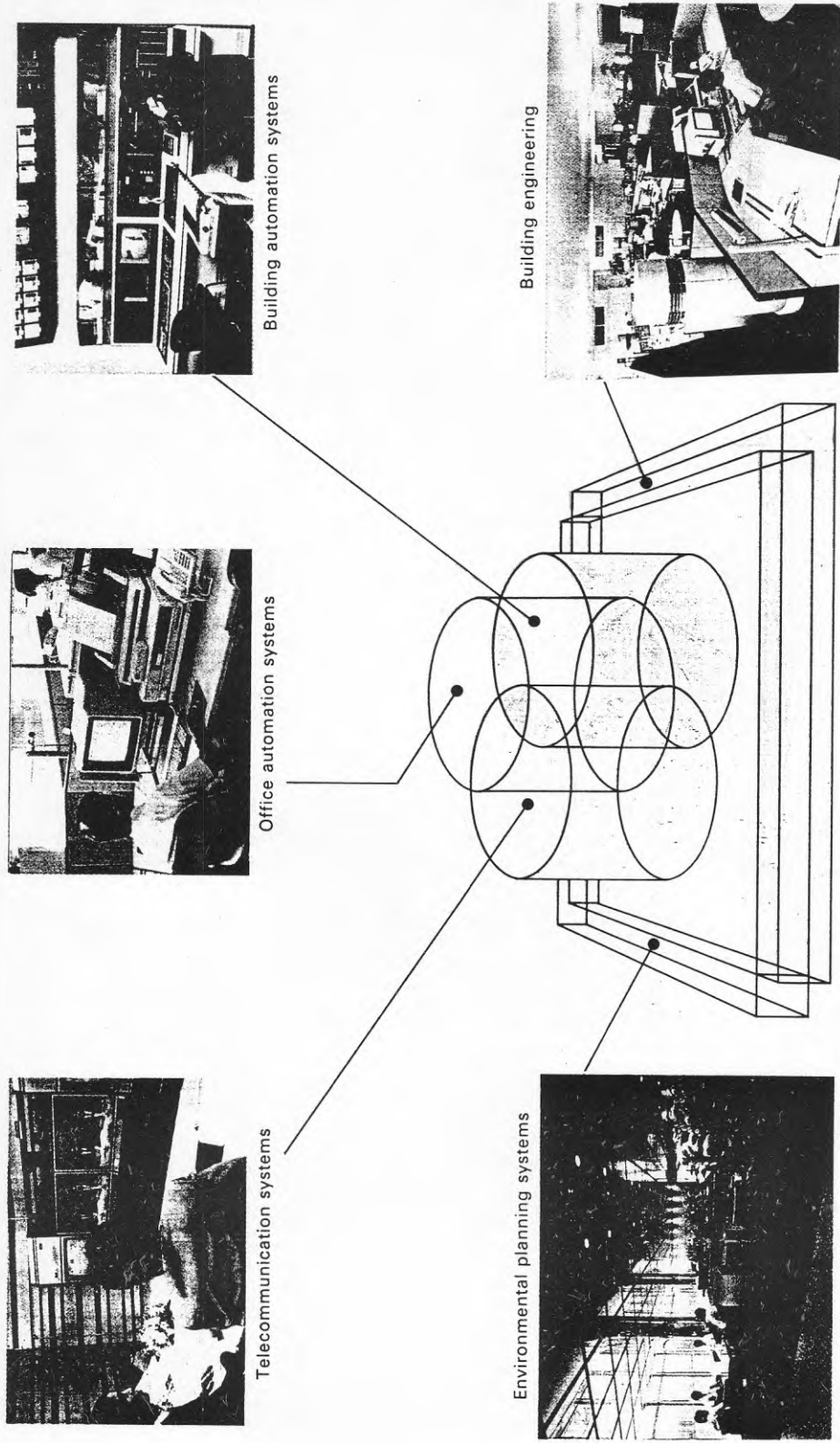
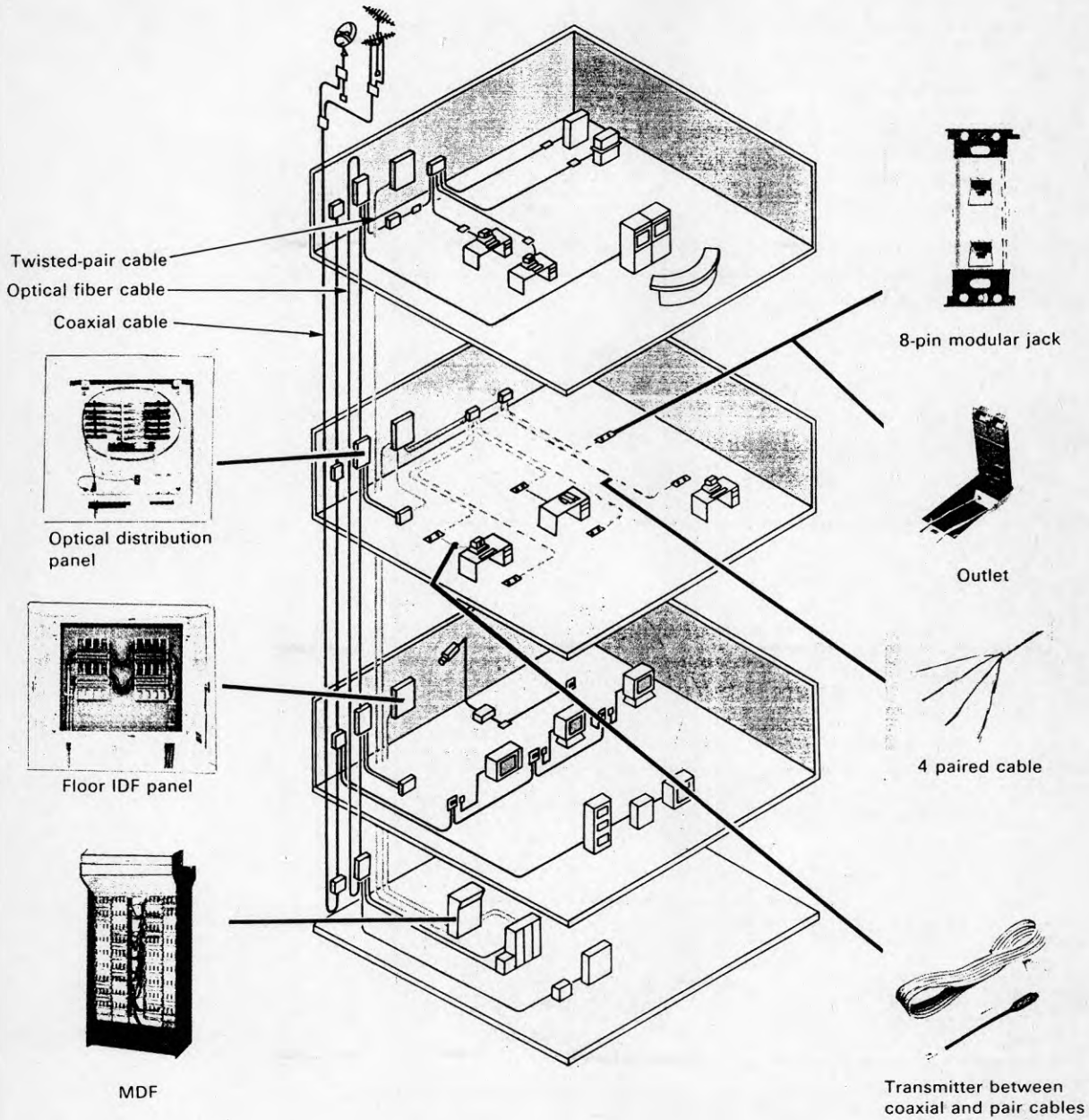
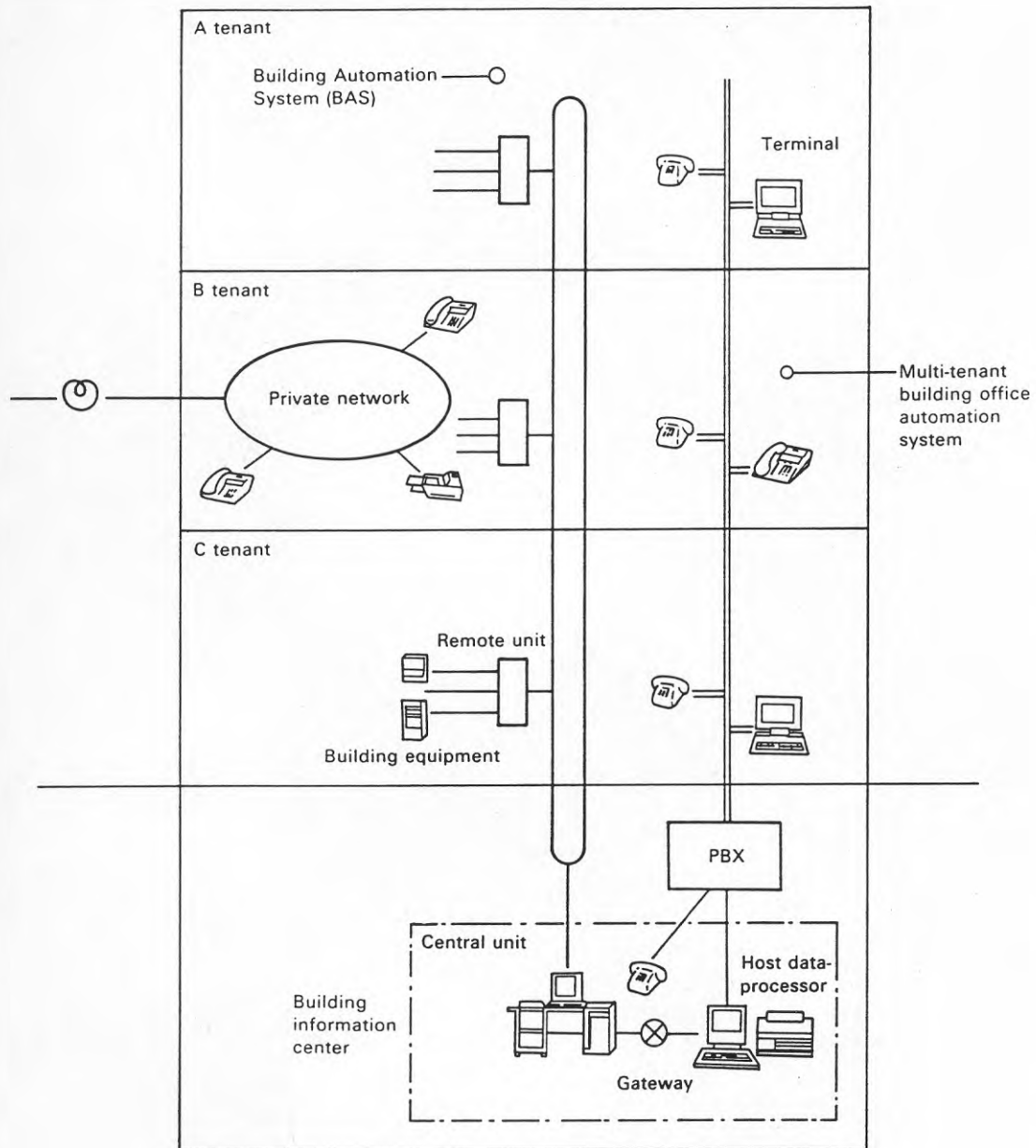


Fig 2.2.2:6 NTT IBS (Intelligent Building System)



Figur 2.2.2:7. NTT:s I<sup>3</sup>-CS



Figur 2.2.2:8. Office Automation Application in Multi-tenant Building

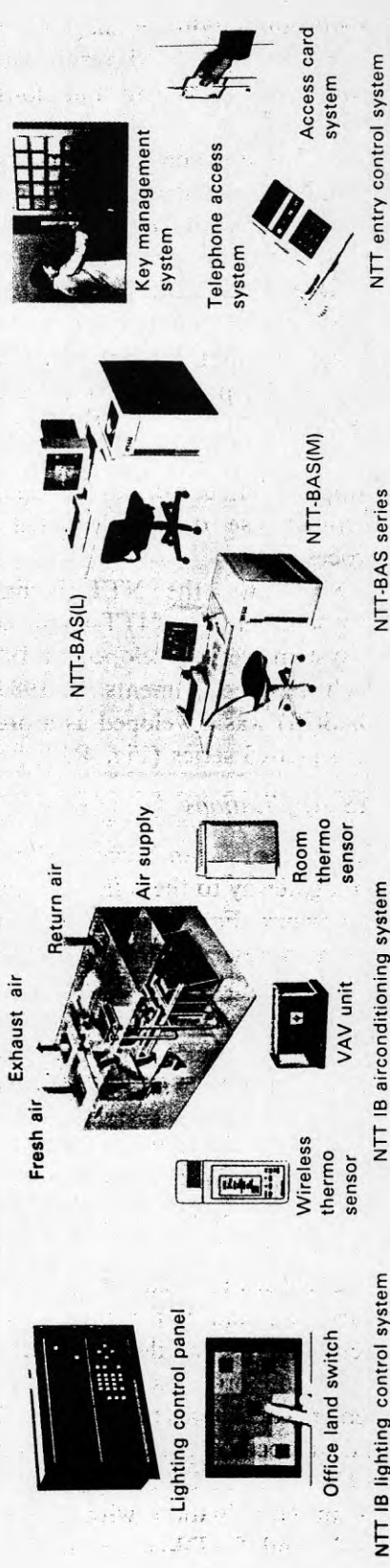
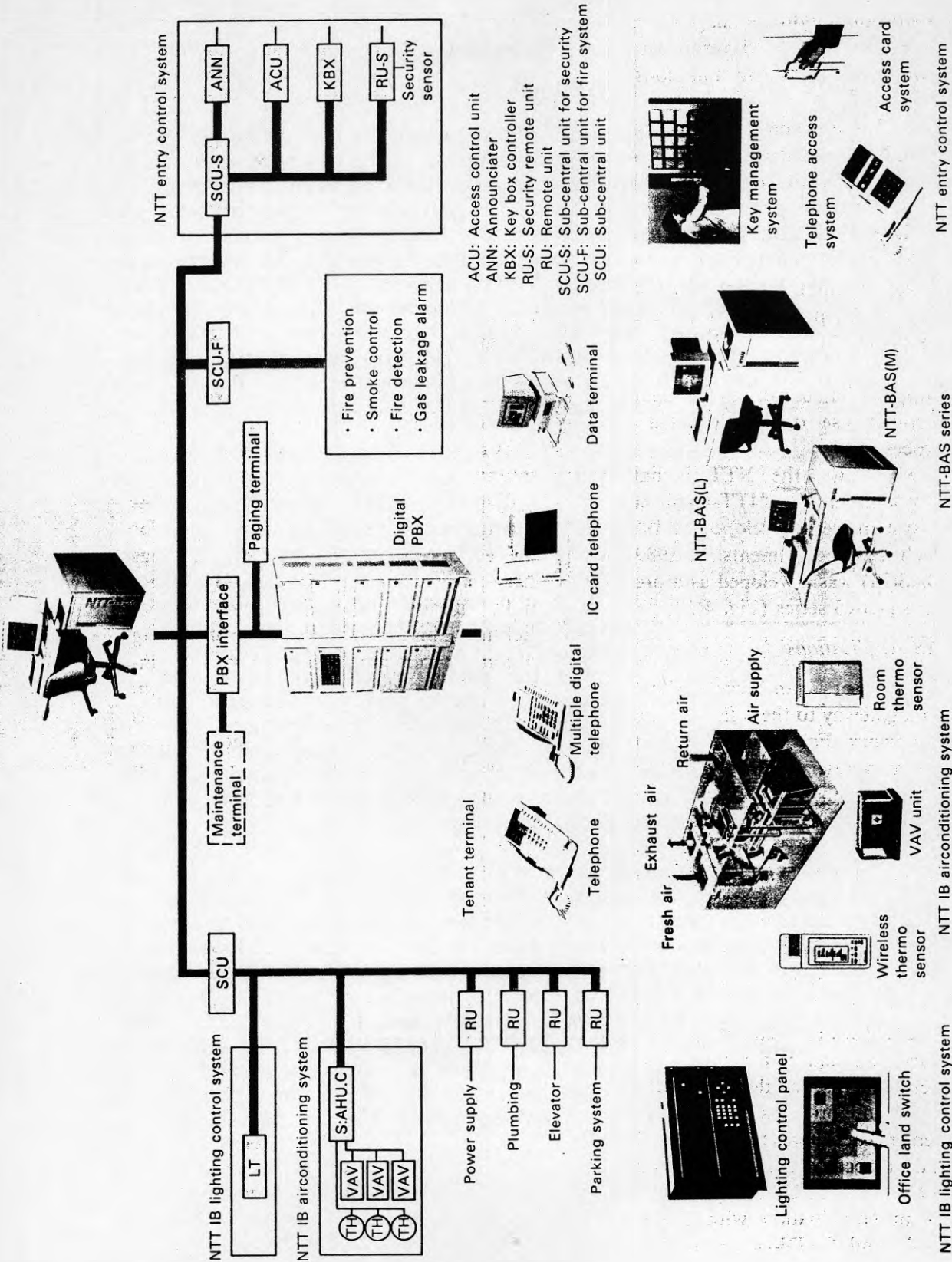


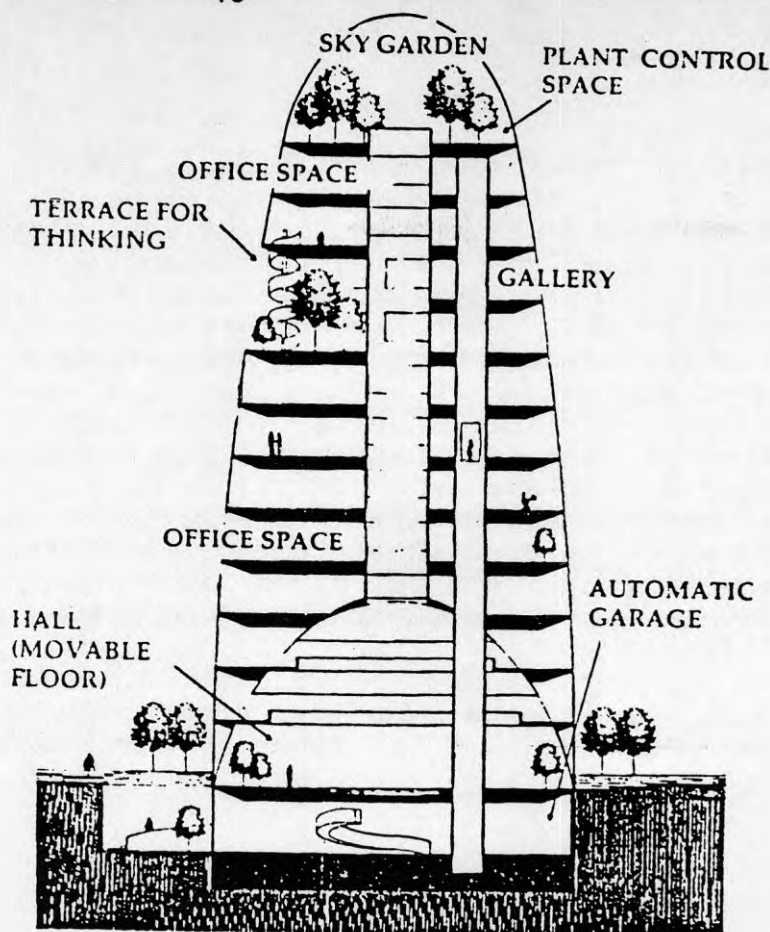
Fig 2.2.2:9 NTT-Bas Total System (med olika styr- och övervakningsenheter).

### **TRON intelligent byggnad**

I den tidigare nämnda TRON Association arbetar man också med ett projekt kring en intelligent byggnad styrd av ett TRON-system. Detta projekt, som ännu inte kommit längre än till projekteringsstadiet, kallas The TRON Intelligent Building (se figur ). Man planerar att starta byggandet av detta 12-våningars kontorshus i centrala Tokyo under 1991-92. Med TRON-nätverk bestående av inte mindre än 10 000 mikroprocessorer menar man att detta kommer att bli världens 'intelligentaste' byggnad. I denna skall nya idéer och koncept för 'integrering av människa, dator och arbetsplats' provas.

Alla arbetsplatser i byggnaden kommer att utrustas med s k BTRON PC-datorer. Vidare kommer de anställda att tilldelas ett s k Super ID-kort. Detta kommer att möjliggöra kontroll och registrering av in- och utpassage, automatisk vidarekoppling av telefon, automatisk och individuell inställning av ljus, luftkonditionering etc. De datorer och sensorer som utgör ryggraden i systemet kommer att byggas in i väggar och tak. Vidare kommer s k ECC (Energy, Communication, Control) - paneler att integreras i golvet. Dessa kommer också att fungera som vägledning för speciella arkiverings- och transportrobotar. Meningen är att robotarna skall sköta arkivering och framhämtning av material från utrymmen i källarplan. Genom detta hoppas man kunna skapa en kontorsmiljö utan utrymmeskrävande pappershögar o dyl.

Byggnadens inre kommer att delas in i ett antal sektioner. Stora utrymmen för vanligt kontorsarbete, mindre utrymmen för koncentrationskrävande arbete och utrymme för avkoppling/vila. Mindre trädgårdar kommer att anläggas, och man tror att trädens fotosyntes kommer att bidra till god luftkvalitet inomhus. Enligt planerna kommer också solljus att ledas in i byggnaden med hjälp av solfångare och ett fiberoptiskt system. Första steget i realiserandet av denna byggnad togs i april 1990 då sju japanska företag bildade den s k TRON Intelligent Building Study Group.



Figur 2.2.2:10. TRON Intelligent Building

### 2.2.3 Drift och underhåll av intelligenta byggnader

De många avancerade systemen i en intelligent byggnad ställer stora krav på drift och underhåll. Ofta sköts detta från ett centralt beläget kontrollrum där all nödvändig driftinformation finns samlad. Då en stor del av de tekniska systemen är automatiska är arbetet ofta reducerat till övervakning. För detta finns speciella övervakningssystem, vilka visar driftförhållanden i de olika tekniska systemen. Det finns också exempel på byggnader där övervakning i maskinrum sker med hjälp av robotar som är utrustade med videokamror. Med deras hjälp kan den tekniska driften helt och hållet övervakas från kontrollrummet. Det underlättar arbetet och gör det kanske möjligt att spara in personal.

Låt oss anta att själva byggnaden med dess miljökrav, transport, el- och datakraft m m någorlunda kan styras och övervakas. Lägg därtill den mängd av elektronik som många av hyresgästerna kopplar in och ur, köpta eller leasade under olika kontrakt. Ideér om denna komplexa förvaltningssituation diskuteras mycket idag.

### **Marknaden för intelligenta byggnader i Japan**

Behovet av intelligenta byggnader är idag stort i Japan och väntas öka ytterligare i framtiden. Ministry of Construction har uppskattat att ca 60% (golvytan) av alla nya kontorsbyggnader som byggs idag är intelligenta. Baserat på antaganden om framtida kontorsbyggande räknar man från MOCs sida med att marknaden för intelligenta byggnader under en 10-års period fram till mitten av 1990-talet kommer att uppgå till motsvarande 600 miljarder SEK. Om man räknar kostnaden för digitala PBX-stationer samt en PC-terminal per 5-6 personer tror man att marknaden för system/utrustning under denna tidsperiod skall komma att uppgå till motsvarande 65 miljarder SEK.

En annan uppgift från MOC säger att den totala marknaden för intelligenta byggnader under 1990-talet kommer att uppgå till motsvarande 1300 miljarder SEK.



## 2.3 TILLÄMPNING OCH UTVECKLING I FRANKRIKE

Frankrike har några av de största byggföretagen i världen. Inom såväl tele- som datakommunikation är fransmännen framstående. De observerade, liksom japanerna, "Smarta-hus-konceptet" från USA i mitten av 80-talet och har sedan dess utvecklat system och produkter inom detta område.

### 2.3.1 Intelligent hus

Efter fem års produktutveckling och marknadsbearbetning konstaterar många av de franska aktörerna på marknaden för "intelligenta bostadshus" att utvecklingen och vinsterna inte blivit vad man hoppats på. En diffus och heterogen utbudsbild kombinerad med en oklar efterfrågan är en del av förklaringen till att framgångarna låtit vänta på sig.

Den oväntat låga efterfrågan på intelligenta-husprodukter i Frankrike förklaras delvis av produkternas höga pris. Tillverkarna förklarar å sin sida prisnivån med att den låga efterfrågan inte medger några kostnadssänkande stordriftsfördelar. För att bryta denna onda cirkel kommer den franska staten att kraftigt subventionera flera installationer av sådan utrustning i allmännyttiga bostadsområden.

Europas mest omfattande enskilda installation av "intelligenta-hus-funktioner" berör 1415 allmännyttiga bostäder i staden Metz i nordöstra Frankrike. Detta projekt beskrivs i detalj i slutet av detta avsnitt.

Utlovade kraftigt utökade satsningar från statens sida tillsammans med en ökad grad av standardisering, nystartade utbildningslinjer på flera högskolor samt en mera organiserad spridning av kunskap till - och inhämtande från - allmänheten gör att franska bygg- och dataföretag, styrkta av erfarenheterna från 1980-talet, ser resten av 1990-talet an med viss tillförsikt.

I Frankrike används begreppet "domotique" för att beskriva vad som i Sverige kallas "intelligenta bostadshus". Begreppet inkluderar alltså varken "intelligenta kontor" (detta går under beteckningen "bureautique") eller "intelligenta byggnader" ("immotique").

Fortfarande saknas en officiell definition som entydigt förklarar begreppet domotique. En vanlig definition beskriver domotique som "system för integrerad, automatisk styrning av minst två funktioner i en bostad".

### Kartläggning av och information om Domotique

I försök att kartlägga och beskriva denna marknad i vardande har flera marknadsundersökningar nyligen genomförts i Frankrike. En undersökning genomförd av konsultföretaget Elec visar att endast 16 procent av en slumpmässigt utvald grupp om fler än 4000 tillfrågade kände till och kunde ge en bild av begreppet domotique.

Flera informationskampanjer har vidare genomförts i Frankrike för att sprida kunskap om domotique-produkter på marknaden. Dessa kampanjer har följts upp av frågor angående vilka tjänster som anses intressantast för eget bruk.

*Bland boende i enfamiljshus var följande önskemål allmännast förekommande:*

- larmsystem (ytterdörr och fönster)
- simulering av närvaro (slumpmässigt tändande och släckande av lampor, upp- och nerhissande av persienner ...)
- temperaturstyrning rum för rum - justerbar på distans via det mycket vanligt förekommande franska teletextsystemet Minitel

*För dem som bor i lägenhet var de mest önskade tjänsterna:*

- automatisk påslagning av hushållsapparater vid givna tidpunkter (tvättmaskinen på söndagen innan man kommer hem trots att man åker hemifrån på fredagen, kaffekokaren före frukosten ...)
- temperaturstyrning
- styrning av video via Minitel.

Dessa kampanjer har främst varit riktade till de boende. Gemensamt för de största befintliga och planerade projekten i landet är dock att de i hög grad är avsedda att underlätta bostadsföretagens arbete. Domotique-produkter avsedda för bostadsföretag i minst lika hög grad som för boende anses generellt ha bättre framtidsutsikter än enbart boendeinriktade produkter.

Karakteristiskt för efterfrågan på den franska marknaden är att ingen produktkategori eller kombination av produkter dominerar. Tendensen är dock till skillnad från vad man trodde för fem år sedan att enkla, användarvänliga och relativt prisbilliga system är betydligt populärare än de avancerade allt-i-alle maskiner man trodde skulle få ett snabbt genombrott. Efterfrågan på avancerade och dyra tjänster är liten.

Bland den kritik som riktats mot domotique-system återfinns just åsikten att många av de system som erbjuds marknaden fortfarande är för avancerade för de flesta att använda. Elektroniken och investeringskostnaden skrämmer många, och de som inte skräms, vilka ofta är människor med en bra utbildning och en stabil ekonomi, är inte desamma som skulle behöva skära ner sina energikostnader med hjälp av temperaturstyrning för att få hushållskassan att räcka till. Energihushållning är alltså inte alltid ett bra försäljningsargument i småhusegmentet.

En annan kritik är att de system som införs i allmännyttiga bostäder oftast införs på hyresvärdens villkor och oftast för att underlätta hans arbete. Hyresgästernas intresse beaktas i alltför liten utsträckning. Mot detta kan dock argumenteras att de externa subventionerna och de förväntade besparingarna medfört att installationerna inte gett några hyreshöjningar.

### **2.3.2 Standard för hem-system.**

Som vanligt inom ett nytt område växer en mängd produkter fram som inte kan samverka och integreras utan tekniska besvär och extra kostnader. Detta leder i regel till att företagargrupper enas om att samverka och det i sin tur till s k de-facto-standard. Denna kan vidare bilda underlag för förslag till nationell eller i detta fall EG-status.

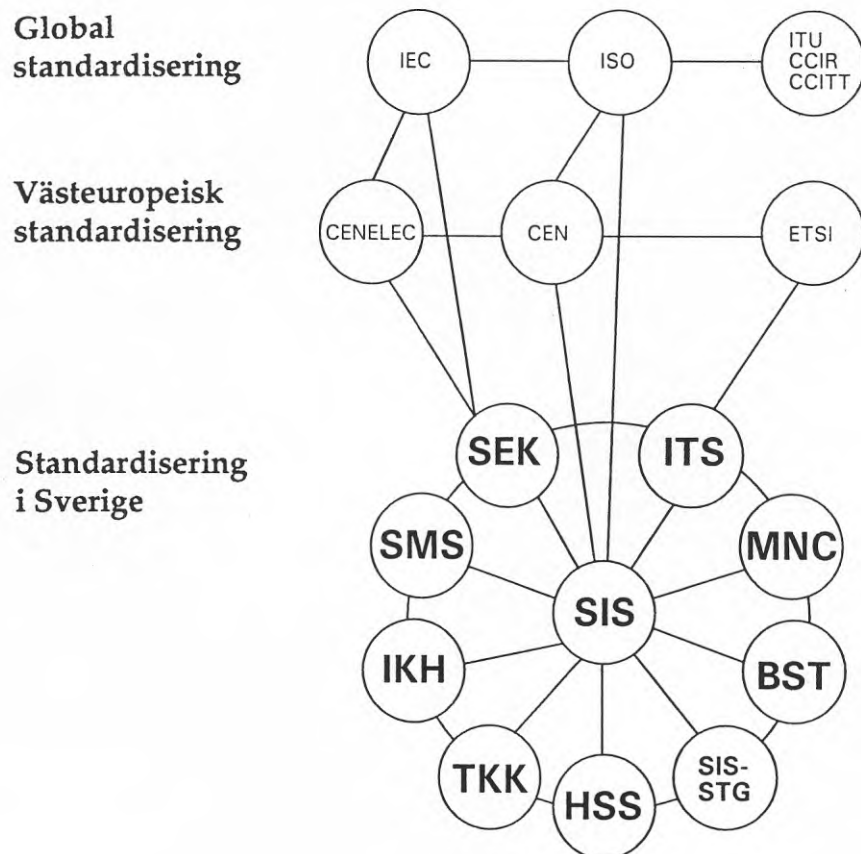
Ofta finns andra nationella standarder; tidigare har nämnts Japans kabelbuss ET 2101. I USA finns en motsvarande Ce-buss från 1990.

Samtidigt strävar man efter en global standard via organ som ISO och IEC. Standardorgan se översiktssbild, figur 2.3.2:1.

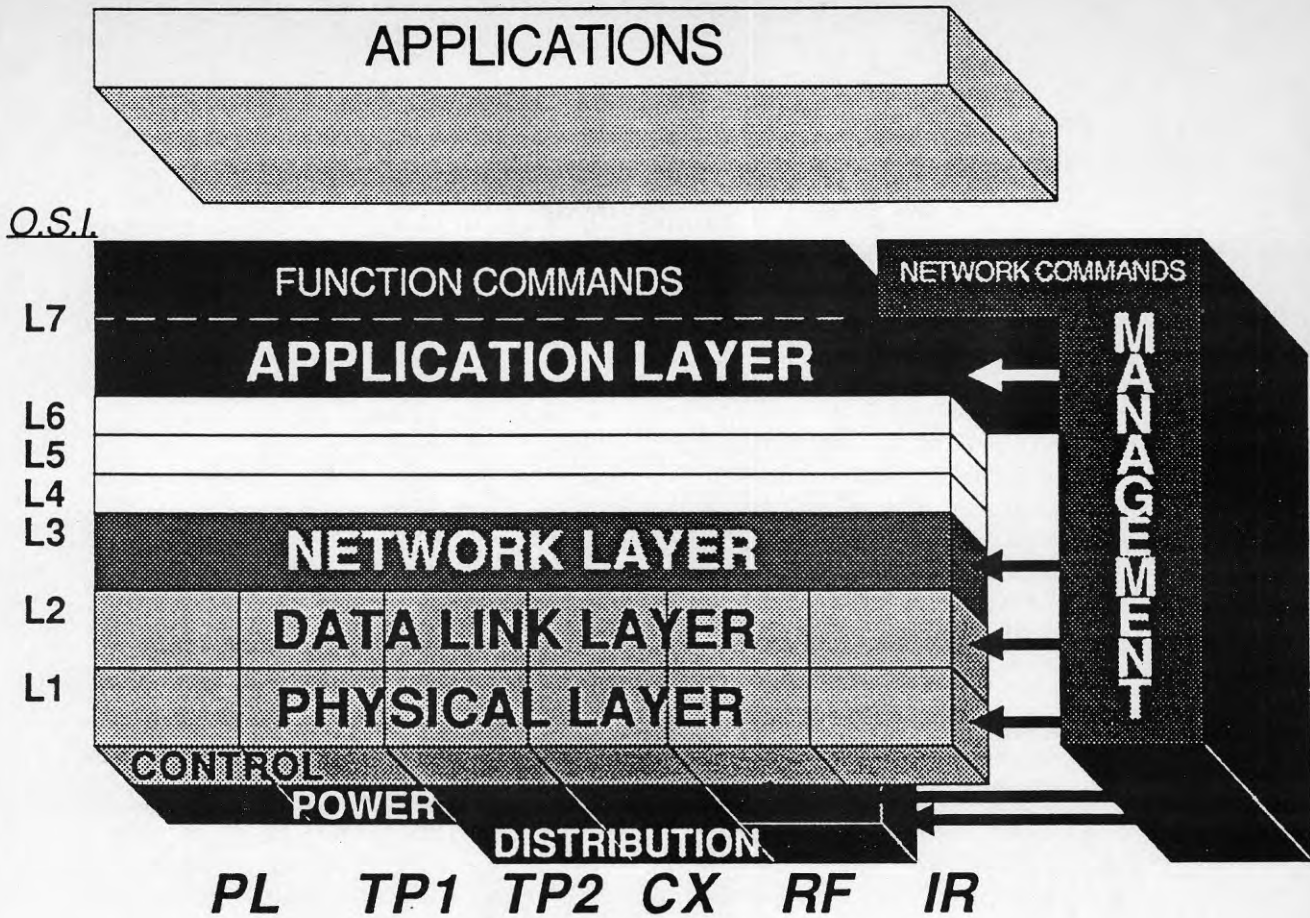
Inom ramen för forskningsprogrammen ESPRIT och EUREKA har kommit ett förslag till Home System Specification, ESPRIT Project 2431. Detta projekt presenterar två kandidater till hembussar, BATISBUS och EIBUS. Det konstaterades att full samordning/konvergens mellan dem inte är möjlig. Istället arbetar man på att få en allmän del lika och sedan två valbara grenar (branscher).

Det fortsatta standardiseringsarbetet drivs sedan 1991 i CENELEC TC105.

Den globala standarden OSI (Open System Interconnection) med sina sju lager bildar grund. Strukturen i första förslaget framgår i princip av figur 2.3.2:2.



**Figur 2.3.2:1. Globala, västeuropeiska och svenska standardiseringsorgan.**



## Structure of Home System Specification

- PL Power-Line Specification
- TP1 Twisted Pair Type 1 Specification
- TP2 Twisted Pair Type 2 Specification
- CX Coaxial Cable Specification
- IR Infra-Red Specification
- RF Radio Specification
- DL Data Link Layer Specification

Figur 2.3.2:2. Förslag till Home System Specification enligt ESPRIT project 2431

### **Företagsgruppering kring "intelligenta hus" i Frankrike**

Ett annat sätt att homogenisera branschen är att skapa samarbetsgrupper som tillsammans kan erbjuda ett relativt komplett produktutbud. En intressegrupp kring intelligenta hus (bostäder, kontor och allmänna lokaler) bestående av elva stora franska företag bildades i september 1991. Gruppens namn är Optibat, och dess mål är att "arbeta för optimering av den intelligenta byggnaden".

Flera av de elva företagen är verkliga jättar i sin bransch och har här ett stort inflytande. Bland medlemmarna ingår det statliga EDF, som är världens största elektricitetsproducent och -distributör, och Bouygues, Europas största byggföretag. På datasidan finns bland andra IBM Technologies representerat.

Bland medlemmarna finns representanter för de stora ämnesområdena inom domotique, alltså ventilation, belysning, temperaturstyrning, säkerhet och kommunikation. Arbetet kommer framdeles att inriktas på att lokalisera verkliga behov och tillsammans uppfylla dessa. Detta betyder inte framtagande av mycket komplexa anläggningar med alla tänkbara funktioner. I stället kommer Optibat att erbjuda lätthanterliga lösningar enligt specifika önskemål. Dessa ska sedan kunna byggas ut med kompatibla komponenter från medlemsföretagens sortiment. Optibat vill även stimulera uppfinnande och experimentell verksamhet i syfte att finna kommersialiserbara korn.

En finess med detta system är att kunden kan vända sig direkt till Optibat med en förfrågan. De olika medlemsföretagen samarbetar sedan för att finna en för kunden optimal lösning utan att han behöver kontakta vart och ett av företagen.

### **Frankrikes första domotique-laboratorium**

Frankrikes bostadsminister invigde i oktober 1991 Europas första centrum för utveckling och provning av intelligenta-hus-produkter. Centret kallas SED (Site d'essai pour la domotique). Byggnaden, som ligger i Saint-Rémy-lès-Chevreuse utanför Paris, omfattar 1000 m<sup>2</sup> laboratorie- och utprovningsslokaler i tre plan.

SED har byggts på initiativ av de franska bygg- och elektronikföretagens branschorganisationer (FNB och FIEE), det franska televerket France Télécom samt de statliga el- och gasproduktions- och distributionsföretagen EDF och GDF. Dessa intressenter anger att SED:s huvudsakliga uppgifter är att medge utveckling, utprovning och certifiering av intelligenta-hus-produkter. Produktutvärdering i full skala samt ergonomistudier kommer också att vara prioriterade aktiviteter i SED. Ett långsiktigt mål med centret är att bidra till att göra domotique till en "ekonomisk och teknisk realitet" i alla bostadssegment.

SED kommer att ha sina dörrar öppna mot Europa; via uppdrag från EG-forskningsprogrammet Esprit kommer här kompatibiliteten mellan olika europeiska produkter att testas och utvärderas. Genom detta arbete kommer också den kommande europeiska standarden för kommandospråk Esprit Home System att finna konkreta applikationer.

### **2.3.3 Europas största domotique-satsning i Metz**

Staden Metz har drygt 100 000 invånare och ligger i regionen Lorraine (Lothringen) i nordöstra Frankrike. Det allmännyttiga bostadsföretaget OPAC de Metz har i anslutning till ett renoveringsprojekt börjat installera "intelligenta-hus-funktioner" i sina lägenheter. Sedan i februari 1991 är 64 lägenheter försedda med sådana funktioner. Under perioden februari till september 1991 har löpande tekniska och användarmässiga utvärderingar av installationerna utförts. Erfarenheterna från dessa utvärderingar har tagits i beaktande under projektets största fas, i vilken man förser 1415 lägenheter i 61 allmännyttiga fastigheter från 1970-1975 med domotique-utrustning. Redan under 1992, när renoveringsprojektet är avslutat, kommer samtliga dessa lägenheter att vara utrustade.

#### **Utrustning och tjänster**

Varje lägenhet förses med en väggpanel liknande en större porttelefon. Denna panel, som kallas "Domo-box", är ansluten till fastighetens kabelnät och försedd med en text- och sifferdisplay med flytande kristaller, 20 tryckknappar (siffror plus funktions-tangenter), porttelefon och en infraröd sensor som registrerar personer som passerar. Domotique-paketet innehåller följande grundfunktioner:

#### **Värme- och elektricitetskontroll**

Hyresgästen kan få uppgifter om sin egen ackumulerade varmvatten- och elektricitetskonsumtion sedan de senaste räkningarna betalades samt kostnader för denna konsumtion. Varmvattenkontrollen gäller såväl för uppvärmning som för "vanligt" varmvattenbruk. Individualiseringen svarar mot ett länge uttalat önskemål från hyresgästerna att själva kunna spara energi och sänka sina kostnader (värme och vatten ingår inte i hyran i Frankrike utan betalas som en separat avgift). Tidigare, med en enda avläsning för hela fastigheten, har det inte funnits tillräckliga incitament för hyresgästerna att spara energi.

Hyresvärderna har tillgång till samma information som hyresgästen. Avgifterna, vilka alltså skiljer sig åt lägenheterna emellan, skrivs sedan automatiskt ut av en dator med skrivare som är sammankopplad med systemet. Separeringen av avgifterna medför alltså inget som helst merarbete för bostadsföretaget.

Systemet har för bostadsföretaget även fördelen att avflyttande människor direkt får sin "slutnota", vilken omedelbart måste betalas. Tidigare skedde centrala avläsningar med långa tidsintervall, vilket medförde att de utflyttade hyresgästernas sista avgiftsbetalningar ofta uteblev eller blev försenade upp till ett år. De framtida uteblivna ränteförlusterna och den ökade betalningssäkerheten medför en ekonomisk besparing, som enligt bostadsföretaget ensam skulle kunna motivera hela domotique-installationen.

### **Temperaturprogrammering**

Hyresgästen kan programmera in framtida temperaturer rum för rum, timme för timme. Man kan exempelvis sänka temperaturen i lägenheten på dagen, när ingen i familjen är hemma, eller i vardagsrummet på natten, när alla sover i andra rum.

Programmeringen sker på väggpanelen, "domoboxen". Varje rum har en temperatursensor. Systemet kan anslutas till maximalt sex sensorer. Elementen har utrustats med nya termostater, vilka fjärrstyrs med elektriska signaler från Domoboxen.

Hyresgästen kan programmera temperaturen i varje rum under varje del av dygnet. Dygnet kan delas in i sex tidsperioder, så att man exempelvis har svalt i de rum man inte vistas i under en viss tidpunkt på dygnet. Man kan, om man så önskar, för varje rum programmera på olika sätt veckodag för veckodag och sedan låta programmet upprepa sig när en ny vecka börjar. Är man hemma över veckosluten vill man till exempel inte att temperaturen ska sänkas under dagen, vilket kanske är fallet under veckan, när man arbetar på annat håll.

Lämnar man lägenheten under en hel vecka kan man ställa in termostaten på "frostfritt", vilket endast garanterar att temperaturen inte underskrider åtta grader i någon del av lägenheten.

För el, värme och vatten gäller att hyresgästen kan programmera in riktvärden för konsumtion, räknade i kubikmeter eller i francs, för att kunna jämföra med sin verkliga konsumtion. Riktvärdena kan exempelvis vara föregående års konsumtion eller "idealvärden" erhållna av hyresvärden.

Temperaturstyrningen är den för hyresgästerna mest finessrika delen av domotique-utrustningen. Vill man inte programmera kan man dock mycket väl nöja sig med en jämn temperatur i hela lägenheten.



Utrustningen kan, på hyresgästens bekostnad, kompletteras så att den kan styras från annan ort. Detta sker då via Minitel, ett telenätanslutet så kallat videotextsystem med telefonkatalog och cirka 13 000 andra tjänster. En minitelterminal är gratis, och 5,6 miljoner terminaler finns i dag i franska hushåll och företag.

För att undvika att utrustningen ska upplevas som komplicerad har största vikt lagts vid att få en så användarvänlig och tydlig panel som möjligt. Dessutom hålls informationsträffar för alla nyanslutna hushåll. Vetskapen om att en "välprogrammerad" lägenhet sparar mycket energi och pengar utan att man gör avkall på komforten har visat sig göra underverk med hyresgästernas inlärningsförmåga!

### **Meddelandelåda**

Hyresvärden kan på domoboxen skriva in meddelanden, om till exempel containerhämtning eller avstängning av vattnet, till samtliga hyresgäster. Varje domobox är utrustad med en infraröd sensor, som registrerar när någon går förbi. Eftersom dessa paneler monteras innanför lägenhetsdörren, registreras varje person som går in i lägenheten. När ett kollektivt meddelande skrivits in, ger domoboxen ifrån sig en kort ljudsignal nästa gång en person går förbi för att uppmärksamma denna om att ett meddelande finns att läsa.

Hyresgästerna kan från lägenheten svara på enklare förfrågningar, exempelvis om de kommer på ett möte (frågor med några enkla svarsalternativ).

### **Inbrottslarm**

Domoboxen är försedd med en enklare larmutrustning. Hyresgästen kan, när han lämnar lägenheten, slå in en kod som anger att han är borta. Efter en viss tidsfördröjning, så att hyresgästen får tid på sig att avlägsna sig från infrarödsensorn, startas sensorn. Nästa gång en person registreras, startar en nedräkning som utlöser en larmsignal efter en minut. Nedräkningen avbryts om personen slår en personlig kod. Koden är givetvis endast känd av dem som bor i lägenheten.

I standardutförandet är larmet inte kopplat till något externt larm utan är avsett att väcka uppmärksamhet i trappuppgången. Hyresgästerna kan dock, mot en fast månadsavgift, ansluta sitt larm till en lokal bevakningsfirma som rycker ut vid larm. Vidare kan detta system kompletteras med ett mera regelrätt inbrottslarm anbringat vid dörrkarmen.

Äldre och sjuka hyresgäster kommer dessutom i framtiden att kunna abonnera på ett larmsystem mellan domoboxen och en närbelägen läkarstation. Här kan signaler till domoboxen ges från olika ställen i lägenheten.

### **Kallvattenkontroll**

Kallvatten ingår i hyran och debiteras inte separat. Mätutrustning för kallvatten har dock installerats i varje fastighet och kopplats till systemet. Denna utrustning är endast avsedd att användas av hyresvärdarna.

Under den korta tid som kallvattenmätningarna pågått har flera läckor som vanligtvis inte upptäckts kunnat detekteras och åtgärdas. Eftersom mätningarna sker timme för timme, kan läckor nämligen identifieras som en konstant konsumtion under natten, när konsumtionen normalt ibland går ner till noll.

### **Porttelefon med TV**

I samtliga fastighetsportar har TV-kameror installerats. När porttelefonen ringer, kan hyresgästen slå på TV:ns kanal 36 (anknuten till kabelnätet). Där ser han personen som ringer på och kan välja att inte öppna dörren om personen är okänd. Samtliga hyresgäster kommer kostnadsfritt att anslutas till detta system under 1992. Systemet är alltså kabelbundet men är fristående från domoboxen och det egentliga domotique-systemet.

### **Användning av befintligt kabelnät**

Hyreshusen är sedan 1979 försedda med kabel för kabel-TV, satellit-TV och radio. Denna koaxialkabel täcker ett frekvensband på 10 till 862 MHz. Genom en smärre modifiering av förstärkarna och installation av en signalväg för retursignaler (från lägenheterna till centralenheten) ges denna gamla kabel helt nya användningsmöjligheter: interaktiv teletex, säkerhets- och övervakningssystem, larmsystem till läkare samt andra funktioner vilka i kombination utgör domotique-komponenter.

De audiovisuella programmen använder frekvensbandet 87,5 till 862 MHz. Domotiquetjänsterna utnyttjar för signalerna från centralenhet till de boende frekvenserna 47-87,5 MHz och från de boende till centralenheten 10-30 MHz.

Utifrån det befintliga kabelnätet har TDF-Cerflor, ett av de tre lokala elektronikföretagen, utvecklat ett system för datautbyte, Médiabus. Denna "buss" (se ovan) innefattar en frekvensomvandlare som installerats i nätets kollektiva antennstation för att omvandla signalerna mellan de två "domotique-banden" för återkoppling av information, utan att informationen ändras. I lägenheterna används systemet "Batibus" för datautbyte.

I utrustningen ingår även en centralenhet, vars funktion är att kontrollera och styra informationsöverföringarna och korresponderande tjänster.

### **Uppföljning av systemet**

En sociolog följer kontinuerligt utvecklingen för att kartlägga hur installationen accepteras av användarna, vilka funktioner som används mest och minst samt hur systemet påverkar de boendes syn på inflytande och kontakt med bostadsföreningen. De första resultaten av denna studie kommer att publiceras under 1992.

Bostadsföretaget och de anlitade data- och elektronikföretagen kartlägger å sin sida löpande systemets tekniska funktion och dess kostnads- och arbetsbesparande roll.

### **Finansiering**

Forsknings- och utvecklingskostnaden för detta projekt beräknas ha uppgått till sex miljoner francs, fördelade på de tre senaste åren.

Varje enhet kostar för närvarande 15 000 francs. Hyresgästerna kommer dock inte att få någon hyreshöjning till följd av detta projekt.

Det allmännyttiga bostadsföretaget OPAC de Metz, med 260 anställda, 13 000 bostäder och 36 000 hyresgäster, har erhållit stöd från det franska energihushållningsverket AFME och från forskningsdepartementet. Vidare har lokala och regionala utvecklingsstöd utgått, eftersom endast lokala företag anlåtats för framtagning av systemet.

## **2.3.4 Övriga synpunkter**

### **Utbildning**

En god tillgång på välutbildade ingenjörer, tekniker och säljare är ett nödvändigt villkor för att domotiquen ska kunna utvecklas i önskad takt. Flera franska skolor och universitet erbjuder speciella ingenjörsutbildningar inom domotique för att svara mot marknadens ökande efterfrågan. Behovet av nytexaminerade domotique-ingenjörer under åren 1991-1993 uppskattas till 600 st.

### **Intelligenta byggnader**

I Frankrike har den senaste femårsperioden byggts ett antal kontor, officiella byggnader etc som gör skäl för beteckningen "intelligenta" i den bemärkelse vi i dag talar om detta. Styr- och övervakningsutrustningarna är av samma typ och motsvarar i princip dem som beskrivs i avsnitten om Japan och Sverige.

Ett kraftfullt budskap är: var generös och noggrann vid projektering av kabelnät.

**Marknad**

De stora satsningar man gör under 1992-1993, bl a med statligt stöd, plus information och uppföljning kan resultera i ökad efterfrågan.

Standardisering är viktig för att öppna marknaderna liksom politiska beslut och det allmänna ekonomiska klimatet.

## **2.4 TILLÄMPNING OCH UTVECKLING I SVERIGE**

### **2.4.1 Intelligent hus**

Även i Sverige har marknaden för "intelligenta hus" varit svag sedan introduktionen av sådana koncept.

Hyes- och bostadsrättslägenheter som byggts 1985 eller senare är i regel försedda med klimatstyrning samt brand- och vattenlarm, är jourtjänstkopplade samt har porttelefon och kodlås. De övervakas som regel husblockvis och är bemannade under dagtid.

Styrenheten består ofta av en mikrodator (mikroprocessor) med underenheter placerade vanligen i värmecentral och ventilationsutrymmen.

Informationen redovisas på bildskärm och skrivare. Larmen är prioriterade, och allvarliga sådana går till jourtjänst, dygnet runt.

I rapporten beskrivs dels Electrolux System 2000 dels servicehus, de senare ur allmänna aspekter, då området bedöms som vitalt oavsett den nuvarande ekonomiska situationen.

Beträffande användning av larm har man enligt svensk lag vissa skyldigheter; se nästa sida.

## LARMLAGEN

När det gäller larm som går till speciell larmmottagare, gäller larmlagen. Enligt polisens tolkning omfattar lagen så gott som alla larm med telefonuppringare.

Här är de paragrafer i lagen som handlar om anläggningsinnehavarens skyldigheter:

## Anläggningsinnehavarens åligganden:

§ 6 En anläggningsinnehavare är skyldig att iaktta vad som skäligen bör ankomma på honom för att motverka att anläggningen genom obefogade larm förorsakar onödigt arbete för polisen. I detta hänseende åligger det honom särskilt att ombesörja den skötsel och tillsyn av larmanläggningen som behövs samt att se till att personer som kan komma i kontakt med den inte av misstag utlöser larmet.

## Obefogade larm:

§ 7 Vid bedömningen av om uttryckning skall göras eller annan åtgärd skall vidtas med anledning av ett larm bör polismyndigheten, om åtgärden skulle leda till att andra uppgifter eftersätts, beakta om anläggningen tidigare i stor omfattning har föranlett onödiga insatser från polisens sida.

§ 8 Har en polisuttryckning gjorts med anledning av ett larm och kan det antas att larmet har utlösts av misstag eller att det orsakats av andra brister ifråga om anläggningens skötsel eller utrustning, får polismyndigheten förelägga larminnehavaren att vidta åtgärder för att förebygga ett upprepande.

Föranleder larm från anläggningen polisuttryckning efter det att ett föreläggande enligt första stycket har utfärdats och har inte larminnehavaren dessförinnan visat att han har fullgjort vad som förelagts honom skall han betala kostnaden för uttryckningen, om den inte är uppenbart oskälig. Fråga om sådan ersättningskyldighet prövas av polismyndigheten.

Är i sådana fall som avses i första och andra stycket larmanläggningen ansluten till larmmottagare hos polisen kan polismyndigheten, enligt närmare föreskrifter som regeringen meddelar, besluta att anläggningen inte längre skall få vara ansluten.

#### 2.4.2 Electrolux system 2000

Electrolux system 2000 är ett generellt modulärt system för övervakning, reglering och styrning av i första hand vanliga hemfunktioner och kan programmeras för olika uppgifter och utrustas med olika in- och utmatningsenheter. Det standardsystem som är deras huvudsakliga produkt i dag siktar på att täcka behoven av nämnda funktioner i egna hem, kontor med rimlig storlek och mindre industrier.

##### **Systemfunktioner:**

##### **Säkerhet**

*Förebyggande och avskräckande funktioner, exempelvis:* Kan programmeras att styra belysningar och annan utrustning för att avskräcka eventuella tjuvar genom att huset ser bebott ut under ägarens frånvaro. Kopplar bort "farliga" elektriska apparater då larmet aktiveras när ägaren lämnar huset.

*Åtgärdande funktioner, exempelvis:* Tänder innebelysningar vid brandlarm för att underlätta evakuering. Stänger vattentillförseln vid eventuell översvämning.

*Uppföljande funktioner, exempelvis:* Ringer och alarmerar ägare och/eller larmcentral vid inbrott, brand, överfall eller felfunktioner inom anläggningen och/eller huset. För en logg med fullständiga tidsuppgifter över larm eller felfall.

Som larmsystem är det godkänt i FSAB klass II.

**Värmestyrning** för maximal komfort och ekonomi. Anpassat för vattenburen värme eller direkt elvärme. Tillåter en uppdelning av bostaden i olika värmezoner, där varje zon kan programmeras för individuella temperaturprofiler under dygnet. Systemet arbetar med proportionell styrning och är självadapterande till husets och värmesystemets egenskaper.

**Energistyrning.** Systemet innehåller de grundläggande egenskaper som krävs för energistyrning, d v s att effektivt kunna kommunicera med omvärlden (energileverantören) och hemmets olika komponenter (invånare, värmesystem, vitvaror etc). Det har däremot inte någon egentlig standardprodukt för detta ändamål eftersom några generella principer respektive standarder ej har formulerats för energistyrningen. Tillsammans med Roslags Energi AB har emellertid utvecklats ett arbetande system för energiövervakning och styrning med följande egenskaper:

- Styr mätning och inkoppling av apparater (t ex varmvattenberedare) efter gällande taxa (hög/lågtaxa).
- Styr värmesystemet för att reducera effektuttaget under sådana perioder då detta kan bli kritiskt, i allmänhet under förmiddagen på vardagarna, då man har lämnat bostaden för arbetet. Funktionen kan kopplas bort av användaren, exempelvis då han är hemma på grund av sjukdom och dylikt.
- Registrerar från elmätarens impulsutgång, räknar energiuttaget efter gällande taxa och rapporterar periodens resultat varje månad via en helt vanlig telefonförbindelse till Roslags Energi AB, som således kan fakturera kunden i nära samband med den gjorda förbrukningen (fakturan som färskvara).
- Registrerar och rapporterar viss användarstatistik (t ex maximalt effektuttag under perioden).
- Energistyrningspaketet är integrerat med övriga här beskrivna funktioner för hemmet (säkerhet, värme, komfort etc), d v s man får en samordnad operation av de olika komponenterna till en lägre total kostnad.

### **Komfort**

Man kan automatisera vissa funktioner inom hemmet, såsom inkoppling av elektriska apparater (t ex belysningar) vid vissa tider och/eller vissa kriterier. Det är också möjligt att fjärrstyra sådana enheter antingen från systemets manöverenhet (flyttbar inom hemmet) eller via telefonen då man befinner sig utanför hemmet. Till komfortfunktionerna kan också räknas möjligheten att fjärravläsa status såsom yttertemperatur och rumstemperaturer samt vilka apparater som är inkopplade etc.

Genom att systemet är totalintegrerat och styrt av en gemensam styrenhet får man som tidigare sagt en intelligent samverkan av hemmets olika funktioner. Exempelvis behöver man när man reser hemifrån endast tala om detta för systemet, och detta ser till att alla funktioner inom hemmet - säkerhet, värmestyrning, elapparater etc. - anpassar sig till detta faktum.



**Intern kommunikation**

- System-eget två-tråds gränssnitt för dubbelriktad kommunikation.
- System-eget överföringsprotokoll med serieöverföring. Digital och analog information kan överföras.
- Två-tråd.
- Överföringshastighet 1000 bits/sek. Blocklängd för den absoluta majoriteten av meddelanden är 9-bitar inklusive adressinformation. För andra meddelanden kan blocklängden variera.
- Maximalt antal adresserbara funktioner är 125 st. Maximavstånd med system-egen kabel 120 m. Installationsförfarandet särskilt anpassat för diskret och snabb installation i hemmiljö.
- Gateway mot IHS (Esprit HS) TP busstandard är förberedd till systemet.

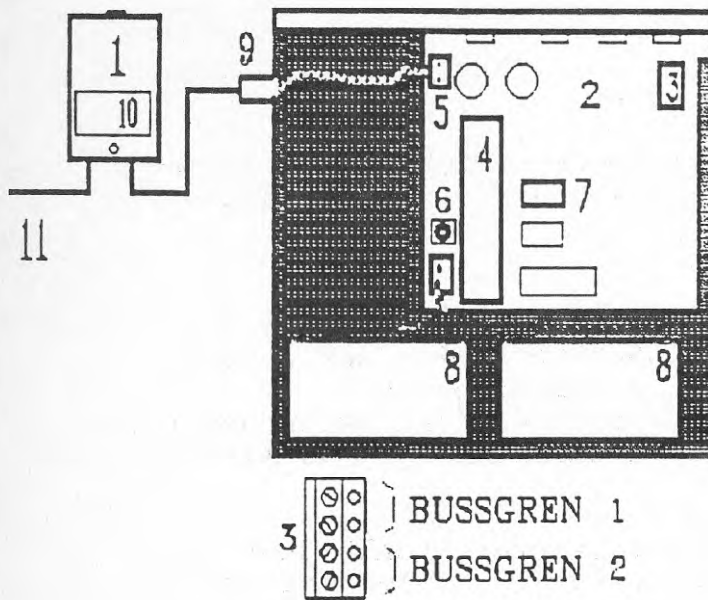
**Extern kommunikation**

- Systemet är godkänt för anslutning till Telenätet.
- Larmöverföring till larmcentraler enligt de standarder som används i Skandinavien.
- I energistyrningssystemet tillsammans med Roslags Energi AB finns dubbelriktad dataöverföring mellan system och central via standard uppringd telefonlinje, där DTMF-signalering används. Fördelen med detta förfarande ligger framför allt i att systemet ej belastas med någon egentlig hårdvarukostnad för dataöverföringen - kräver ej särskilt modem.
- Studie av Telelarms utombandssignalering bedrivs.
- Hårdvara för RS232C anslutning finns utvecklade men är ej implementerad i systemet (RS232 standardsignal).

Systemet utnyttjar modern data- och kommunikationsteknik.

Systemet är uppbyggt kring en centralenhet. Vad denna enhet består av framgår av figur 2.4.2:1.

Centralenhetens innehåll framgår av figur 2.4.2:1 nedan.

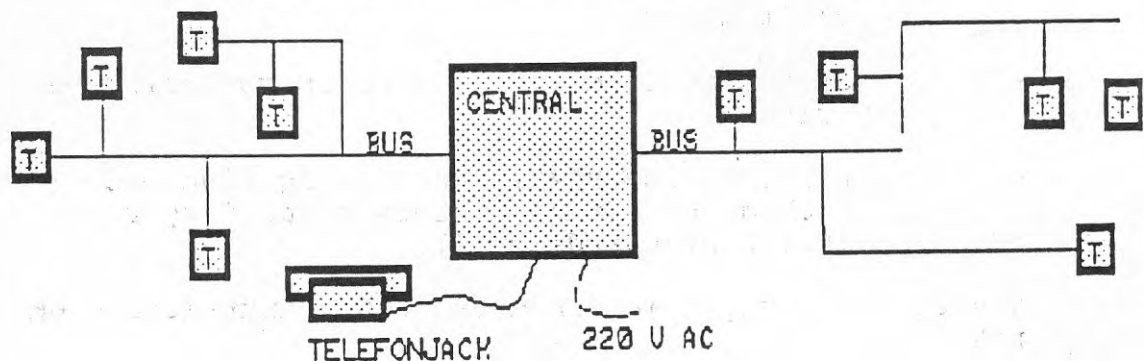


1. Yttre transformator, för inkoppling se Fig.4.
2. Kretskort för styrdator. Monterat i basplattan med två skruvar i underkant. Borttages dessa kan kretskort fällas upp hängande i "gångjärn" i kylprofilen.
3. Anslutning för bussens två utgående grenar.
4. Anslutningsdon för larmsändare.
5. Anslutning av matningsspänning till kretskortet (29 VAC).
6. Sabotagekontakt. Under denna finns anslutning till ackumulatörer.
7. PROM, som innehåller programmet.
8. Blyackumulator (batteri).
9. Nippel för 29 VAC matningskabel.
10. 2.5 AT huvudsäkring.

Centralenheten kan kommunicera med ett antal periferienheter (terminaler) av sändande eller mottagande slag via en tvåtråds bussledning. Centralen har två utgångar för bussen, vilka kan arbeta oberoende av varandra. Till bussen ansluts önskade terminaler direkt eller via sk terminaldosor. Bussledningen har tre uppgifter:

- Tillhandahålla ström och spänning, vilka periferienheterna behöver för sin funktion.
- Sända kommando till periferienheterna i kodad form.
- Förmedla information från periferienheterna till centralenheten.

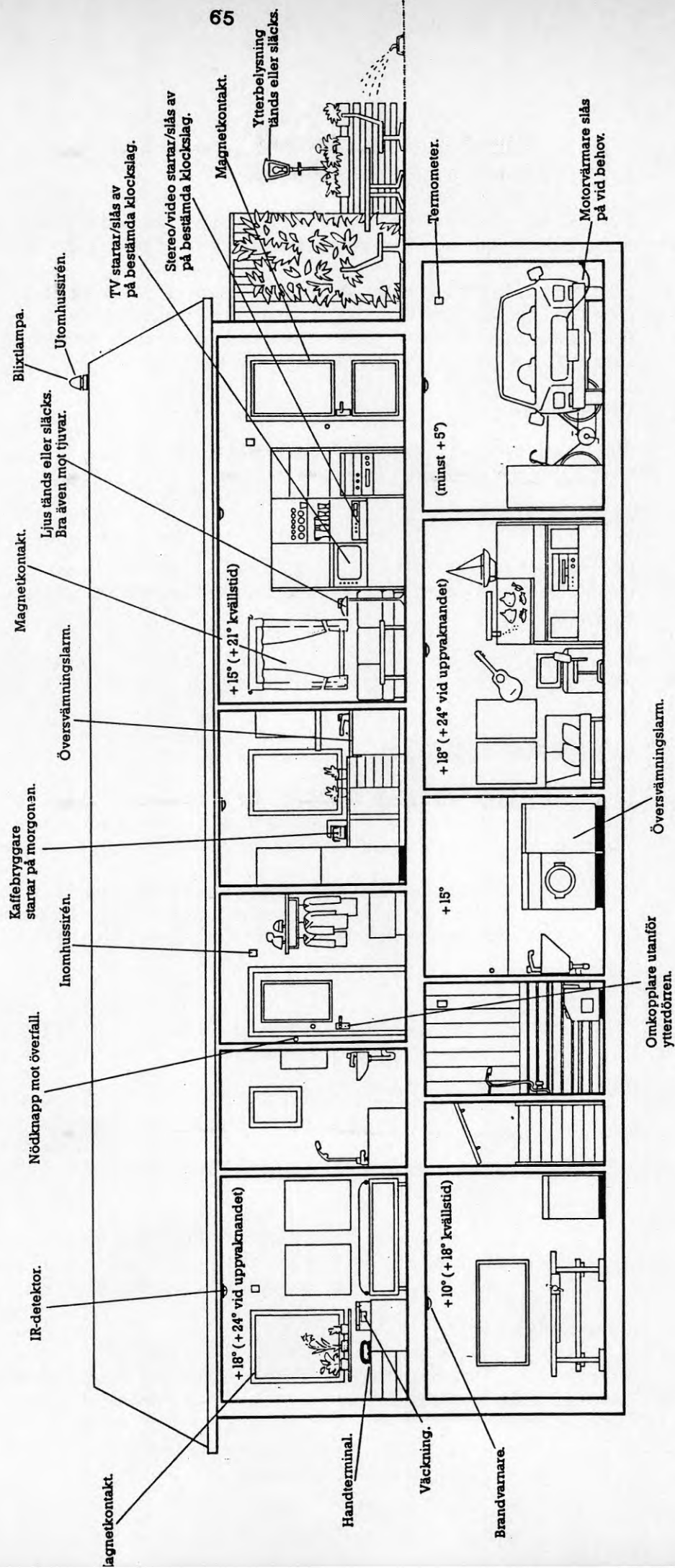
Uppbyggnaden framgår av följande figur.



Figur 2.4.2:2.

Systemet är mycket flexibelt. Funktioner kan läggas till eller elimineras. Ett exempel på tänkbara funktioner i ett hus framgår av figur 2.4.2:3.

# Electrolux System 2000



Figur 2.4.2:3

### 2.4.3 Servicehus - Trygghetssystem

Rubriken syftar på servicehus för pensionärer och människor vilka kräver extra omvårdnad och hjälp.

Det är naturligtvis svårt att ge allmängiltiga anvisningar om trygghetslarm som kan tillämpas i varje servicehus. Behov, förutsättningar och önskemål varierar från fall till fall.

#### Systemval

När man väljer trygghetslarmsystem i dag är följande två system de vanliga.

#### Trådbundet system

Det vanligaste sättet har hittills varit att förse servicehuset med ett fast installerat trådbundet system.

Fördelen med denna lösning är i första hand att kostnaderna för larm inte belastar den enskilda pensionären.

#### Trygghetstelefoner

Under senare år har allt fler kunder i stället valt att sätta in trygghetstelefoner. Det ger bl a dessa fördelar:

- Kostnaderna för projektering och installation av rör och ledningar till lägenheterna försvinner. Man kan istället använda befintliga telefonledningar.
- Antalet lägenheter som ska förses med trygghetslarm kan bedömas från fall till fall och efter samma grunder som i den öppna vården.
- Servicekostnaderna för anläggningarna blir på sikt betydligt lägre. Om leverantören av trygghetslarm erbjuder fullserviceavtal kan servicekostnaderna också exakt kalkyleras för årtal framåt.
- Eventuella framtida teknikförändringar underlättas. Man är inte bunden till en teknik som kanske är omodern om några år.

#### Sammanfattning

Branschens uppfattning i dag är till trygghetstelefonens fördel. För framtiden kan en användning av t ex kabeldatanät tänkas (Frankrike).

### Val av larmmottagare

Val av larmmottagare är ett mycket viktigt beslut vid projekteringen av anläggningar i servicehus. Den skall hanteras av många olika människor och är pensionärens länk med omvärlden i en nödsituation. Den måste därför vara praktisk att använda och fylla höga krav på säkerhet.

De frågor som bör tas med i bedömningen är bl a:

- Antal personer som ska hantera de larm som kommer in.
- Personalomsättning - hur vanligt är det med vikarier och annan personal som rycker in tillfälligt?
- Utbildningsbehov och kostnader för dessa insatser.
- Krav på bemanning av larmmottagningscentralen.
- Anläggningens omfattning.
- Larmfrekvens.
- Servicegrad till användarna av trygghetslarmen.
- Möjligheter till snabb service till rimliga kostnader.
- Säkerhetsfrågor. Teknisk säkerhet - har mottagaren t ex inbyggda automatiska säkerhetsfunktioner? Hur stor är risken att personalen genom felaktig hantering ska råka äventyra säkerheten?
- Funktioner som anses särskilt viktiga i det speciella objektet. Alltså en kravspecifikation.

Ska man välja en konventionell larmmottagare eller en datorbaserad/datorstödd? Det är en av de frågor som ofta dyker upp vid projekteringen av en trygghets-telefonanläggning i ett servicehus.

### Sammanfattning

Erfarenheten visar att en "vanlig" larmmottagare i de allra flesta fall är den bästa lösningen. Den kan normalt hantera det antal anslutna trygghetslarm och den larmfrekvens som ett servicehus har hand om. Den är lättare att lära sig, och det finns utrustningar som fyller mycket högt ställda krav på säkerhet.

Den datorbaserade larmmottagarens möjligheter till statistikrapporter om informationsmängden m m bör värderas mot kravspecifikationen.

### **Synpunkter på funktioner och utrustningar**

#### **Lägenheter**

##### *Trygghetstelefoner*

I lägenheterna placeras telefoner med radiolarm (klocka) efter behov. Utrustningen är i standardutförande och kan utan hjälp av fackkunnig personal flyttas mellan lägenheterna inom servicehuset eller, om så önskas, användas i den öppna vården.

Anslutning sker till ett vanligt telejack och eluttag (230V). Utrustningen är alltså helt installationsfri.

##### *Tillbehör*

Vid behov kan lägenheten kompletteras med dessa tillbehör/funktioner:

- *Extra larmknappar* fast monterade (vanligtvis i badrum) anslutna till trygghetstelefonen med egna ledningar alternativt försedda med en inbyggd radiosändare.
- *Passivt larm* bestående av larmgivare i wc-stol med trådlös eller ledningsbunden anslutning till trygghetstelefonen.
- *Brandvarnare* med inbyggd trådlös radiosändare eller ledningsbunden kan anslutas. Programmering sker med hjälp av trygghetstelefonens handterminal.
- *Larmknapp för överfallslarm*, endast ledningsbunden, kan anslutas.

Samtidiga funktioner som kan anslutas till trygghetstelefonen:

Via radio (trådlös):

Vårdlarm (akutlarm), 9 st sändare  
Passivt larm, 1 st  
Brandvarnare, 1 st

Trådbundna larm:

Vårdlarm (akutlarm)  
alt. Passivt larm  
alt. Brandvarnare  
alt. Överfallslarm

Eftersom den yttre larmingången används för bortkoppling av det passiva larmet vid längre bortavaro från lägenheten, är det maximala antalet larmfunktioner tre stycken.

- Fjärrmanöver av trygghetstelefonens inbyggda relä från larmcentral eller sändtagare i personsökarsystem med dubbelriktad talkommunikation är möjlig. Reläslutningen är momentan och potentialfri och kan användas för manöver av elslutbleck eller liknande.
- Extra högtalare/mikrofon kan anslutas.

### **Hiss/porttelefon**

För larm från hissar och anrop från portentréer kan högtalare i infällt/utanpåliggande utförande anslutas.

För anläggningar upp till tre enheter används lämpligen utrustningar med en centralenhet per larmad hiss/port.

För anläggningar med 4-8 enheter finns centralenhet för anslutning av 8 enheter.

För entréer med fjärrmanöver av elektriskt slutbleck krävs utrustning med separat centralenhet. I anläggningar försedda med trådlös personsökare med dubbelriktad talkommunikation genomkopplas anropen till de bärbara sändtagarna på samma sätt som vid anrop från en trygghetstelefon.

### **Allmänna utrymmen**

För allmänna utrymmen som HWC-, vil- och personalrum, tvättstugor etc installeras normalt konventionella platsutrustningar i form av larmknappar - signallampor etc efter behov. Från varje larmställe fordras en potentialfri kontaktslutning, som via eget ledningsnät dras till en gemensam larmsändare, som överför respektive larm individuellt med egen larmkod. Överföringen till larmcentralen sker via det offentliga telenätet.

### **Driftlarm**

Även driftlarm kan anslutas till larmsändaren.

Om så önskas kan driftlarmen anslutas till separat larmsändare för direkt vidarebefordran till eventuell gemensam larmcentral för driftlarm m m inom kommunen. Tillgängligt kodsystäm är Robofon 8-ställig.

Gemensamt för larm från allmänna utrymmen och driftlarm är att de inte medger talkommunikation.

### **Larmcentral**

För att larmbevakningen ska uppfylla alla dessa funktionskrav fordras en larmmottagare typ Procordia ETM. Till mottagaren kan som standard anslutas utrustningar (trygghetstelefoner) med talkommunikation av fabrikat Procordia, Ericsson och Tele-Larm. Till de tre inkommande larmlinjerna kan samtliga tre typer normalt anslutas. Dessutom kan larmsändare med kodsystém Robofon anslutas. Utrustningen är installationsfri. Som standard finns utgångar för anslutning till personsökare och dator.

För reservdrift vid eventuellt nätavbrott finns inbyggd ackumulator, som räcker ca 3-4 timmar. Om så önskas, kan yttre batteribackup för längre reservdrifttid anslutas.

### **Personsökare**

Procordias larmmottagare ETM, som exempel, kan i standardutförande vidarebefordra larm till personsökare i två alternativa utföranden.

Den individuella larmkoden kan överföras till mottagarnas sifferdisplay. Mottagaren ger också akustisk signal. Utrustningen är normalt av fabrikat Tateco.

För manuell sökning erfordras inget separat manöverbord, utan larmmottagarens tryckknappsats kan utnyttjas för detta ändamål.

På senare år har allt fler kunder valt den alternativa lösningen, där man förutom displayinformation och akustisk signal även kan upprätta en tvåvägskommunikation med tal mellan den anropande trygghetstelefonen, alternativt hiss/porttelefonen, och personsökarmottagaren (sändtagaren).

För manuell sökning används en knappsatstelefon i standardutförande, som ansluts till ett jackuttag i personsökaranläggningens radioprocessor.

Dessutom ingår som standard i systemet samtalsförbindelse mellan de enskilda mobila enheterna (sändtagarna).

På detta sätt får man en snabb internkommunikation för personalen. Talförbindelsen är inte heller bunden till fasta apparatplatser som i exempelvis en snabbtelefonanläggning. Räckvidden på anläggningen är ca 1 km.



### **Särskilt boende**

I samband med Äldrereformen har begreppet "särskilt boende" införts.

Detta begrepp är en sammanfattning av de boendeformer som ska ersätta eller komplettera boende i ålderdomshem, långvård etc.

Dessutom innefattas också det planerade gruppboendet för senildementa i detta begrepp.

Enligt uppgift planeras tre olika boendeformer:

#### *1 Sjukhemslägenheter*

Avsedda för äldre fysiskt mycket vårdkrävande personer.

Byggs i enheter om 8 lägenheter.

#### *2 Ålderdomshem*

Avsedda för mycket vårdkrävande men i övrigt psykiskt/fysiskt friska åldrande personer.

Byggs i enheter om 8-10 lägenheter.

#### *3 Gruppboende*

Avsedda för åldringar med psykiska svårigheter, senildementa eller liknande.

Byggs i enheter om 6-8 lägenheter.

De funktioner och utrustningar som beskrivits i samband med servicehus finns självfallet behov av även inom "särskilt boende". Beroende på de boendes ofta mycket höga ålder, senildemens och liknande kan dock vissa mer speciella krav ställas på utrustningar för personlig trygghet. Det finns i dag ännu ingen idealisk lösning på dessa problem. Utvecklingsarbete pågår dock, och det kommer snart att presenteras nya tekniska tillägg.

#### **"Bråklarm"**

En speciell variant av trygghetssystem har utvecklats för att fungera som "bråklarm", som kan användas t ex på socialkontor eller i andra sammanhang där personalen kan vara orolig för hot.

### Teleanslutningar

Erforderliga teleanslutningar till anläggningar ingår normalt inte i trygghetstelefonleverantörens åtagande.

Abonnemangen beställs och bekostas av kunden/nyttjaren. De abonnemang som fordras är:

- För larmmottagare:  
Gruppnr 2-3 linjer
- För port/hisstelefoner:  
Räcker i regel med ett gemensamt abonnemang
- För larmsändare:  
Ett abonnemang (allmänna utrymmen)

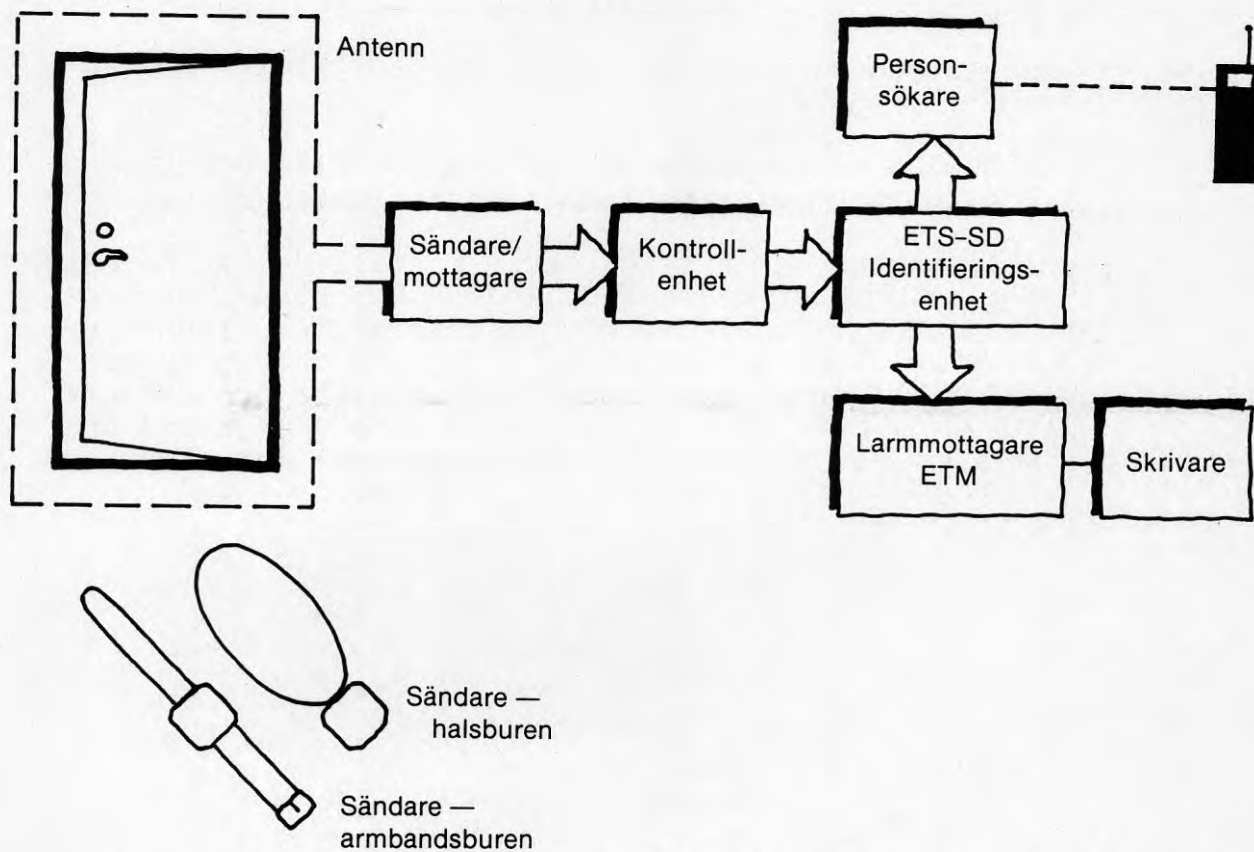
Det svenska trygghetssystemet har visats stort intresse från utlandet under 80-talet.

Slutligen visas två bilder. Figur 2.4.3:1 visar en datorstödd mottagningscentral för trygghetslarm. Denna kan givetvis utökas med andra övervakningsuppgifter av typ klimat, komfort etc.

Figur 2.4.3:2 är ett exempel på ett s k virrlarm för t ex personer med senildemens.



Figur 2.4.3:1. Datorstödd mottagningscentral



Figur 2.4.3:2. Virrlarm kopplat till personsökaranläggning och larmmottagare.

#### 2.4.4    **Intelligenta byggnader**

##### **Exempel från Sverige**

Det finns relativt många byggnader att välja bland för en beskrivning av datorbaserade styr- och övervakningssystem.

Nedanstående har valts från stockholmsområdet, men principerna är giltiga oavsett geografiskt läge i landet.

#### 2.4.5    **ELECTRUM**

Electrumbyggnaderna är belägna i Kista ca 12 km norr om Stockholms city.

De ägs av Hiby AB, vilket är helägt av Stockholms stad.

Hotellbyggnaden har en annan ägare.

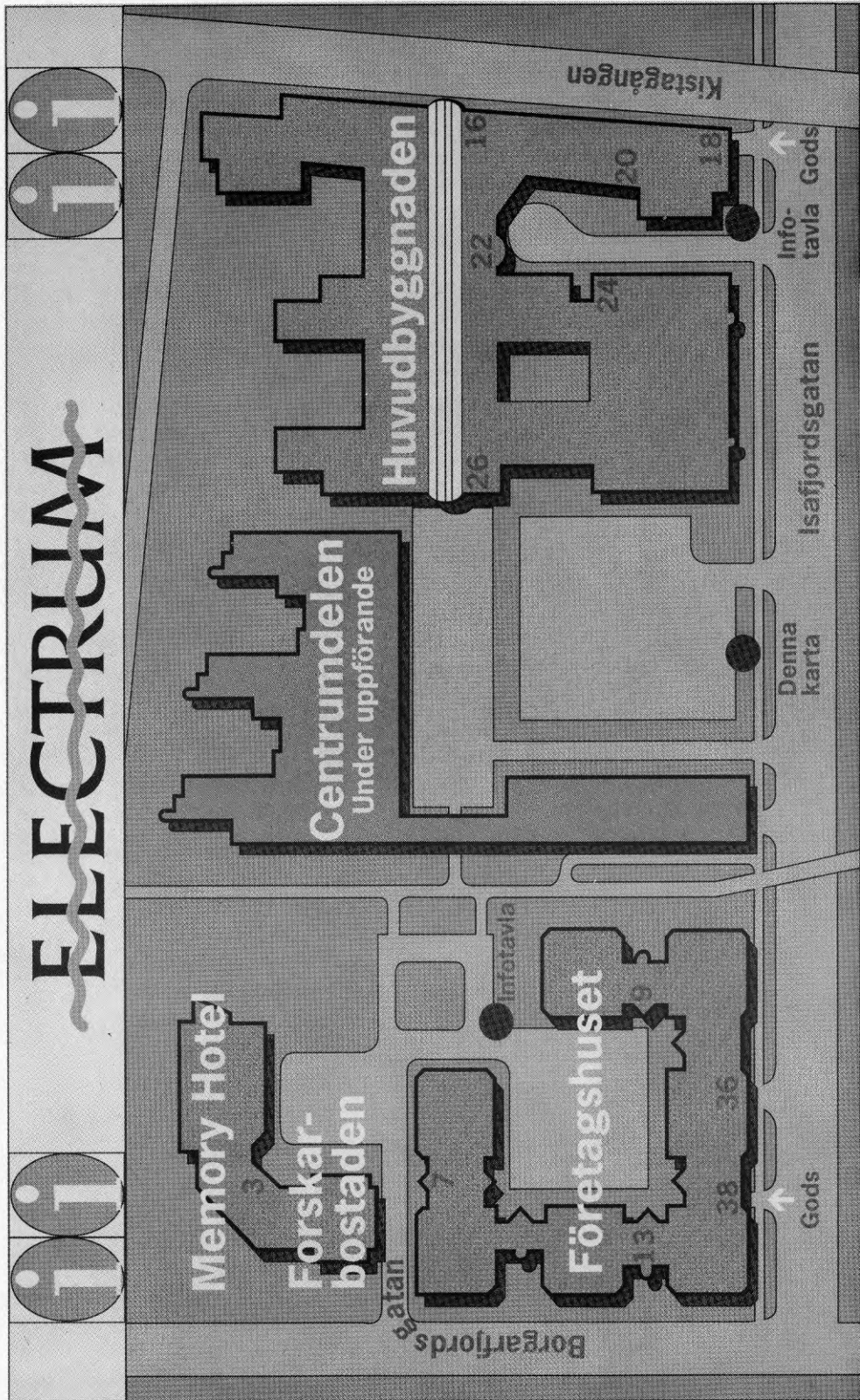
Området Electrum framgår av Figur 2.4.5:1.

Byggnaderna har en bruttoarea på ca 150 000 m<sup>2</sup>.

Huvudbyggnaden som är i bruk sedan 1988 har mer än 40 hyresgäster.

Hyresgästerna representerar framför allt Företag-Forskning-Utbildning inom informationsteknologi.

Tillsammans har hyresgästerna installerat stora mängder av ytterst avancerad, modern och dyrbar utrustning. Som exempel kan nämnas datorhallar, laboratorier för forskning och utveckling av elektronik- och optokomponenter samt kommunikationssätt och metoder som möjliggör distribuerat samarbete. Med andra ord: byggnaderna hyser en teknisk kunskaps- och utvecklingspotential, som idag är välkänd i världen.



Kista Ofiset AB

Figur 2.4.5:1. Electrumområdet.

*ELECTRUM i Kista*

Figur 2.4.5:2. Bild av huvudbyggnadens inglasade del.

KISTA HAR BLIVIT en samlingspunkt för elektronikindustrin i Stockholm. I dag finns där Sveriges största koncentration av arbetsplatser utanför den egentliga stadskärnan. De flesta företag är verksamma inom data och elektronik eller stödfunktioner till dessa. Kista är en komplett stadsdel med bostäder, arbetsplatser och service samt ett mycket väl utbyggt kommunikationsnät.

ELECTRUM ÄR RESULTATET av ett samarbete mellan Stockholms stad, staten och näringslivet. Tillsammans har de skapat förutsättningar för studenter, forskare och ingenjörer inom företag att arbeta nära varandra, i samma byggnad. ELECTRUM fungerar som en naturlig mötesplats där nya tankar och ideér kan födas. ELECTRUM ger människor spelrum för sin kreativitet.

HIBY HAR FINANSIERAT och byggt samt äger, förvaltar och hyr ut ELECTRUM.

### **Styr- och övervakningssystem**

Området försörjs med värme via fjärrvärmeledningar vilka innehåller vatten med 80°C.

El införs från högspänningsnätet med 20 KV och transformerar till önskade spänningar inom områdets byggnader. Dieselmotorer finns som säkerhet vid strömavbrott.

En digital telefonväxel, Ericsson MD110, betjänar huset.

Hyresgästerna svarar för sina egna datanät, LAN, och hur de eventuellt skall kunna samarbeta inom byggnaden och via WAN. Service och underhåll av datorer och annan IT-utrustning är också en hyresgästfråga. Nämnas bör även de rigorösa miljökrav som ett laboratorium ställer och som kräver ett eget styr- och övervakningssystem.

Personkontroll och vissa säkerhetsfrågor är också anpassade till olika verksamheter.

Kvar är då ett för byggnaderna gemensamt bassystem. Från en förvaltningsenhet i huvudbyggnaden övervakas Electrum plus andra byggnader i närheten. De har en ungefärlig bruttoyta på 200 000 m<sup>2</sup>.

Med bassystemet styrs klimat och energiförbrukning samt gemensamma larmfunktioner. Systemet man valt är VISONIK 4000 från LANDIS & GYR.

Exempel på systemkonfiguration med bild och möjligheter framgår av Figur 2.4.5:3.

Figur 2.4.5:4 ger genom text och bild principerna för dataöverföring inom systemet.

**Bild och text nedan visar exempel på VISONIK systemkonfiguration.**

VISONIK 4000 är ett fleranvändarsystem. Samtliga anslutna terminaler kan användas samtidigt av olika operatörer.

Genom systemkonfigurationen blir flexibiliteten maximal. VISONIK 4000 består av följande systemdelar:

#### Huvudcentral

- Bildskärmsterminal och fullgrafisk färgbildskärm. Separata tangentbord med funktionstangenter och alfanumeriska tangenter. Med färgbildskärm utförs operatörskommunikationen till övervägande delen med ljuspenna.
- Teckenskrivare med tangentbord för utskriftsfunktioner och operatörskommunikation.
- Teckenskrivare utan tangentbord för utskriftsfunktioner.
- Färgskrivare utan tangentbord för grafiska utskriftsfunktioner. (Flödesschemor, statistik etc.)
- Uttag för servicetelefon.

#### För databehandling och överföring har VISONIK 4000:

- Centralenhet med processdator, internminne, externminne och kommunikationsinterface.
- Terminaldator för avancerad statistik samt bildbehandling/processgrafik.
- Anslutningsenhet för datakommunikation huvudcentral – undercentraler.

#### Modemutrustningar

Anslutningsmöjligheter med modem gör att VISONIK-4000 kan kommunicera via telenätet över

både fasta och uppringda linjer mellan:

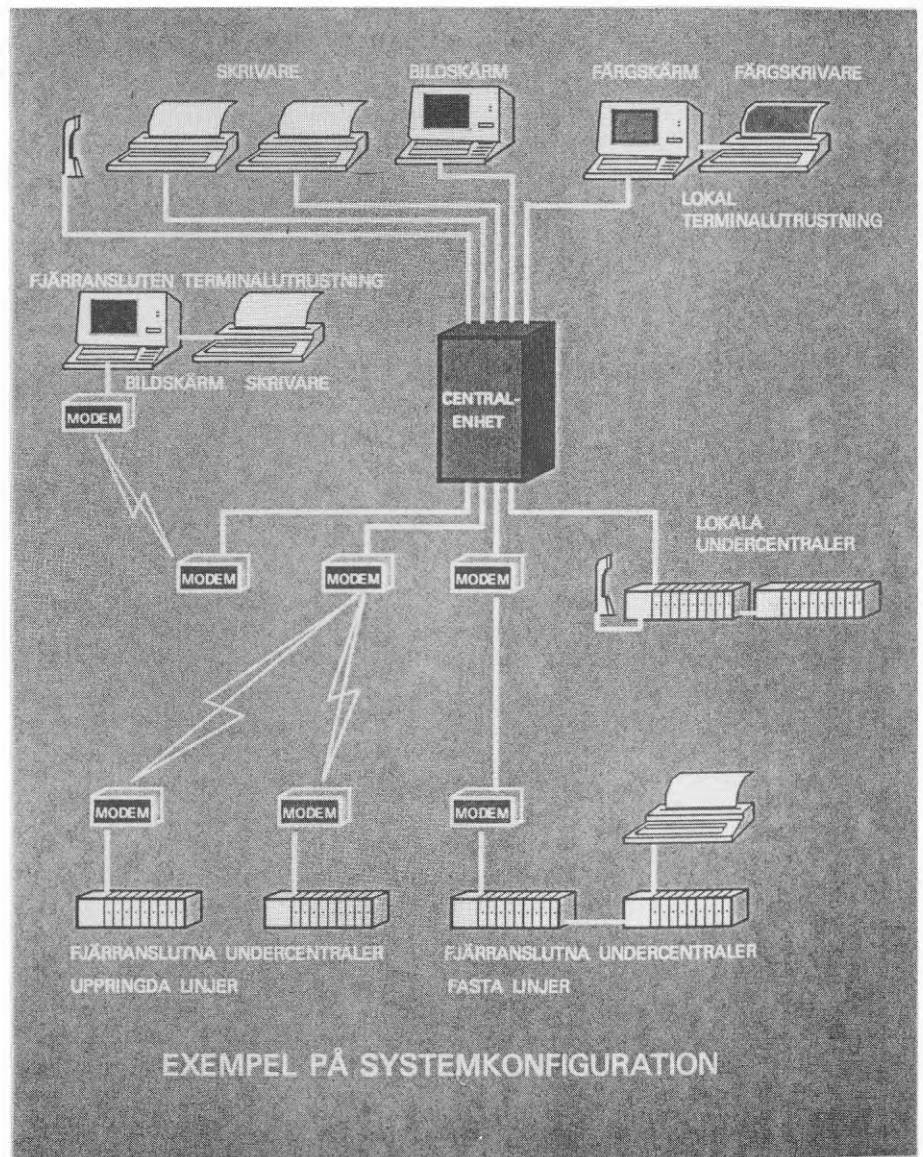
- Huvudcentral – undercentraler
- Huvudcentral – terminaler.

#### Undercentraler

- Undercentralerna har friprogrammerbar mikroprocessor, elektronik och programvara för datakommunikation samt funk-

tionsmoduler av instickstyp med monteringssockel för direktanslutning av styr- och övervakningsobjekten.

Uttag för anslutning av bärbar telefon ingår i samtliga undercentraler. Ett ovärderligt hjälpmedel vid igångkörning, service och underhåll...



Figur 2.4.5:3. VISONIK 4000 systemkonfiguration



## Dataöverföring med VISONIK 4000

VISONIK 4000 överför data asynkront på två nivåer:

- Huvudcentralnivå
- Undercentralnivå.

På undercentralnivå kommunicerar undercentraler och datapunkter samtidigt och oberoende av varandra. Kommunikationen undercentral – huvudcentral är anpassad till televerkets linjer och modem. Undercentralerna är anslutna i valfri följd och uppdelning till ringkopplade 6-trådiga ledningar som var och en arbetar oberoende av varandra.

### Överföringen i princip

Enligt principen master-slave initieras dataöverföringen uteslutande av huvudcentralen. Undercentralerna svarar på anrop från huvudcentralen eller kvitterar mottagen information. Det är också huvudcentralen som svarar för organisation, övervakning av dataöverföringen och gör felkorrigeringar. Fel identifieras dock även av undercentralerna.

Informationsöverföringen sker bitseriellt i block med varierande byte-antal (1 byte = 8 bit) beroende på funktion.

Mellan nivåerna sker datakommunikationen på två sätt:

- Anrop till undercentralerna från huvudcentralen för att hämta statusinformation.
- Överföring av information från huvudcentralen till undercentralerna.

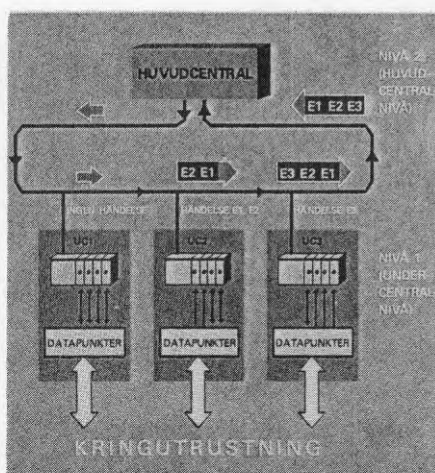
### Avsökning

Huvudcentralen sänder regelbundet frågetelegram för att söka av alla undercentraler. Varje under-

central kompletterar telegrammet med data om eventuella händelser i samma turordning som undercentralerna anropades. På så vis kan samtliga undercentraler sända information till huvudcentralen som svar på ett enda anrop.

### Överföring av meddelanden

En avsökningscykel börjar alltid med överföring av meddelandeblock. Informationsblock för aktuell undercentral läggs i valfri ordningsföljd framför avfrågningsblocket.



Därigenom kan varje undercentral sända information till huvudcentralen under varje avsökningscykel, oberoende om huvudcentralen sänder meddelande till den aktuella undercentralen eller inte.

Överföringshastigheten för varje ringkopplad ledning är 1200, 2400 eller 4800 Bd (bits/s) beroende på hur många undercentraler som är anslutna.

### Överföringssäkerhet

Att ringkommunikation används i VISONIK innebär att ett antal kontrollmöjligheter finns för identifiering av överföringsfel.

Huvudcentral och undercentraler är självständiga logiska enheter med inbyggda möjligheter till felidentifiering.

Den höga överföringssäkerheten baseras vidare på att sändaren (huvud- eller undercentral) får varje överföringsblock kvitterat av mottagaren. Om ingen kvittering finns av överförd information så upprepas sändningen.

Överföringsblocken – oavsett art – säkras med cyklisk redundanskontroll (16 bit). Identifieringen av fel möjliggörs också genom synkroniseringstecken, i synnerhet ledningsbrott med lokalisering av brottstället.

Fel som identifieras korrigeras. Om detta misslyckas så registreras felet med utskrift.

Figur 2.4.5:4. Dataöverföringsprinciper

### Användning av systemet

Centraldatorn i VISONIK är en Digital Equipment PDP 11/73.

Man styr och övervakar temperatur genom vattenburen värme och kylpaket i taken. I huvudbyggnadens stora glasade parti, se fig 2.4.5:2, finns en givaranordning, som automatiskt kan öppna och stänga olika toppfönster beroende på klimatparametrar utom- och inomhus.

Temperaturen i kontorslokalerna kan också påverkas individuellt.

Relativa fuktigheten RH styrs mellan 45 och 75 RH beroende på lokalytans krav.

Vattenskador ger larm genom fuktgivare i golv.

Allmän belysning styrs genom ett program i systemet.

Brandvarning utlöses genom rökdetektorer och temperaturgivare.

Ett allmänt inbrottsskydd finns; för byggnaderna i övrigt tillkommer och utlöses larm valda av olika hyresgäster.

Byggnadernas alla hissar är kopplade till ett speciellt larmsystem.

Bassystemet övervakas via bildskärmsterminaler av personal under dagtid. De ingriper, rättar och förebygger fel genom systemets kontinuerliga rapporter. Vissa larm går vidare om de är av allvarlig art, t ex brand- eller personfara. Under tid då personal ej finns på plats går vissa larm alltid vidare. Larmen är prioriterade i tre klasser:

- |                      |   |                  |
|----------------------|---|------------------|
| *** 3 <i>Högsta:</i> | Brand, hissar, högspänningsfel, personrelaterade.           | Till larmcentral |
| ** 2 <i>Mellan:</i>  | Driftlarm vilka kan ge stopp och stora ekonomiska effekter. |                  |
| * 1 <i>Minsta:</i>   | Mindre driftstörningar.                                     |                  |

Sedan idriftsättningen och under projektering och byggande av nya enheter pågår en kontinuerlig utveckling och förbättring av systemet och dess komponenter.

#### 2.4.6 SE-Banksgruppen

##### Bankhus 90 i Rissne

SE-Banksgruppen består av två delar: Bankrörelsen och ett antal dotterföretag.

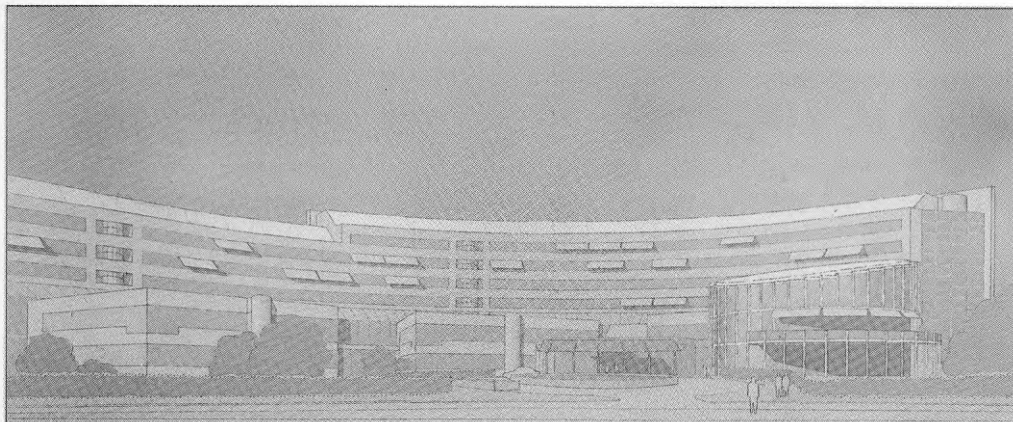
Båda delarna kommer att expandera. Den största expansionen och de största förändringarna kommer förmodligen att ske inom det som förbinder allt arbete i banken, nervsystemet - dataverksamheten.

Bankhus 90 är i första hand ett hus för bankens dataverksamhet. Det är även ett hus för den interna utbildningen och för bankens serviceenheter såsom distribution, förråd, tryckeriverksamhet, post- och värdehantering. Det är också ett hus med vanliga kontorsarbetsutrymmen. Inflyttning beräknas ske under sommaren 1992 av ca 1400-1500 personer.

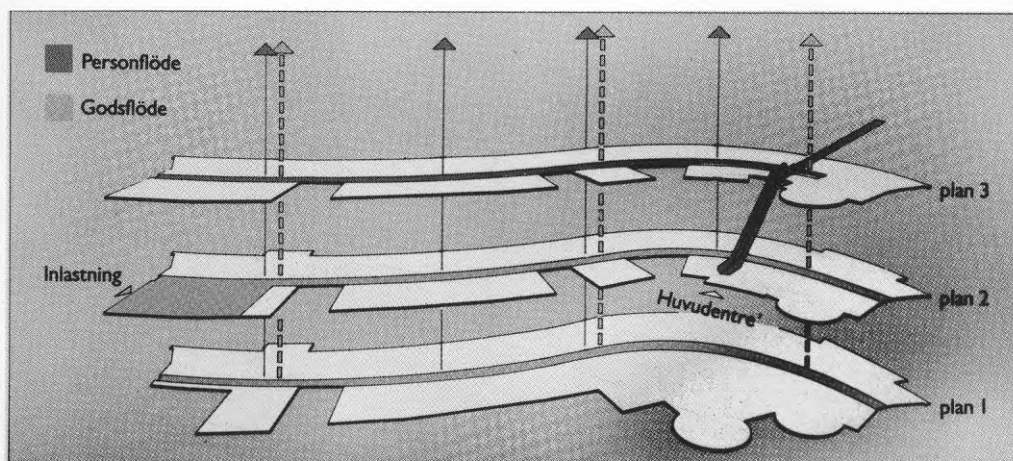
##### *Några data:*

- Byggnadens bruttoyta är 93 000 m<sup>2</sup>; tillbyggnadsmöjligheter finns.
- Byggnaden är 320 m lång, består av 9 plan plus teknikerservicedel som takvåning. 2 plan är under jord.
- Metallklädda utrymmen i datorhallar etc för störningsskydd.
- Byggnaden är säkrad för LEMP (blixtpåverkan).
- Vattentät bottenplatta finns ca 1 m under grundvattennivån, på berg, morän och pålar.

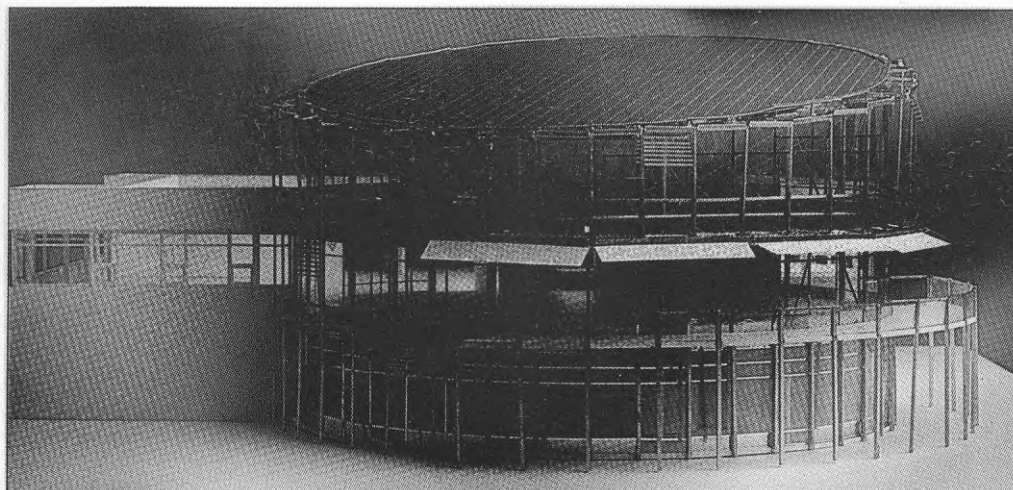
Nedanstående bild visar en vy från söder av byggnadens huvudentré, vidare person- och godsflöde samt restaurang och hörsal.



Huvudentrén ligger åt söder. Byggnaden är åt detta håll uppdelad i flera byggnadskroppar. Varierande och levande fasader, tillsammans med solavskärmningarna, ska ge ett spel av ljus och skugga.



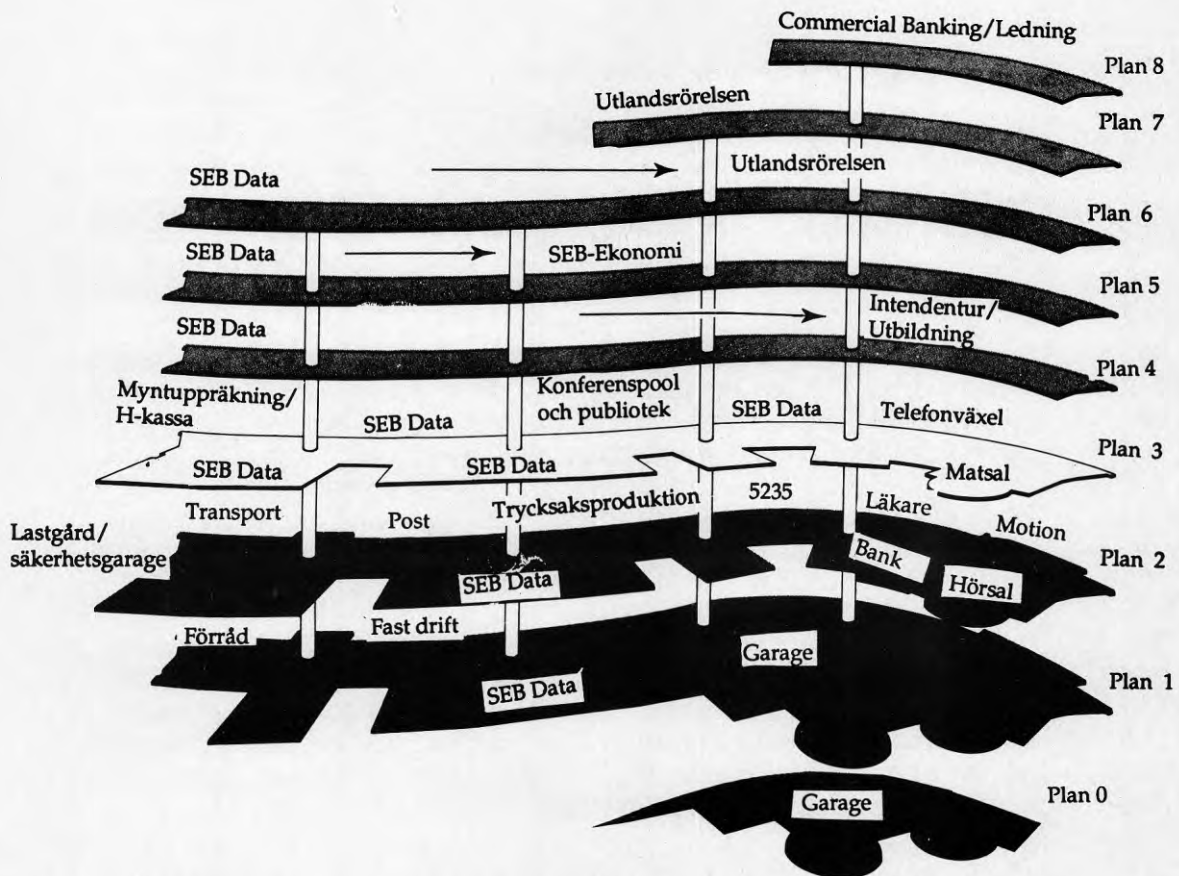
Blodomloppet i Bankhus 90. På plan 1 och 2 finns transportlederna för godshantering. Från entrén når man med rulltrappor till galleristråket på plan 3, i ett slags planskild korsning. De vertikala pilarna visar kommunikationen i hiss- och trapporn.



Restaurang- och hörsalsbyggnaden har en egen form, som även i material skiljer sig från övriga byggnader: en glascylinder med spröjsverk och solavskärmning i blankpolerat, rostfritt stål. Efter mörkrets inbrott lyser glascylindern som en lykta.

Figur 2.4.6:1.

Nedanstående bild visar den planerade verksamhetens placering i byggnadens olika plan.



### Bankhus 90

Figur 2.4.6:2.

### Styr- och övervakningssystem

Signifikant för denna byggnad är de höga kraven på säkerhet. Stoppar datan - då stannar banken. Man har därför vid projektering och konstruktion lagt stor vikt vid detta.

*Styr- och övervakningssystemen kan indelas i:*

Byggnadens klimat och komfort	
Brand	SE-bankens egna
Inbrott	normer
Personkontroll och behörighet	Allmänna lag-
Tele- och dataskydd	bestämmelser etc

De olika delsystemen är ibland kopplade, t ex person-behörighet-dataskydd. Detta beskrivs inte i anslutning till exemplet.

Telefonväxeln är digital, Televerkets typ AT 335.

För styrning av byggnadens klimat och komfort har valts HONEYWELL Excel IRC. Figurerna på sidorna 88-91 visar i princip hur detta är uppbyggt.

### *Strömförsörjning*

Strömförsörjning sker genom två separat ingående 20 KV-ledningar till två olika ställverk. Reservkraft genereras vid behov av 6 st dieselmotorer med generatorer. Vardera ger 600 KVA.

*Transportutrustningar som övervakas i byggnaden är:*

- 23 Hissar inne i byggnaden
- 6 Fasadhissar placerade på tak i olika plan; de är spårbundna
- 2 Rulltrappor

Värme alstras i eget elektriskt pannsystem, och vattenburen värme distribueras i byggnaden. Datorlokaler kyls med vatten, och överskottsenergi återvinns. Individuell extra temperaturreglering i kontorslokaler  $\pm 2,5^{\circ}\text{C}$ .

*Solavskärmningssystem*, i form av persienner och markiser, är datorstyrda och införda i systemet.

*Belysning* regleras individuellt i kontoren i övrigt enligt program i systemet.

Kabelförläggningen i byggnaden är mycket omfattande.

Kablar av olika typer är för:

Högspänd strömförsörjning

Belysning

Tele

Data	Opto
	Koaxial
	Tvinnade par

Ur service- och förvaltningssynpunkt är varje ledare numrerad.

#### *Det interna datanätet*

Stommen består av ett fysiskt fastighetsnät (vertikalt bestående av ett optofibernät, horisontellt på våningsplanen av ett IBM kabelnät).

Detta fastighetsnät bär flera olika logiska nät (till exempel de lokala nätverken Token Ring och Ethernet).

Ett lokalt nätverk knyter samman flera PC (persondatorer) och gör det möjligt för dem att utnyttja data och andra funktioner gemensamt.

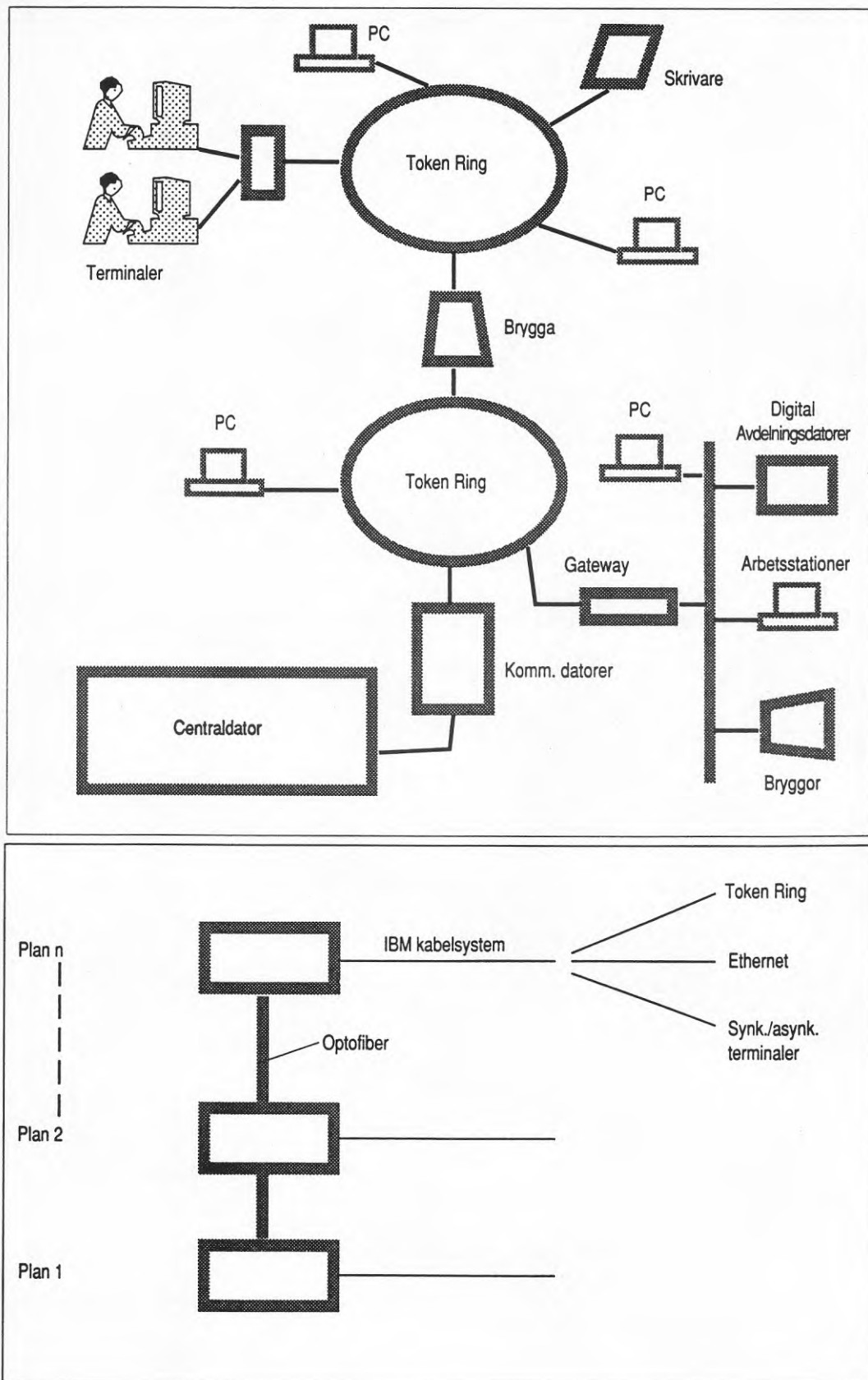
Nätverket Token Ring är avsett för att koppla samman persondatorer, till exempel IBM och/eller Apple; Ethernet är avsett för Digital's persondatorer.

Tack vare den här uppbyggnaden blir det lätt att flytta med sig sin persondator mellan olika arbetsrum eller mellan olika våningsplan.

Det dominerade logiska nätet är Token Ring, som i sin grundversion har en kapacitet av 16 Mbit/s. Man kan klara en kraftig expansion i framtiden och bygga ut nätet till en kapacitet av 100 Mbit/s - utan att göra några ingrepp i det fysiska kabelnätet.

Allt tack vare optofibertekniken. - FDDI är framtidens kommunikation, som datateknikerna säger (FDDI = Fiber Distributed Data Interface).

Datanätets uppbyggnad se figur 2.4.6:3.



Figur 2.4.6:3. Ovanstående bild visar uppbyggnad av det interna datanätet.



Det externa datanätet bygger i första hand på egna nät. Sannolikt blir det liten datamängd över det publika telenätet.

Bankhus 90 är en ytterst modern byggnad, där såväl säkerhet, miljö och effektivitet som trivsel beaktats. Komponenter och systemteknik är av senaste slag men inte oprövade.

Om en övergripande jämförelse görs med Electrum, är Bankhus 90 avsedd för en organisation, medan Electrum betjänar många.

De följande sidorna visar uppbyggnadsprinciper och möjligheter hos Honeywell Excel IRC.

## DeltaNet General Purpose Central

The central to integrate Excel IRC into DeltaNet Building Automation Systems

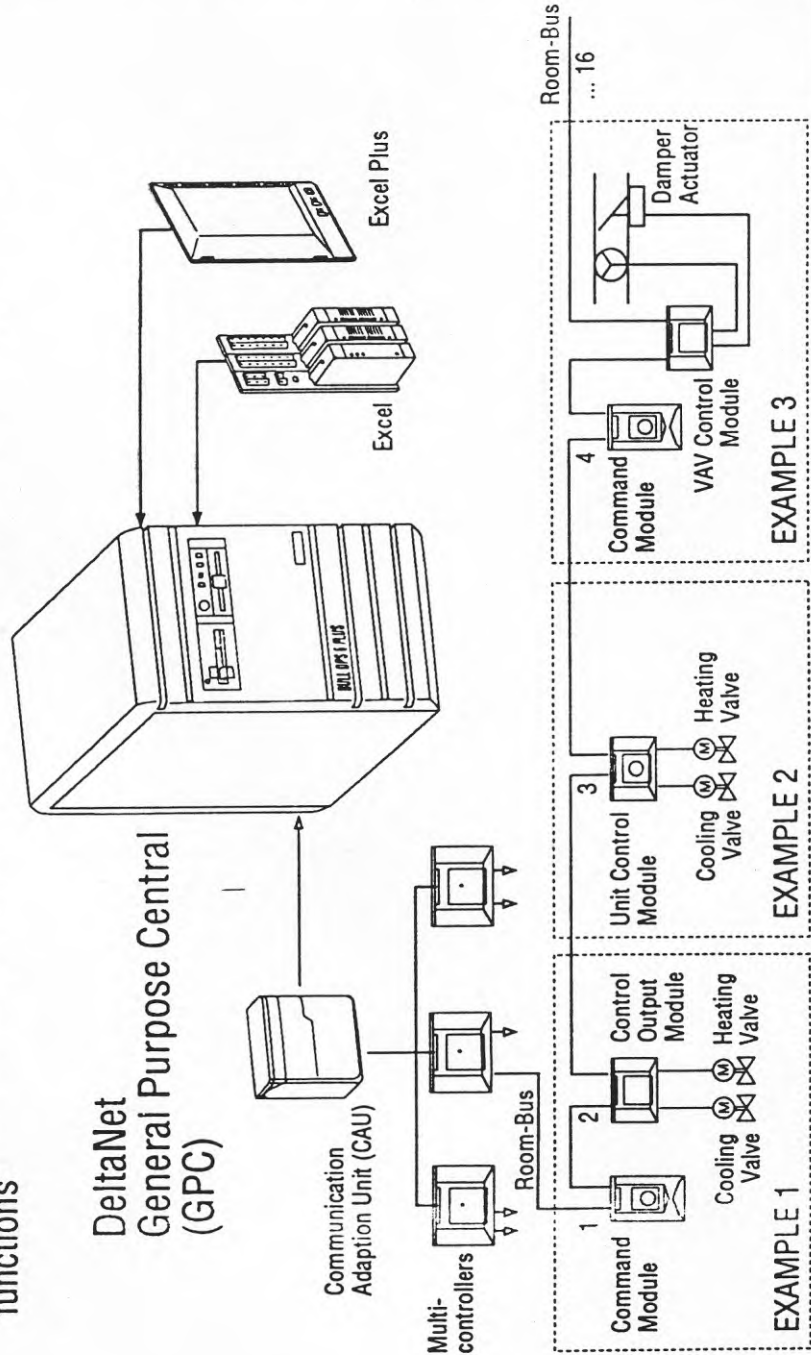
- Permits full integration of HVAC Control, Individual Room Control, Fire, Security, Flextime, Maintenance Management and Access Control into one system
- Allows interconnection of Excel, Excel Plus, Excel IRC etc. to the DeltaNet Building Automation System
- Up to 45 busses
- Best integrated building solution for sophisticated control and energy management functions

### Benefits:

- The power of a minicomputer with the advantages of integration to reduce total and operating costs
- Integrates Excel IRC into the DeltaNet Excel Plus Building Management System
- Up to 36 Colorgraphic Operator Terminals, monochromatic CRT operator terminals and printers
- Full variety of management reports, curve plot and bar charts
- The optional Maintenance Manager Programme schedules preventive and demand maintenance, manages materials, standardises work methods, reviews historical trends, and plans budgets

Easy modification with minimum investment if building requirements change

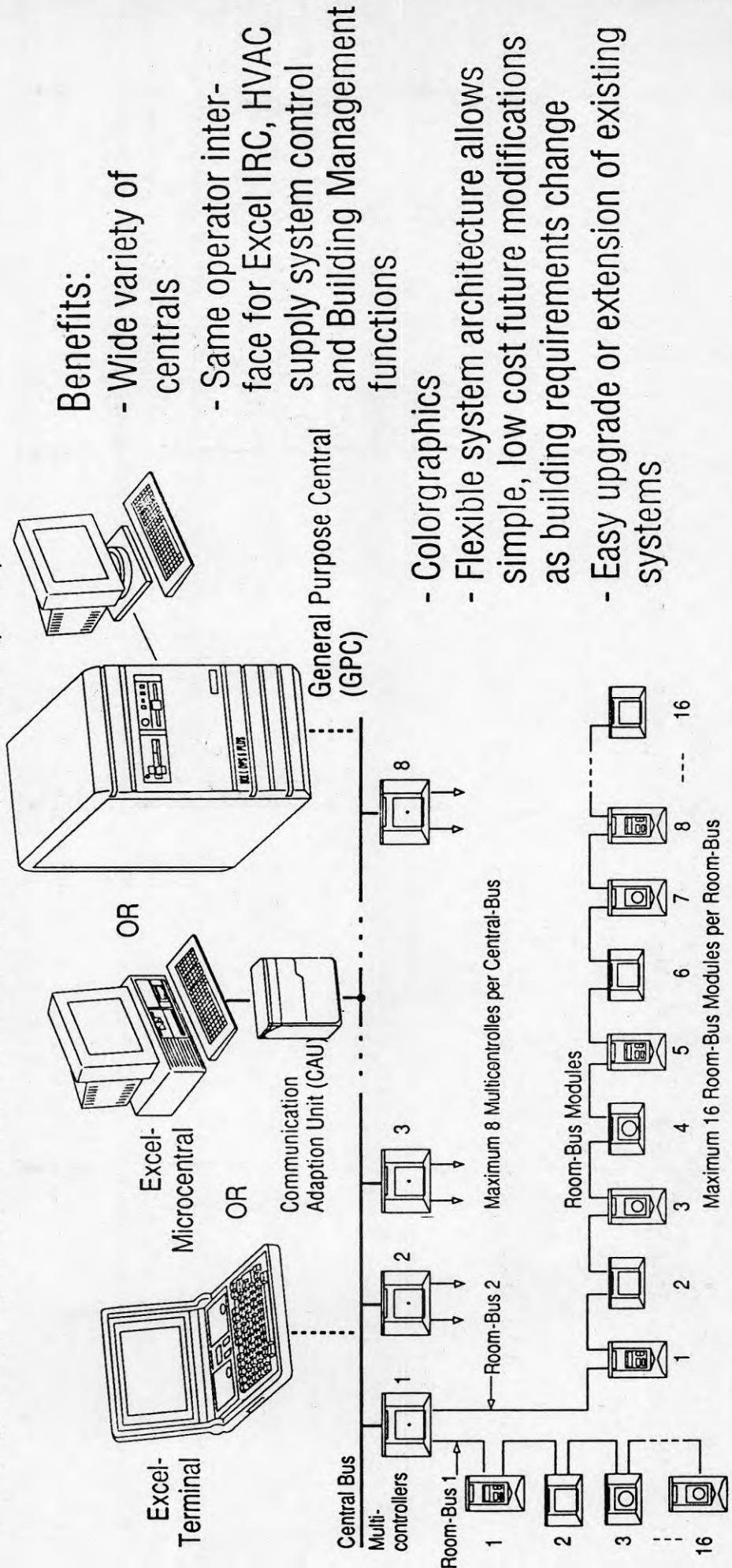
### DeltaNet General Purpose Central (GPC)



# Excel IRC

## Excel IRC Integration

The Excel IRC integration into existing Excel Operator's Terminals, Centrals, and the DeltaNet Building Management System via the Communication Adaption Unit (CAU)



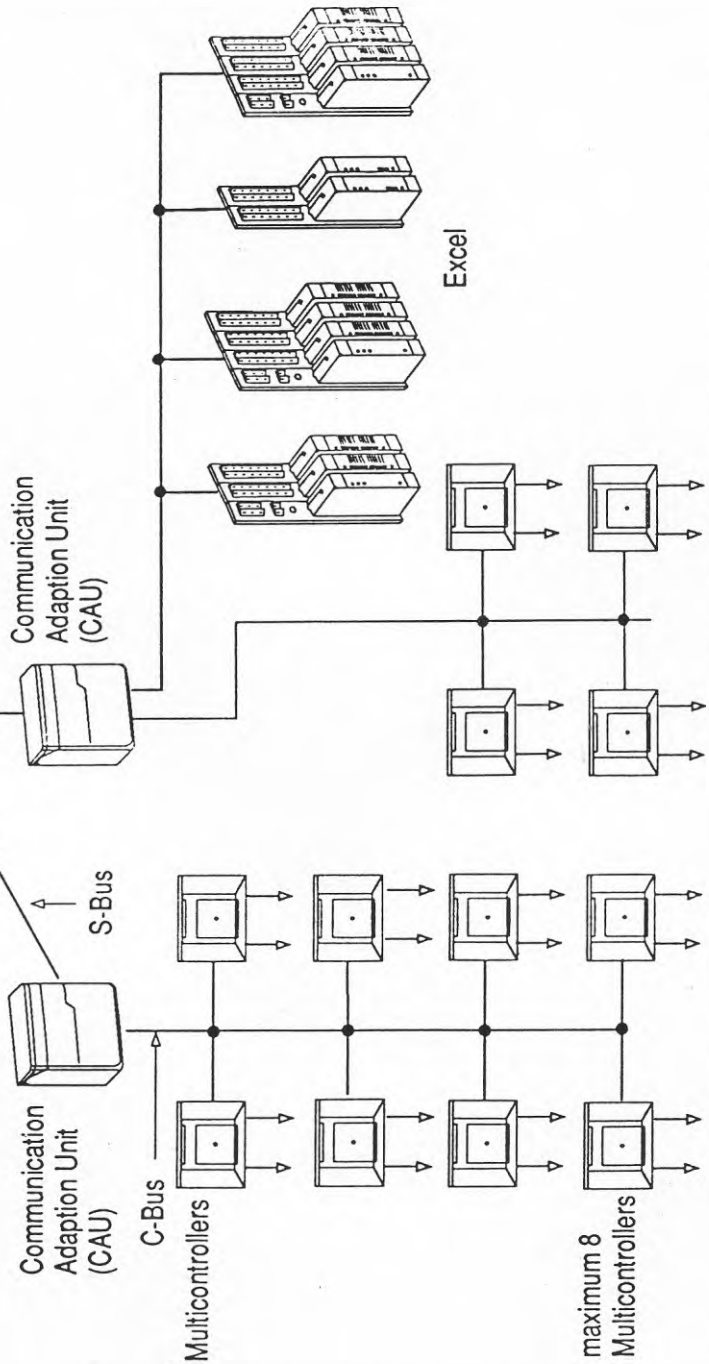
Honeywell has the right solution to meet your needs of today and your future requirements

Honeywell

## Excel Microcentral The central to integrate Excel IRC into Excel Direct Digital Control (DDC) systems

- Up to 32 Excel IRC and Excel DDC systems (4 Busses)
- All Microcentral operations and functions are available for Excel IRC sized buildings
- Suitable for medium sized buildings

### Excel Microcentral



100% IRC

Combination of Excel IRC and Excel DDC

### Benefits:

- Performs interaction between the HVAC and room control systems
- Optimises HVAC control system performance
- Reduced time for fine tuning
- Reduced energy consumption
- Reduced total installation and operating costs

### Systemuppbyggnad

Ett regelsystem för individuella rum, som kan innehålla ett flertal regelkretsar måste ha en sammanhängande uppbyggnad, vara modulbaserat samt överskådligt och samtidigt tillåta utökning. Detta gäller både för tillkommande regelkretsar, samt framtida utvecklingar och nya användningar.

Intelligensen måste fördelas på de enskilda komponenterna.

Excel IRC individuella rumsreglersystemets konstruktion baseras på denna inriktning.

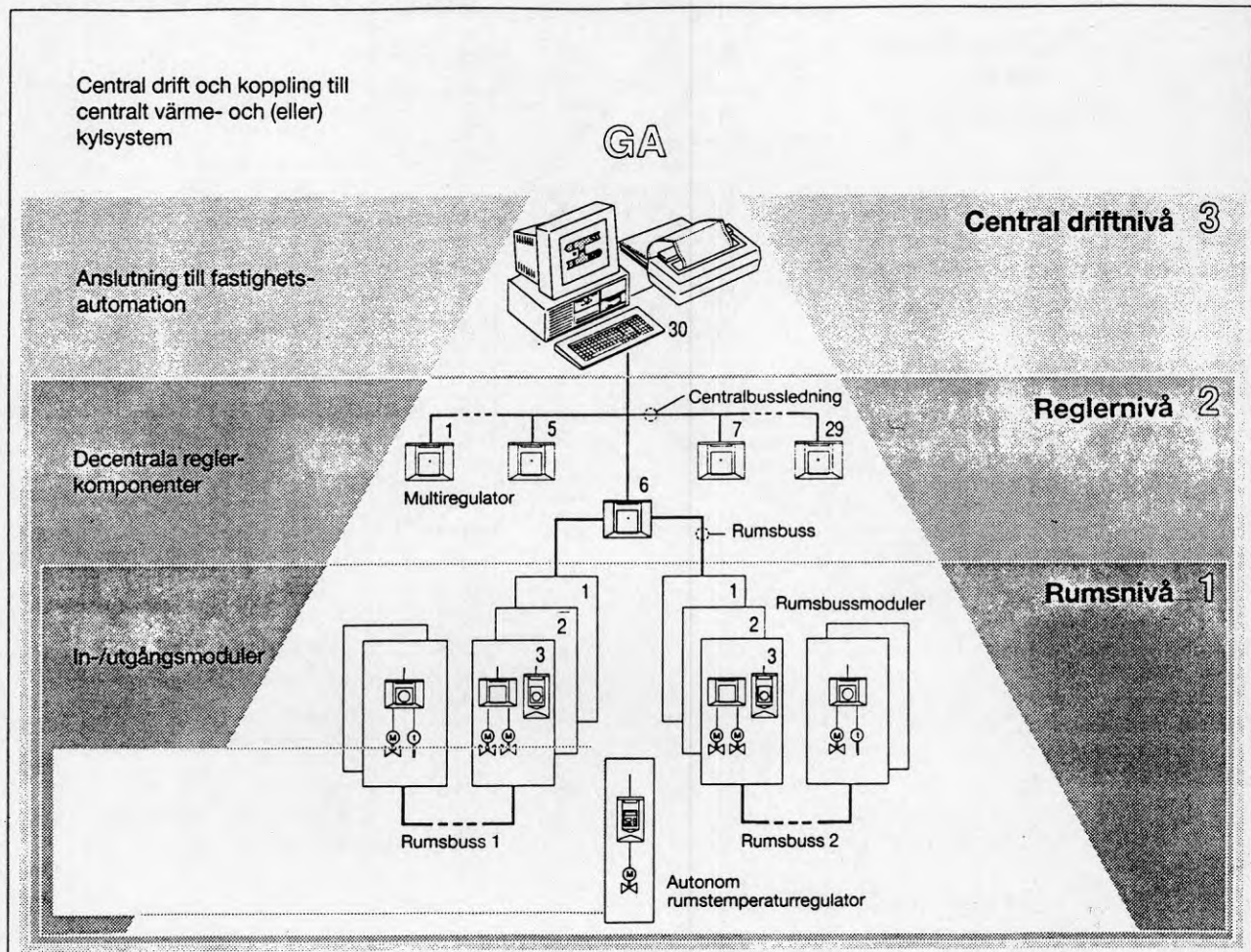
Den är konstruerad i 3 nivåer:

1. Lokala in-/utgångsmoduler – rumsnivån
2. Autonom reglernivå
3. Central manövernivå

och ger därför en idealisk bas för överskådlig installation och användning.

Därutöver erbjuder "Excel IRC"-systemet möjligheten av integration i system för fastighetsautomation, ett krav som rätt ofta dyker upp när det gäller större installationer.

Bilden nedan visar hur systemet byggs upp:



Excel IRC individuella rumsreglersystemets uppbyggnad på 3 nivåer

## 2.4.7 SL - Storstockholms lokaltrafik

### Tunnelbanebyggnaderna

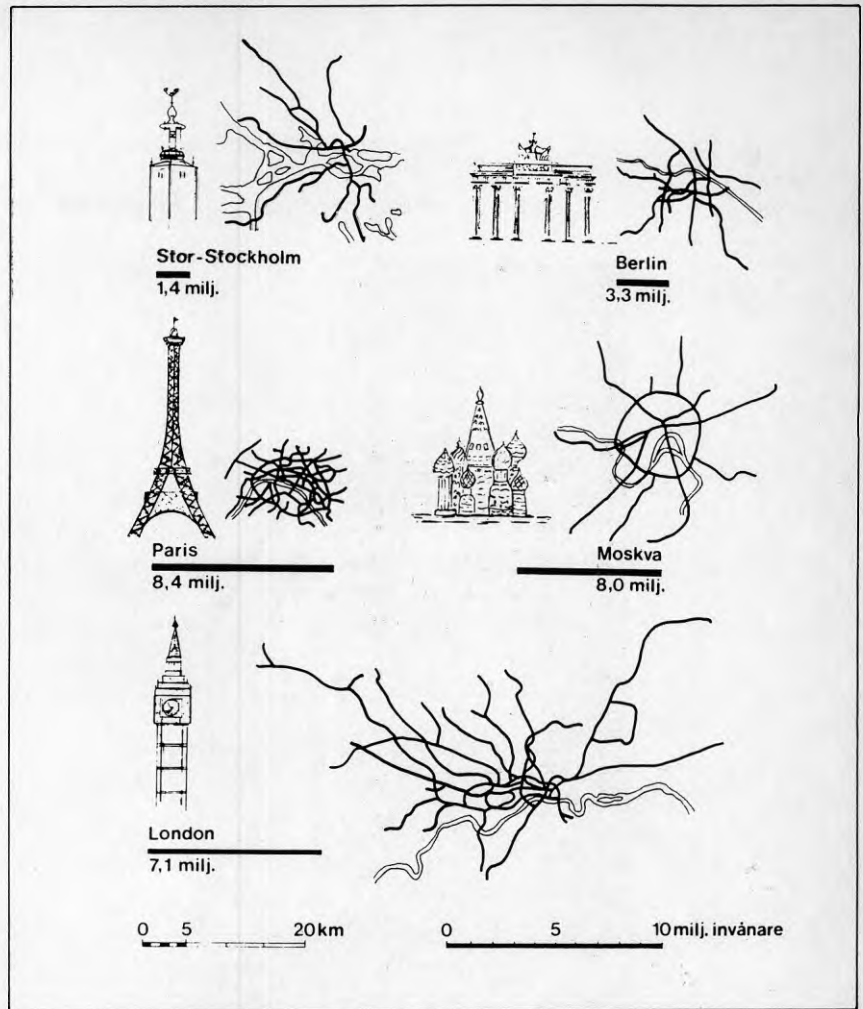
SL är en av stockholmregionens största fastighetsägare. Den är också en av de större arbetsgivarna med ca 11 000 anställda.

Tunnelbanan, som är en del av lokaltrafiken, har i dag 99 stationer i drift och två nya under byggnad.

I anslutning till en T-station finns som regel en byggnad som ägs av SL. Byggnaderna kan variera mycket vad beträffar byggår och storlek. Bilderna 2.4.7:1-4 visar SL-stationerna, omfattning relaterad till andra städer och bilder av T-stationerna Gamla stan och Stadion.

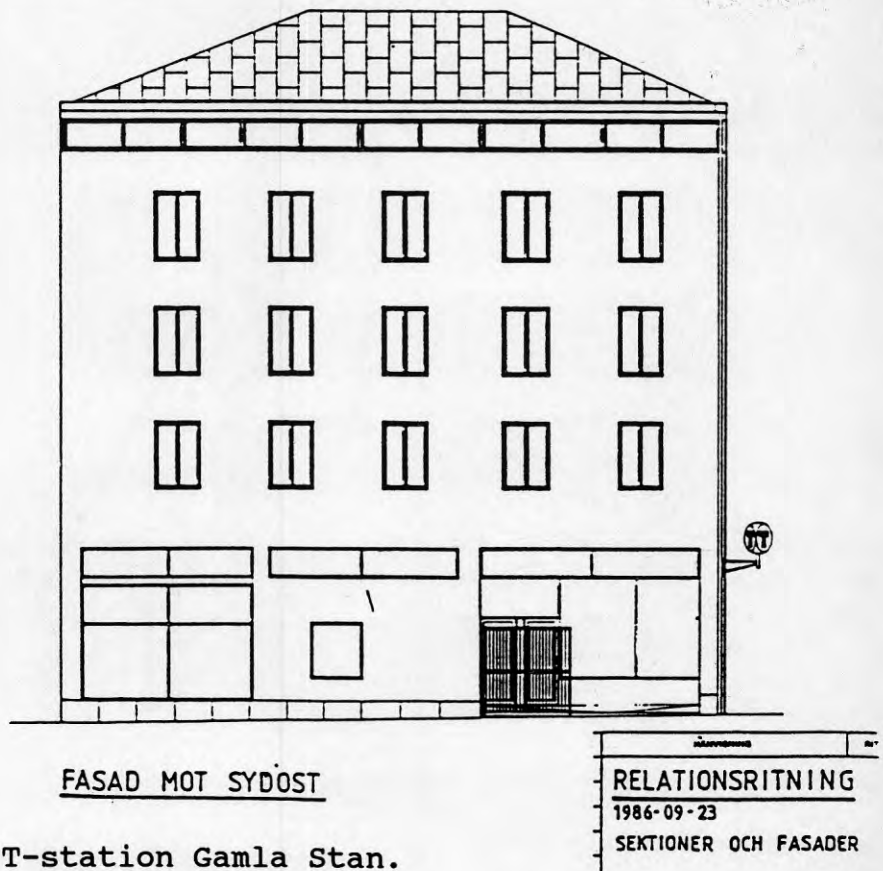


Figur 2.4.7:1. Tunnelbanestationerna i Stockholm

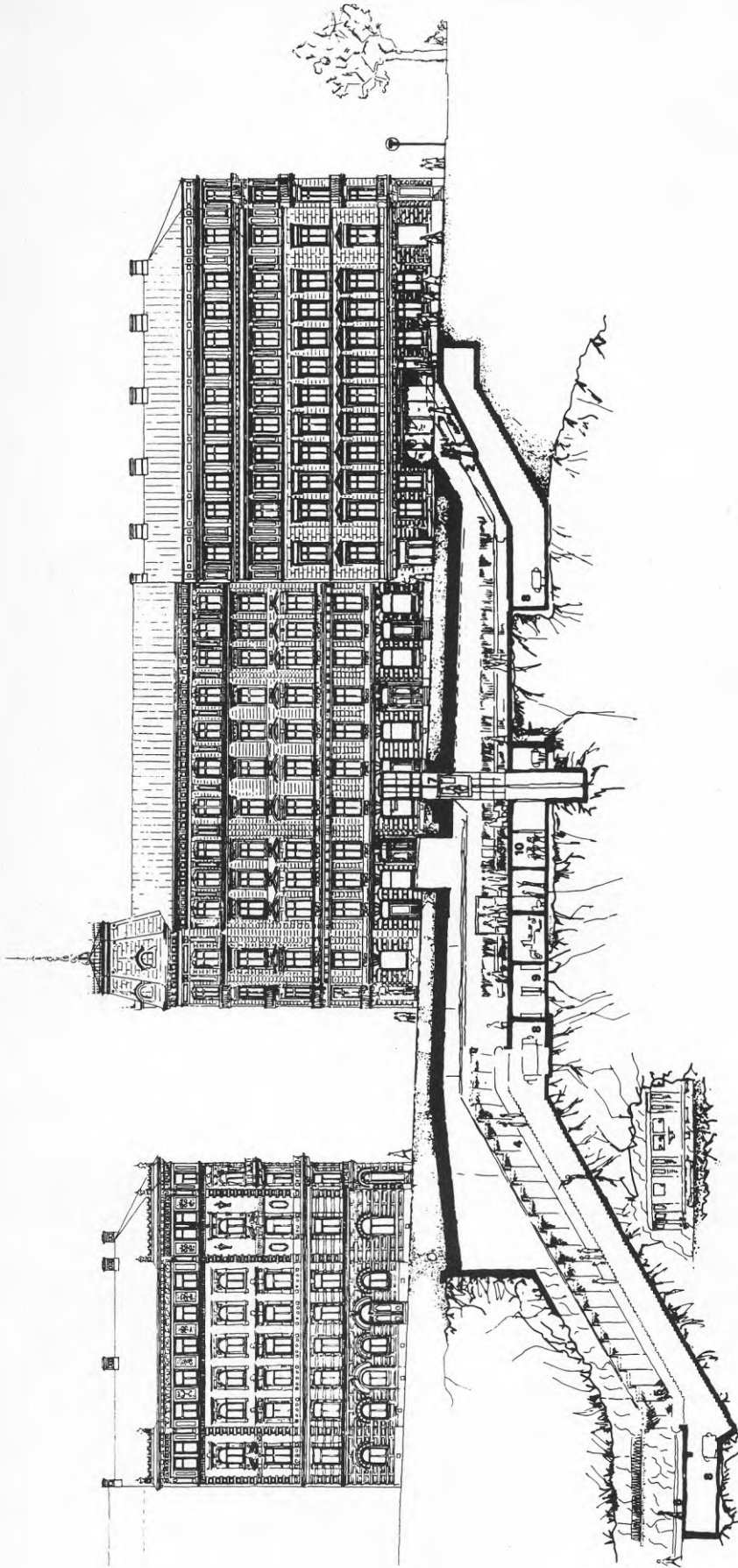


Tunnelbanornas omfattning relaterad till antalet invånare 1980.  
Ur Stockholms tunnelbanor 1975. Teknisk beskrivning

Figur 2.4.7:2.



Figur 2.4.7:3. T-station Gamla Stan.



Figur 2.4.7:4. Station Stadion, uppgång Nybrogatan.



I alla T-stationsbyggnader finns lokaler för personalen och ofta andra hyresgäster, vilka har butiker, kontor etc.

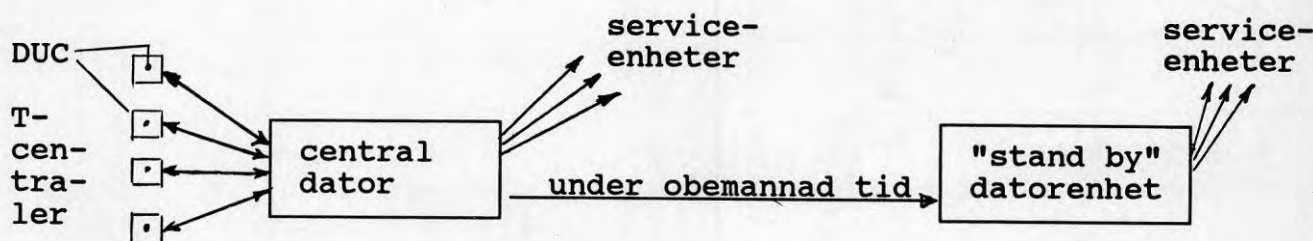
För varje sådan byggnad har SL ett integrerat styr- och övervakningssystem för reglering av klimat och vissa andra funktioner.

(OBS! Perronger och bannätet med dess styr- och övervakning behandlas inte här.)

Exempel på styrda parametrar är:

<u>Klimat</u>	Temperatur	Personalutrymmen och hyresgäster.
	Fukt	
	Ventilation	
<u>Säkerhet</u>	Brand	
	Rök	
	El, Hissar	
	Larm för hög nivå i pumpgröpar etc.	

Systemet är i princip uppbyggt enligt nedanstående figur.



Figur 2.4.7:5.

- centraldator med övervakningsutrustning är placerad på en T-central i södra Stockholm och bemannad under dagen.
- under obemannad tid kopplas informationsflöde över till en "stand by" datorenhet i centrala Stockholm. OBS! Denna har fler uppgifter och är bemannad dygnet runt.
- DUC = Dataundercentral
- Serviceenheterna kan vara specialister i egen organisation eller t ex brandkår, televerk eller speciell jour.
- CPU i centraldatorenheten är en VAX 2 från Digital Equipment Corp.

Styr- och övervakningssystemet är levererat av Tour & Andersson. Följande fyra sidor (96 - 99) visar systemets uppbyggnad och möjligheter.

## SYSTEM 7 FAMILJEN OCH MACRO 7

MACRO 7 är det mest avancerade systemet i SYSTEM 7 familjen av integrerade system för komfortstyrning och energibesparing.

MACRO 7 är ett menyorienterat system där användaren genom val från menyer väljer funktion med ett pekdon, en skärm.

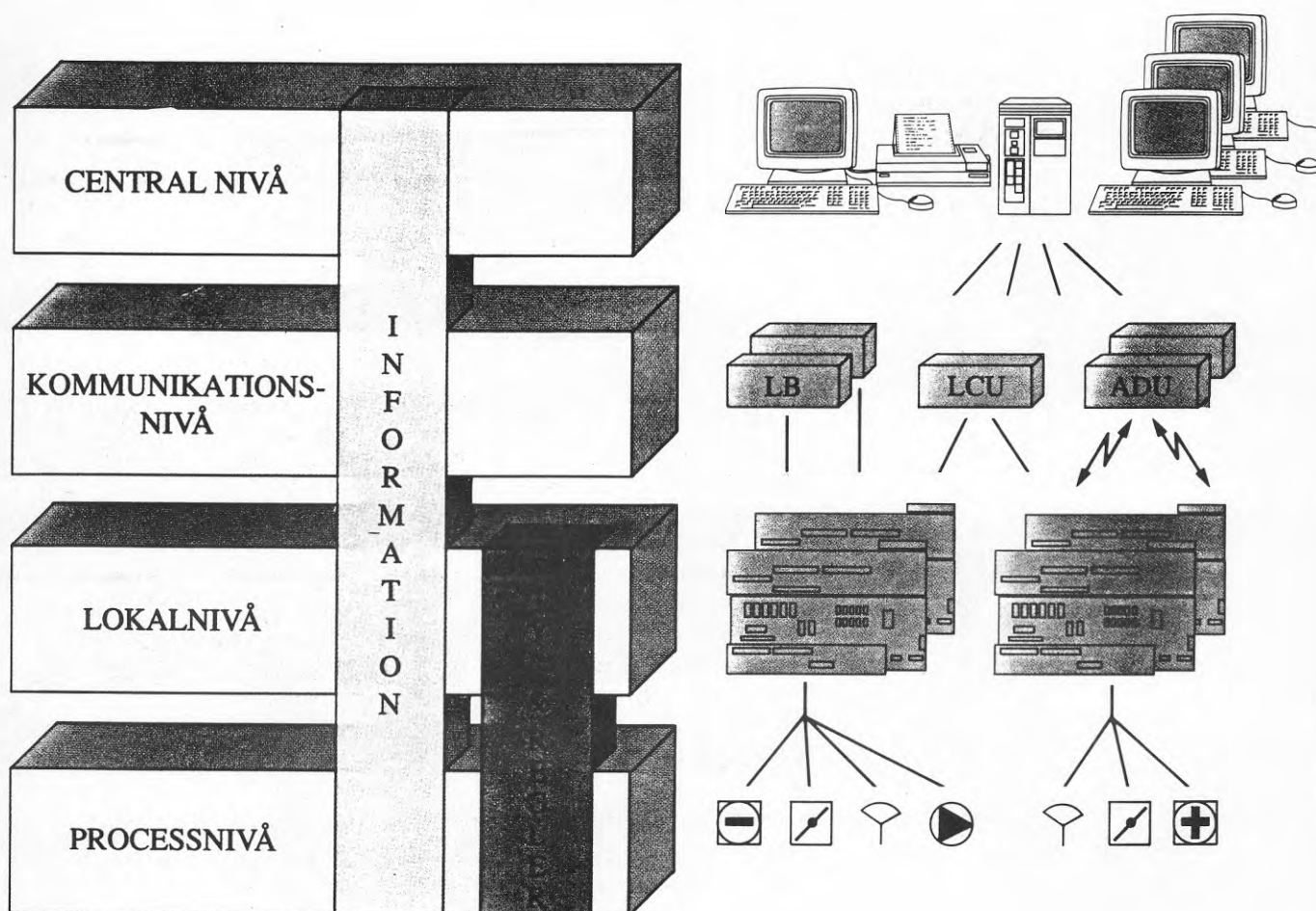
MACRO 7 systemet är uppbyggt med decentraliserad datorkraft och är nivåindelad. Varje nivå har sin specifika funktion.

**Processnivån**, som omfattar aggregatet styrs, regleras och övervakas från den **lokala nivån**, som vidarebefordrar information via **kommunikationsnivån** till den **centrala nivån**.

TA:s mångåriga erfarenhet av DDC (Direct Digital Control) från 70-talets början har medfört

att ett visst sätt att betrakta system har vuxit fram. Generellt kan man säga att TA skiljer mellan den **information** ett system skall ge och de **styr- och reglerfunktioner** som skall utföras. Detta betraktelsesätt leder till ett enkelt handhavande och mycket hög driftsäkerhet.

En stor del av materielen på **processnivå** såsom givare, ställdon och ventiler tillverkas av TA. Även utrustning på **lokálnivå** samt på **kommunikationsnivå** tillverkas av TA. På den **centrala nivån** användes datorer från Digital Equipment Corporation av typ Micro VAX uppbyggda med standardkomponenter.



## KOMMUNIKATIONSNIVÅ

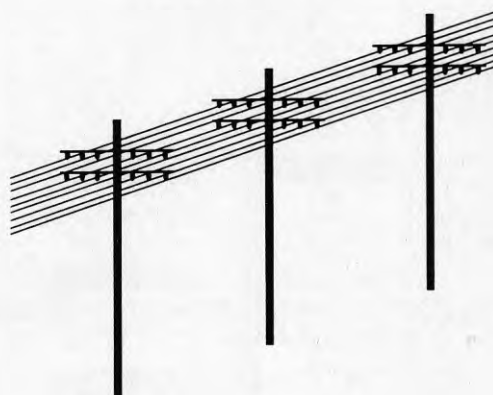
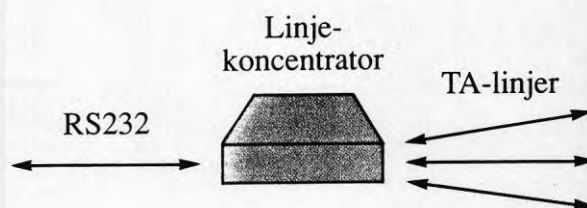
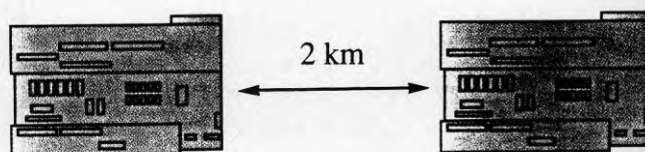
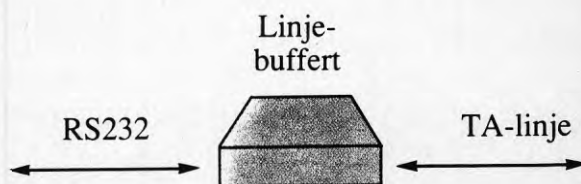
För snabb och effektiv överföring av information mellan den centrala och lokala nivån har TA utvecklat ett kommunikationsprotokoll som är baserat på asynkron överföring och ger största möjliga informationstäthet kombinerat med högsta datasäkerhet. Kommunikationstekniken ger möjlighet att automatiskt upptäcka eventuella linjeavbrott mellan central och lokal nivå och åtgärda dessa programmässigt.

*Linjebufferten* medger dataöverföring över långa avstånd genom att standardsignalen, RS232, från centraldatorm omvandlas till en mycket störtlåg signal, typ RS422, vilken vidareutvecklats av TA. Denna "TA-linje" tillåter upp till 2 kilometers avstånd mellan dataundercentralerna utan extra-utrustning.

*Linjekoncentratoren* är en kommunikationsenhet i MACRO 7:s nätverk som avlastar systemet vid överföring av information från den lokala till den centrala nivån, dels genom att själv sköta larmövervakning och dels genom att svara för anpassning mot telekommunikationsutrustning då fast uppkopplade ledningar används. Linjekoncentratoren koncentrerar och snabbar upp informationsöverföringen mellan den lokala och den centrala nivån med larm back-up vid kommunikationsavbrott. Den möjliggör också en utökning av antalet kommunikationslinjer från den centrala nivån.

*Automatisk uppringare* används för att åstadkomma tillfällig kontakt för överföring av information mellan geografiskt spridda lokala nivåer och centralnivån och använder då det allmänna telefonnätet som förbindelselänk. En fördel med detta är att kostnaden blir minimal, då linjen endast är uppkopplad under själva dataöverföringen.

Den automatiska uppringaren är godkänd av Televerket i Sverige för anslutning till telefonnätet.



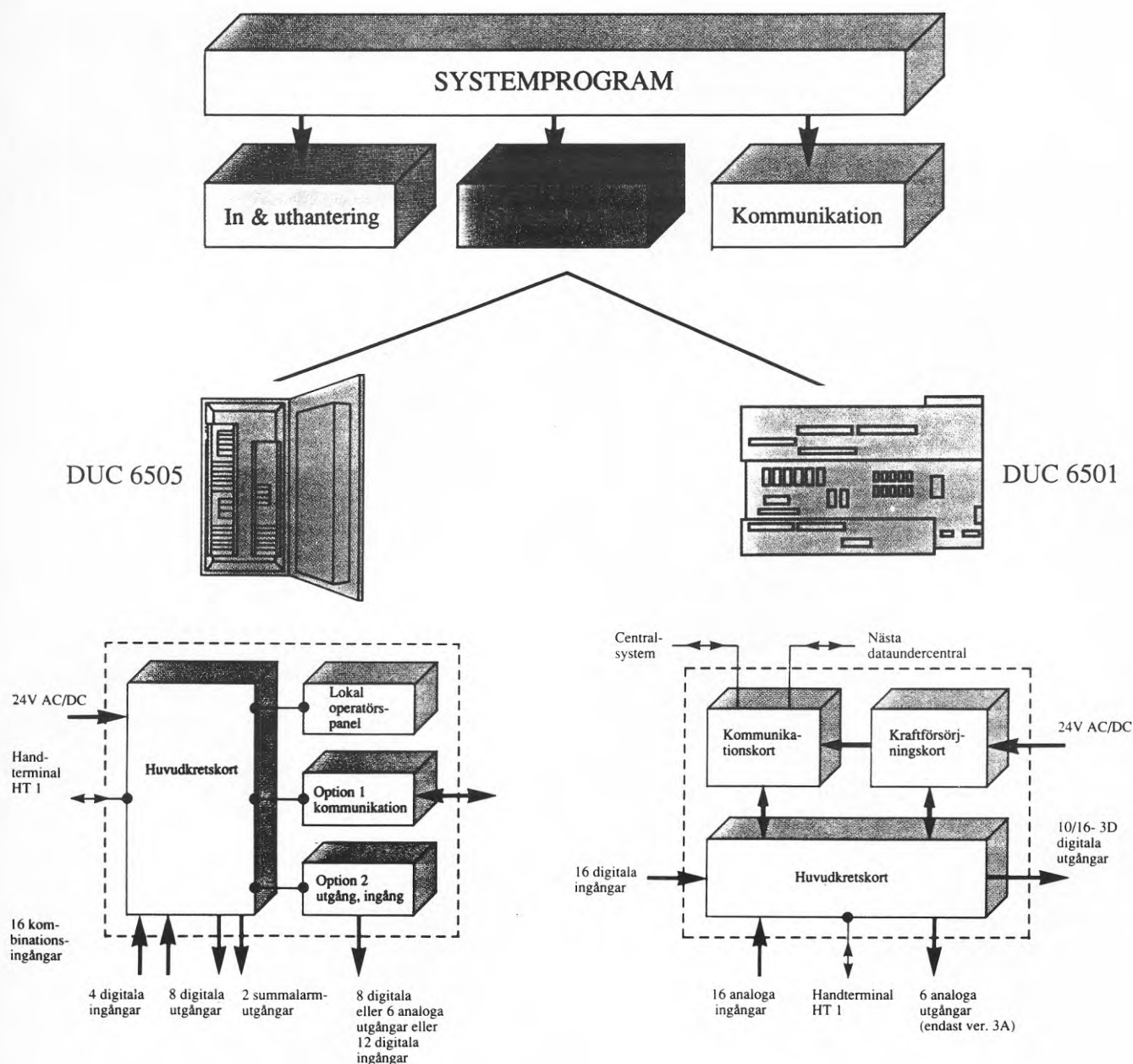
# LOKALNIVÅ

Den lokala nivån bestyckas med någon av de mikroprocessorbaserade dataundercentralerna, DUC, i TA 65XX-serien. Dessa har avancerad elektronik och programvara för klimatstyrning, reglering och övervakning. Beroende på typ av dataundercentral och komplexiteten i aggregatet kan en och samma DUC hantera flera aggregat. Det går även att ansluta modem direkt till en DUC för telekommunikation med den centrala nivån. De anläggningskrav som normalt ställs, löses med standardfunktioner. Andra anläggnings-specifika uppgifter läggs in med det enkla och lättförståeli-

ga styrspråket IPCL. All programmering sker med hjälp av centralsystemet.

Styr- och reglerarbetet samt IN/UT-hanteringen organiserar dataundercentralen via ett eget systemprogram. En DUC kan arbeta helt ensam eller ingå som en del i ett större system.

Typiska användningar för en DUC är styrning, övervakning och reglering av ventilationsaggregat, värmepumpar, kylmaskiner, värmepannor, kyltorn, fjärrvärmeundercentraler etc. För dessa användningsområden finns standardfunktioner.

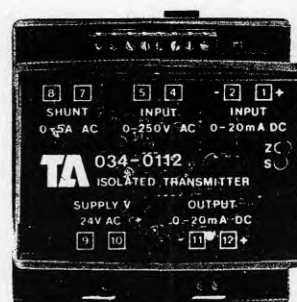


## PROCESSNIVÅ

Noggrann mätning och riktig inställning av styrventiler och spjäll är en förutsättning för noggrann reglering. På processnivån finns en mängd branschanpassade produkter tillverkade av TA såsom givare, ställdon, ventiler och omvandlare.



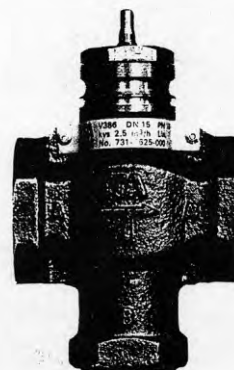
*Givarna* är tvåtrådsanslutna och har en standardiserad utsignal 4-20 mA med en nominell spänningsmatning 24V DC. De tillverkas i ett flertal utföranden för belysnings-, temperatur- och fuktmätning. Givarna är av hög klass med en garanterat stor noggrannhet över hela arbetsområdet. Till dataundercentral 6505 finns också temperaturgivare av termistortyp för direkt anslutning. Givarna finns för anliggnings-, kanal-, rör- och väggmontage.



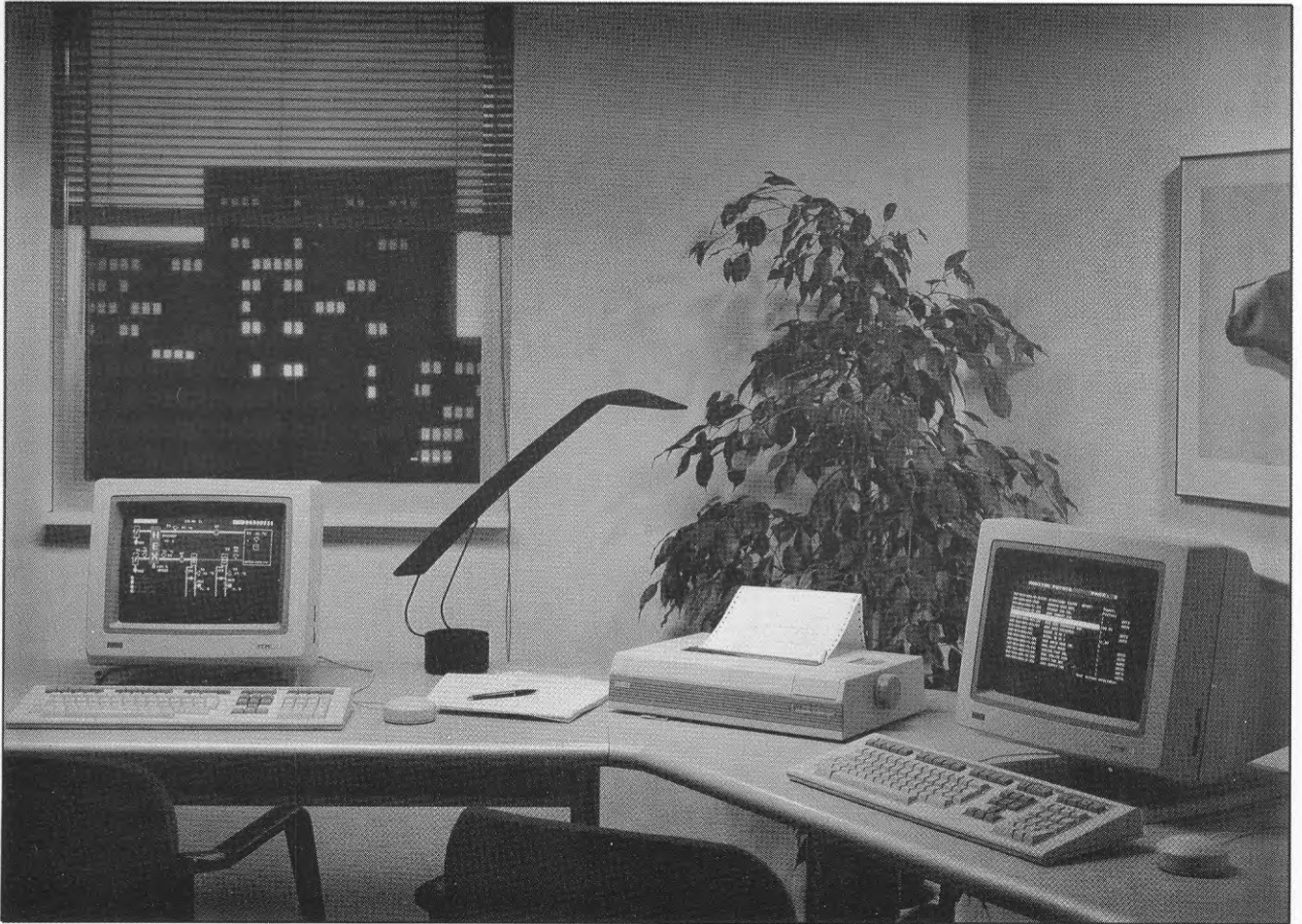
*Omvandlare* med normerad utsignal (4-20mA) finns i tre grundutföranden, spänning/strömomvandling, resistansomvandling (Pt100) och isolerad omvandling. Samtliga är transientskyddade och monteras på standardskena. Dessa omvandlare används för anpassning mot ställdon och styrventiler.



*Ställdonen* är avsedda för styrventiler och spjäll och finns i olika utföranden. De elektriskt styrda ställdonen, för digital eller analog styrsignal, har i regel en driftspänning på 24V DC samt en styrsignal på 24V AC alt. 2-10V DC.



*Styrventiler* tillverkas av en speciell legering kallad AMETAL® från TA, segjärn eller rödgods. De finns i kugel-, kolv- eller trottelfutförande för värme, kyla och ventilation, från små till mycket stora dimensioner beroende på krav.



Figur 2.4.7:6. Exempel på hur ett övervakningsrum kan se ut.

I boken *En värld under jord* (1985) beskrivs Stockholms tunnelbana mycket fascinerande.

En sak är nog alla överens om: det är en hård miljö inte minst för materielen. Enheter/komponenter, speciellt ute i fält, måste vara robusta och stryktåliga.

## 2.5 LITTERATUR OCH REFERENSER

Litteraturen till kapitel 2 utgörs till största delen av *rapporter, beskrivningar och faktablad*. Omfattningen av informationen är stor, och endast en del av den anges. Resultatet som redovisas i kapitel 2 är till övervägande delen verifierat genom besök på arbetsplatser samt samtal med leverantörer och i vissa fall rapportskribenter.

### RAPPORTER

#### *Sveriges Tekniska Attachéer*

- Intelligent byggande i Japan
- Intelligenta byggnader i Japan
- Byggande och boende i Frankrike
- Domotique - intelligenta bostadshus i Frankrike
- Förnyelse i östra Tyskland
- Att bygga ekologiskt; idéer från Tyskland
- Användning av datorer inom sjukvården, USA
- PC-baserad expertsystem och kunskapsprogram, USA

#### *Teldok*

- Office Automation Trends in The United States
- Finansiella tjänster i Europa
- Nätverksbildningar för att stödja mindre företag, EG
- Datorgrafik och kommunikation
- Röst- och talsvarssystem
- Med dörren på glänt
- Multimedia

### BESKRIVNINGAR OCH FAKTABLAD

- SIS standardkalender 1991
- ESPRIT - Projekt 2431
- Inneklimatinstitutets handboksserie
- BFR Hus och Hälsa
- Tidskriften Energi & Miljö
- Services & Systems; om NTT Building System
- Alltrax system
- Domitech system
- Electrolux system 2000
- Procordia system
- Landis & Gyr system
- Honeywell system
- SATTCONTROL system
- Tour & Andersson system

### **3 KOMPONENTER BYGGKLOTSAR**

#### **3.1 INTRODUKTION**

I realiserande av så kallade intelligenta eller "smarta" hus spelar moderna elektroniska komponenter den avgörande rollen. Precisionen hos enstaka kopplingselement (resistorer, kondensatorer etc) samt kapaciteten och funktionssäkerheten hos processorer och minnen är förutsättningen för tillförlitligheten och snabbheten hos olika reglersystem som skall övervaka värme, vatten, brand, inbrottsskydd, telefonsystem etc. Styrdata är uppbyggda av dessa enheter.

Elektronikkomponentmarknaden erbjuder stora familjer av komponenter i olika teknologier och utföranden. Byggsätten för elektronikdelar har förändrats drastiskt, och nya kapselutföranden kommer ofta för att förenkla konstruktioner och säkerställa driften.

Nyaste komponenttillskottet utgör sensorerna ("avkännare"), som medger en förening av elektronik och mekanik för att underlätta styrning av olika funktioner. Mikroelektroniken har funnits i tre årtionden. Nu har även mikromekaniken kommit, som gör en miniatyrisering av styrenheterna möjlig. Eftersom kisel kommit att spela en stor roll, kan de två komponentenheterna integreras till något som ibland benämnes mikronik, fastän det vanligen sägs mikro-teknologi.

#### **3.2 ÖVERSIKT AV MIKROTEKNOLOGIOMRÅDET**

Mikroteknologin kännetecknas av att man arbetar med komponenter i storleken några hundra  $\mu\text{m}$  ned till  $\mu\text{m}$ -området. Man särskiljer mikromekanik, mikroelektronik och mikrooptik.

Vi känner till den stora utveckling som pågått inom mikroelektroniken. Den har fört med sig materialtekniska krav för små dimensioner och med hjälp av förfinade processmetoder uppnått revolutionerande resultat inom halvledartekniken.

Intresset koncentreras nu allt mer på att få en motsvarande förfining av mikromekaniken med hopp om kostnadsreducering för att åstadkomma funktioner av samma storleksordning som mikroelektroniken. Om även en motsvarande höjning av tillförlitligheten kan vinnas är ännu ovisst.



Man syftar alltså till att åstadkomma mikrostrukturer med liknande funktioner som vid makrostrukturerna. Härvid utnyttjas såväl fysikaliska som kemiska, optiska och biologiska sensorer. Ventiler, switchar och motorer är under utveckling inom mikromekaniken. En elektrisk "mikrospole" har utvecklats vid universitetet i Uppsala. Sensorer som bygger på unika fysikaliska fenomen (piezofenomen) är påtänkta.

Eftersom fiberoptiken är relativt okäns'ig för yttre störningar, är den ett bra element i mikroteknologin. Det finns varierande tillämpningar.

Sensorer integrerade med mikroelektroniken betraktas som mycket kraftfulla.

När det gäller kemiska och biologiska mikrosensorer, är utvecklingen i full gång, men resultaten är ännu ej helt utnyttjade.

Det ligger en lång forskningsverksamhet bakom utvecklingen av mikromekaniken, och tillämpningarna väntas öka lavinartat. Även om det är mest inom tekniskt-industriella områden de mest används, finns möjligheter till ökad användning i vardagslivet, såsom bostäder, samlingslokaler etc. I framtiden kommer nya material att användas för sensorer; nu används mest kisel och galliumarsenid. Man arbetar i tre dimensioner, vilket ej är så vanligt i mikroelektroniken.

#### **Vanliga materialtyper**

Hittills har kisel varit dominerande som material inom mikromekaniken, vilket beror på dess mekaniska-/materialtekniska egenskaper. Mikroelektroniken utnyttjar också fortfarande kisel som det dominerande materialet. En integration är därför vanlig.

Nästa material är GaAs, som mikromekaniskt påminner om kisel. Det används inom optoelektroniken och har därför givna tillämpningar.

Kvarts har länge använts som frekvenslikare. Det har piezoelektriska egenskaper, vilket ökar dess lämplighet som sensor väsentligt.

Litiumniobat har redan vunnit användning inom optoelektroniken. Dopning med titan leder till möjlighet att styra de optiska egenskaperna för tillämpning som switch eller vågledare.

Plastmaterial har också börjat begagnas. Redan används s k elektreter i mikrofoner (telefoner). Elektreter är tunna folier av t ex någon nylonsort, som genom inskjutning av elektroner eller joner fått ett skikt med laddningar som skapar ett elektriskt fält, som varierar när folien vibrerar. En elektrisk signal erhålls. Man har också kunnat ge vissa plastmaterial piezoelektriska egenskaper.

Nya halvledartyper förutom GaAs tas i bruk, som InP ur grupp III-V eller CdO, HgSe ur grupp II-VI. Som exempel ur grupp IV-IV kan nämnas SiC, kiselkarbid.

Metaller används till bl a magnetiska sensorer. Märk också s k minnesmetaller. S k flytande metaller ("liquid metals") kan genom "infrysning" från det flytande tillståndet ges mikrostruktur av oänd styrka.

Ett annat kommande material är diamant med ovanliga elektriska och mekaniska egenskaper.

Organiska material används till kemiska, medicinska och biologiska sensorer.

De sista åren har flera nya supraledande materialtyper, s k "keramiska" supraledare med relativt hög omvandlingstemperatur ( $T_c$ ) framkommit. Sedan gammalt har Josephson-effekten ("tunnlingsfenomen") tillämpats som minneselement. Andra former av "switching-funktioner" kan tänkas med denna effekt.

Även en del glassorter har utnyttjats inom t ex mikrooptiken och som mekaniska sensorer.

### **Framställningsmetodik**

Inom halvledartekniken har olika former av litografi tillämpats för att utforma mikromönster. Detta genomförs med pålagda, ljuskänsliga skikt, som mönstras genom belysning. När dimensionerna blir mindre i mönstret, måste ljus av kortare våglängd tillgripas, t ex UV-ljus. Önskas ytterligare dimensionreduktion har man t ex att använda röntgenstrålning av bestämd våglängd eller elektronbestralning (elektroner av bestämd energi har enligt de Broglie en bestämd våglängd). Det senare har redan använts även på industriell nivå, medan röntgenstrålning provats av Bell-laboratorierna men ännu ej utvecklats till allmän användning. I Sovjetunionen pågår utveckling av ett mikroskop för röntgenstrålning!

Efter mönstringen görs materialutformningen av mikrostrukturer med etsning. Härvid spelar s k anisotropisk etsning en avgörande roll för utföranden i tre dimensioner. Den innebär att etsning med viss vätska fortgår olika snabbt i olika riktningar av gitterstrukturen.

Lasertekniken har mest kommit till användning för att uppvärma särskilda punkter där en reaktion pågår.

Ett särskilt kapitel är sammanfogningen av olika material. Kisel mot kisel åstadkommes med "silicon fusing bonding (SFB)", vilket innebär att kiselstyckena efter kokning i salpetersyra sätts ihop och uppvärms till ca 1000°C. Glas mot kisel fås genom att Na<sup>+</sup>-joner från glaset förs in i kiset med pålagd högspänning (anodisk bondning). Proceduren sker i inaktiv kvävgasatmosfär. Detta förfarande kan också tillämpas för glas mot andra halvledarmaterial.

Det finns ännu mycket att utveckla inom den mikromekaniska processtekniken. Däri innefattas också framtagning av prisbilliga processer för massproduktion av mikrosensorer. Utvecklingen är på gång. Man försöker också nå ned i submikroområdet (<μm).

### 3.3

#### ALLMÄNT OM MIKROMEKANIK

Mikrosensorer fungerar i allmänhet som signalomvandlare (effektomvandlare sägs ibland). Antingen avkänns en icke elektrisk fysikalisk effekt, som sensoren omvandlar till en elektrisk signal, eller omvandlas en inkommande elektrisk effekt (signal) i en annan fysikalisk effektfunktion för styrändamål. I förra fallet talas i mer inskränkt bemärkelse om "sensor", i senare fallet om "aktuator".

Andra signalbehandlande komponenter kallas "konstruktionselement".

De fysikaliska effekter som åsyftas är piezoeffekt, halleffekt, ljuskänslighet, ljusemissionsförmåga och peltiereffekt.

Piezoeffekten innebär en elektrisk-mekanisk växelverkan i vissa gitterstrukturer (kvarts!). Den har länge utnyttjats för frekvensstyrning.

Peltiereffekten är förbunden med fogar mellan olika metaller och anger sambandet värme-elektriskt fenomen.

Två fogar ger upphov till en ström, om temperaturen är olika i fogarna! Omvänt erhålls olika temperaturer, om en ström leds genom två fogar. Det förra används till temperaturmätning, det senare till kylning.

Halleffekten, som beskriver växelverkan mellan laddningsbärare och pålagt magnetfält i t ex halvledare, ger möjlighet att studera små förändringar i magnetfält.

#### **Konstruktionselement**

Som konstruktionselement används membran, kaviteter, konsoler, fjädrar o dyl. Man kan med hjälp av dessa framställa t ex mikrofilter visande exakta filteregenskaper. De används också för att åstadkomma olika hjälputrustningar, t ex vid separationsförfaranden (urananrikning). Märk den förutnämnda miniatyrspolen. Minityrisering av verktyg åstadkoms också.

Allmänt kan tilläggas att mikroelektroniken kommer att kunna använda supraledare för höga strömtransporter i mycket smala och tunna ledare. Detta kräver emellertid låga temperaturer. I motsats räknar man med att få fram chips tåliga för mycket höga temperaturer, möjliggörande drift i svåra miljöer vid höga effekter.

### **3.4**

#### **SENSORER**

Eftersom mikroelektronikens utveckling under de sista decennierna är väl känd, skall först något framföras om mikromekniken, som ännu ej nått motsvarande resultat. Den pågående forskningen i USA, varifrån omfattande rapportering finns, skall refereras. Mikromekaniska sensorer är i dag tillgängliga i viss utsträckning, men priserna är inte tillräckligt låga för att möjliggöra omfattande användning. Utvecklingen går därför i stor utsträckning mot att framställa prisbilliga produkter. Det ställer krav på tillverkningstekniken.

Forskning pågår vid olika centra för mikromekanik respektive sensorer.

De första stegen togs vid Bell-laboratorierna, som utvecklade den s k beam-lead-tekniken. Detta gav också upphov till den förut nämnda anisotropa ets-tekniken, nödvändig för tredimensionell etsning.

Följande tabell ger en teknisk överblick över mikromekanikens utveckling, vilket kan underlätta förståelse av de olika tillämpningarna som behandlas i fortsättningen.

- |      |   |
|------|---|
| 1959 | Upptäcks piezoelektriska egenskaper hos kisel (Smith)           |
| 1958 | Diskreta töjningsgivare i kisel blir kommersiellt tillgängliga. |

- 1961 Integrering av töjningsgivare på kiselmembran.
- 1966 Mekaniskt frästa håligheter.
- 1970 Första dielektiskt isolerade sensoren för hög temperatur.
- 1970 Isotrop etsningsteknik.
- 1971 Anodisk bondning.
- 1974 Högvolymtillverkning av hybridensorer.
- 1976 Anisotrop etsteknik (riktningsberoende).
- 1976 Första sensoren inom bilindustrin.
- 1977 Första kapacitiva trycksensoren i kisel.
- 1978 Buckliga ("Bossed") kiselmembran.
- 1979 Sensor integrerad med passiv temperaturkompensering.
- 1979 Jonimplantation av töjningsgivare.
- 1982 Första medicinska engångssensoren.
- 1982 Sensor integrerad med aktiv signalbehandling.
- 1985 Sensor med membran av polykisel (additiv process).

För tillverkningsprocessen kan man urskilja följande dels subtraktiva (ex. "etsning"), dels additiva (deponering) metoder:

**Subtraktiva:**

Kemisk etsning, isotrop eller anisotrop  
 Plasma-etsning (gaser)  
 Elektromekanisk etsning  
 Fotokemisk etsning  
 Mekanisk slipning, polering och sågning  
 Laser och ultraljudborrning  
 Fokuserad jonstråle (FIB) bearbetning

**Additiva:**

Limning  
 PVD (Physical Vapor Deposition)  
 CVD (Chemical Vapor Deposition)  
 Elektrokemisk plätering

Mikromekanikens väsentliga tillämpning är framtagning av sensorer. Som delvis förut anförts är dessa "omvandlare" av olika former av signaler. Mekanisk, optisk, termisk, kemisk eller annan energiform omvandlas till signal för elektrisk energi. Fysikaliska egenskaper som används är piezoresistivitet, piezoelektricitet, pyroelektricitet, termisk transport, jontransport, halleffekt eller elektrostatisk och elektrodynamisk energi.

Vanligaste tillämpningen är tryckomvandlare (avkänning av tryck); andra är

- Acceleration
- Kraft
- Läge
- Ljud
- Temperatur
- Flöde
- Massflöde
- Magnetisk fältstyrka
- Ljus
- Gaskoncentration
- Luftfuktighet
- Kemisk jonkoncentration.

Sensorer för flöde och temperatur med tillämpning på ventilationssystem. Massflödessensorer används inom processindustrin. Inom bil- och flygindustrin har man accelerationssensorer.

Kemiska sensorer utgör en särskild grupp, vars funktioner är föremål för teoretiskt klarläggande. En känd tillämpning är fälttransistor (FET) med beläggning på gaten (styret) av tunna skikt som kan påverkas av omgivningen så att laddningsförändring uppstår, mätning t ex av pH-värdet i en vätska.

Ett speciellt problem med sensorer är kapslingen.

#### **Några allmänna aspekter på sensorutveckling**

I den pågående forskningen studerar man grundläggande egenskaper hos mikrostrukturer för att finna nya sätt att tillverka sensorer. Man vill också veta möjligheten att lyckas med olika förfaranden. Hur skall man t ex kunna bedöma utfallet av olika etsningsmetoder? En vanlig processdel är tillverkningen av tunna filmer i olika material. För att hålla kostnaden låg måste utbytet ligga högt. Man måste då klarlägga vilka faktorer som påverkar utbytet och göra en optimering. Inbyggda fel som ger upphov till stress kan förändra funktionen i sensoren. Man vill kunna förutsäga egenskaperna hos den blivande produkten.

Ett exempel är tunna polymerfilmer. En kiselskiva beläggs med ett polymerskikt. Genom etsning i kisel under filmen kan extremt tunna polymerskikt erhållas, användbara som membran. Beroende på polymerens sammansättning fås olika egenskaper. En filmtyp kan användas som fuktighetssensor.

Ett exempel på anisotrop etsning utgör etsning mot ett visst kristallplan, tills ett tunt kiselmembran återstår. Urholkningen fylls upp av en optiskt plan glasplatta. En ljusstråle genom glasplattan, som reflekterar mot membranet, kan interferera med en reflekterad stråle från glasplattan. När membranet rör sig på ett yttre tryck, kan detta avläsas genom interferensen. En synnerligen känslig trycksensor har uppkommit.

### **Begränsningar - Fördelar**

#### *Kostnad*

Under förutsättning att de kan tillverkas i stora serier för marknader med stor volym blir kostnaden låg.

#### *Storlek/vikt*

Små dimensioner och minimal vikt ger många fördelar som t ex kort reaktionstid och liten inverkan på mätresultatet. För att öka tillförlitligheten kan små sensorer av arraytyp tillverkas, där utsignalen bestäms genom majoritetsbeslut.

#### *Överlevnad*

Sensorer baserade på det nära nog ideala materialet kristallint kisel har mycket goda mekaniska egenskaper, som ger mycket bra överlevnadsgrad. Vid extrema belastningar införs överbelastningsskydd. Kemiska sensorer påverkas till viss del av mätobjektet och har därför sämre överlevnadsgrad.

#### *Temperaturområde*

Temperaturområdet är relativt snävt (-50 till 150°C) för rent mikromekaniska sensorer. Kemiska sensorer innehåller i vissa fall biologiska material och har därför ett mycket snävt temperaturområde.

#### *Dynamik*

För en del sensorer nämns en dynamik på ca  $10^7$ . Genom att tillverka en sensor med flera delement med olika känslighet kan man få ett sensorsystem med mycket hög dynamik. Detta förutsätter emellertid att de olika delementen har överbelastningsskydd.

*Reproducerbarhet*

Hög.

*Tillförlitlighet*

I grunden hög.

*Tillverkningsproblem*

Ett av de stora problemen med mikrosensorer är kapslingen. I många fall krävs direkt kontakt mellan känsliga sensorstrukturer och mätobjektet. Även integrering av elektronik på samma chip som sensorelementet är förknippat med problem. Man har inte vad man kallar processkompatibilitet mellan tillverkning av mekaniska och elektriska element. Kemiska sensorer med olika typer av skikt (mekaniska, kemiska, biologiska) medför speciella problem.

### 3.5 INTELLIGENTA SENSORER

Eftersom den övergripande utredningen gäller, som i inledningen nämnts, det nya begreppet "smarta" hus, skall också anföras vad man börjar kalla "smarta sensorer". Dessa har i själva verket redan berörts till en del, då de utgör en sensor med inbyggd elektronik. Integrerade sensorer är en annan benämning. Man talar om olika "intelligensnivåer" hos dessa, vilket hänger samman med den integrerade elektronikens egenskaper. Man kan ha olika nivåer inom samma sensor med olika funktioner.

#### **Karaktärisering av smarta sensorer:**

*Konvertering:* Med detta förstås den funktion som normalt utgör mikrosensorernas uppgift, nämligen omvandling av fysikaliska och kemiska parametrar till elektriska signaler.

*Skydd mot miljöpåverkan:* Yttre fält och temperaturer kan elimineras beträffande inverkan av sensoren själv. Inbyggt skydd mot ström- och spänningstransienter måste finnas.

*Kommunikation:* Vissa funktioner i sensoren underlättar kommunikation i ett nätverk. Något som är mycket viktigt när det gäller signalomvandling är möjligheten till signalbehandling genom integrerad elektronik. Man kan också naturligtvis förstärka, filtrera eller A/D omvandla inom ramen för signalbehandlingen, som i regel innebär transformation enligt någon procedur, t ex snabb fouriertransformation, eller digitalisering enligt z-funktionen. Den kan också adresseras, motta eller sända meddelanden på kommando, alternativt enligt föreskriven procedur.



*Självtest:* Kontroll genomförs av sensoren på egna funktioner med eventuella felmeddelanden som följd. Den kan också kalibreras enligt någon inbyggd eller yttre normal. Inverkan från eventuella avvikelser elimineras.

*Logik/Intelligens:* Mätdata från en eller flera givare kan matas till sensoren, som utvärderar mottagna mätdata och bestämmer vilka som skall vidareföras. Den har lokala minnesregister för lagring av information. Bearbetad information från givare kan sändas vidare i form av slutresultat. Härvid finns i regel en mikroprocessor i sensoren.

Sensorerna arbetar i regel med funktionerna från de tre lägsta nivåerna. De övriga är relativt sällsynta.

Olika integrationsgrader sensor/elektronik kan erhålla:

Olika kapslar i samma nät

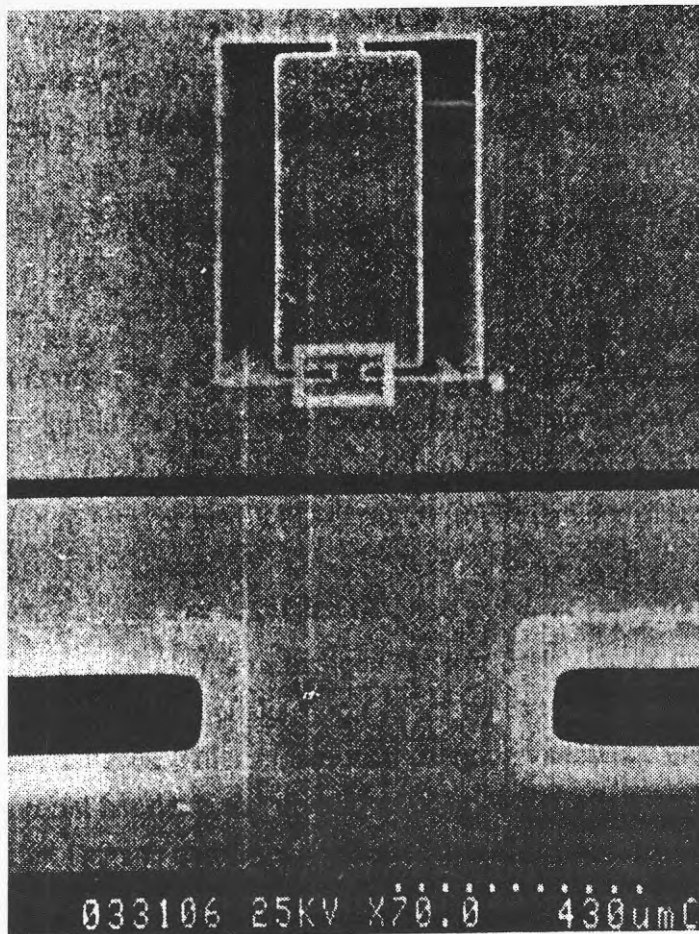
Olika chips i samma kapsel

Sensor och elektronik sammanförda i samma kiselkristall.

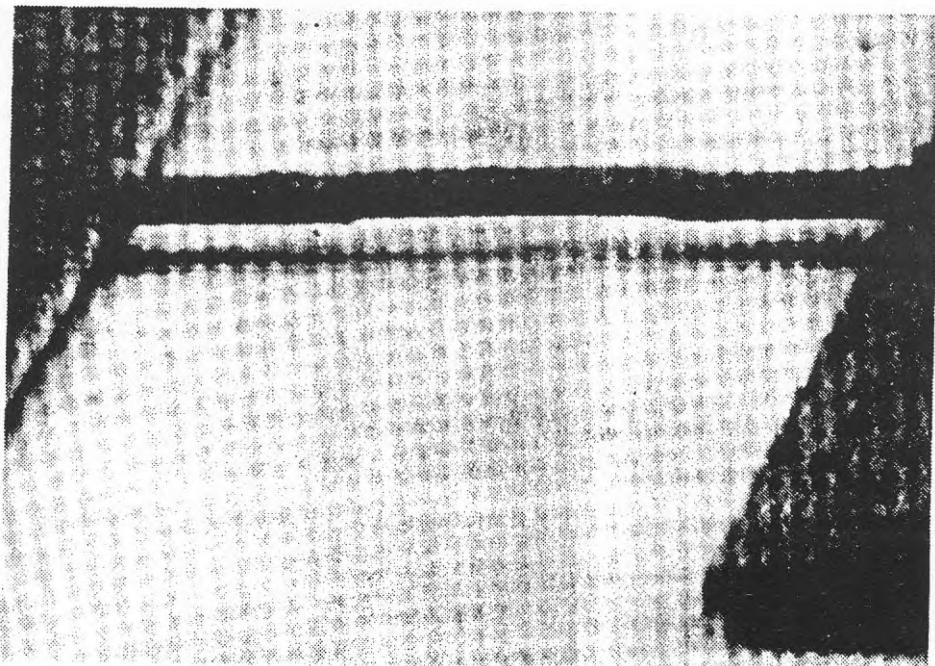
Ännu är de två första alternativen vanligast. Besvärliga tillverkningsfenomen möter i tredje alternativet. Mikroelektroniken kan skadas av de mekaniska metoder som används för mikromekaniken.

Mätning av komplexa parametrar som lukt, smak, luftkvalitet och korrosion kräver sensorer med egenskap att behandla och utvärdera mätvärden från olika typer av givare.

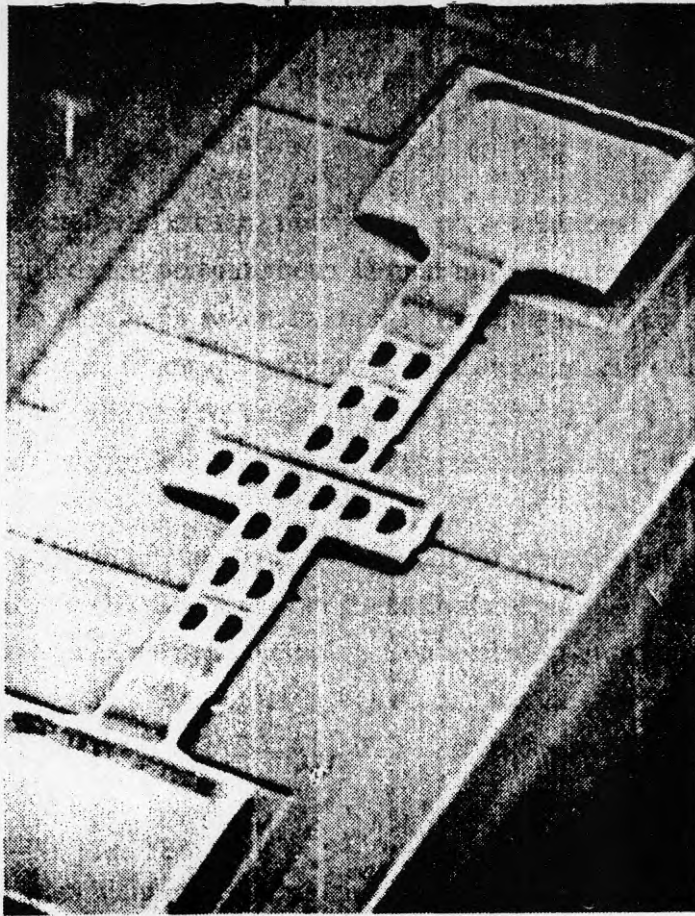
I det följande visas bilder på utföranden enligt den fina teknik som beskrivits ovan.



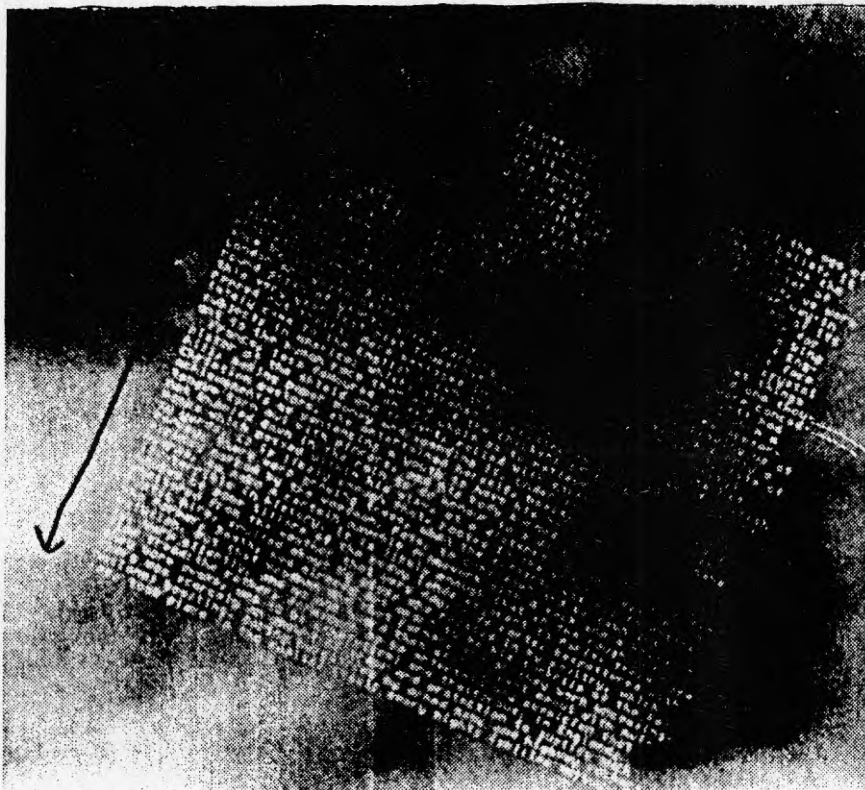
SEM-fotografi av en torsionsspegel konstruerad i kisel av professor Stephen Senturia (MIT, Cambridge).



Mikrobrygga tillverkad i polykisel. Bryggans tjocklek är  $1,35\ \mu\text{m}$  och den är belägen  $2\ \mu\text{m}$  ovanför substratet (University of California, Berkeley).



Resonant mikrobrygga konstruerad i polykisel. Genom att belägga kiset med ett 150 nm tjockt polymerskikt kan strukturerna användas för detektion av fuktighet (University of California, Berkeley).



Professor Richard P. Feynman, California Institute of Technology, utfäste 1960 en belöning till den förste som kunde förminska en boksida 25 000 gånger. Under 1986 lyckades forskare vid Stanford University lösa uppgiften med hjälp av datorkontrollerad mönstergenerering baserad på elektronstrålelitografi (Stanford University, Stanford).

### 3.6 DE ENSKILDA SENSORERNA

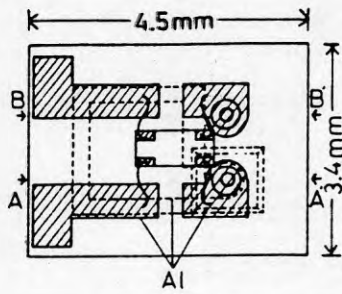
#### Trycksensorer

Eftersom trycksensoren först kom på marknaden och är den vanligast förekommande sensoren, skall en s k kapacitiv sensor för absoluta tryck i hybridutförande beskrivas. Den är presenterad i "Electronics and Communications in Japan", Part 2, Vol. 74, 1991, No. 4, s 67-75. Författare är Masayosi Esashi, Shuichi Shoji, Toshitada Wada och Tomio Nagata. Det är en färsk publikation (förut publicerad på japanska 1990).

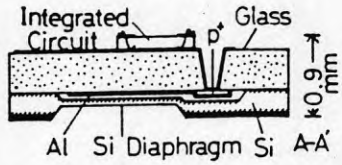
Sensorchipet har dimensionen  $4,5 \times 3,4 \times 0,9 \text{ mm}^3$ , diafragmats yta  $1,7 \times 1,7 \text{ mm}^2$ , elektrodarea  $1,5 \times 1,5 \text{ mm}^2$ , diafragmatjocklek  $65 \mu\text{m}$  och gapet mellan elektroderna  $1,5 \mu\text{m}$ . Den är utförd i hybridform med en referenstryckkammare för absoluta tryckmätningar.

De huvudsakliga egenskaperna är följande:

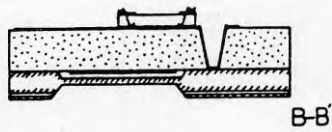
- 1) Eftersom chipet för trycksensoren och IC-chipet för kapacitansdetektering tillverkas separat, kan båda lätt optimeras, och tillverkningen går lätt.
- 2) Eftersom det inre av referenstryckkammaren är hermetiskt tillslutet, minimeras fuktens inflytande.
- 3) Eftersom ett tunt lock i  $p^+$ -kisel blivit tillslutet genom anodisk bondning över hålet i glasdelen på sidan till referenstryckkammaren, kan anslutningen tas bort från elektroden på glas-sidan genom en minimal parasitkapacitans mot kislet.
- 4) Temperaturkarakteristiken hos trycksensoren kan minimeras genom att ändra matningsspänningen hos den integrerade kretsen för kapacitansdetektering. Utgångskänsligheten hos hybridtrycksensoren är  $-9,22 \text{ kHz/kgf/cm}^2$ , ickelinjäriteten  $-5,3$  procent F.S., termiska noll-skiftet  $-3,1$  procent F.S. (5 till  $45^\circ\text{C}$ ) och det termiska känslighets-skiftet  $3,8$  procent F.S. (5 till  $45^\circ\text{C}$ ). För en utförligare beskrivning av hybridsensorens uppbyggnad och funktion se artikeln. Här följer bilder över sensoren och dess kopplingar.



(a) Top view

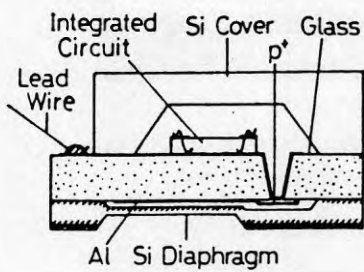


(b) Cross-sectional view on A-A'

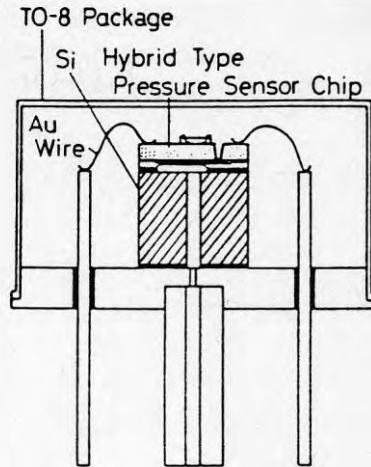


(c) Cross-sectional view on B-B'

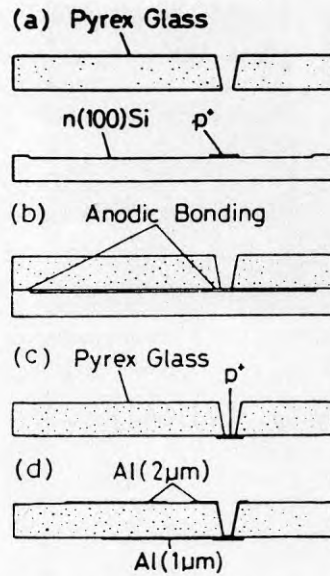
Structure of a hybrid pressure sensor chip.



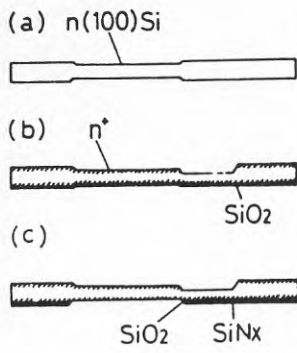
Cross-sectional view of a pressure sensor sealed with a silicon cover.



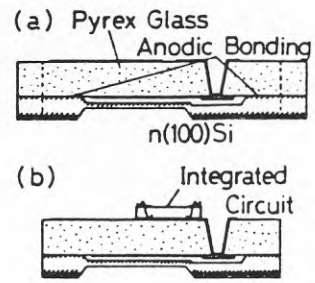
Cross-sectional view of a pressure sensor sealed in a TO-8 package.



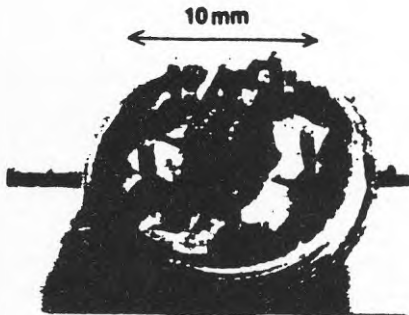
Process steps of a glass substrate.



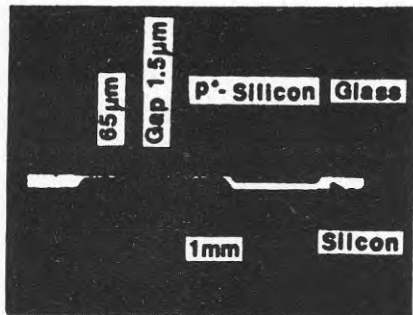
Process steps of a silicon substrate.



Assembly process.

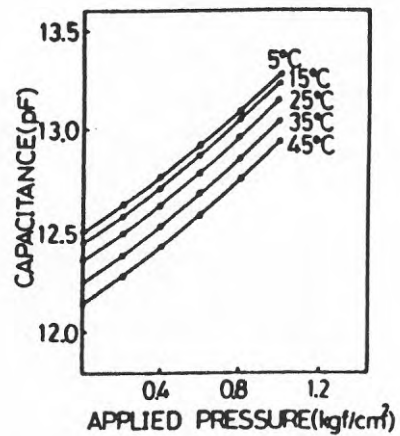


(a) Sensor chip bonded on a TO-8 package

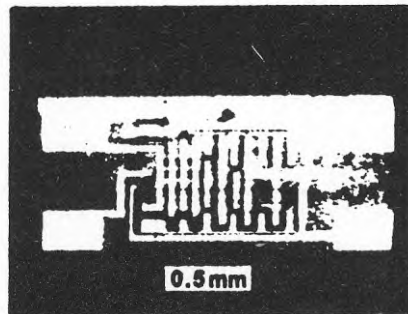


(b) Cross-sectional view of a sensor chip

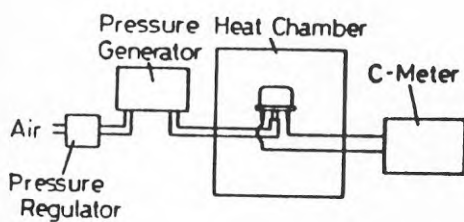
Photograph of a hybrid pressure sensor.



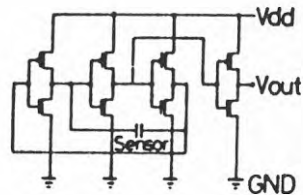
Capacitance change as a function of applied pressure for temperatures as parameter.



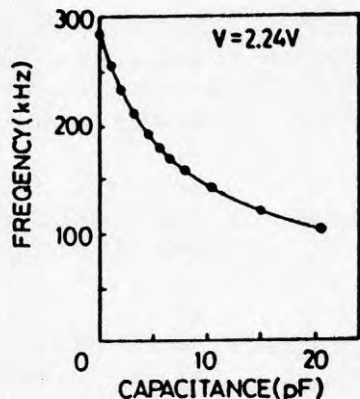
Photomicrograph of a c-f converter integrated circuit.



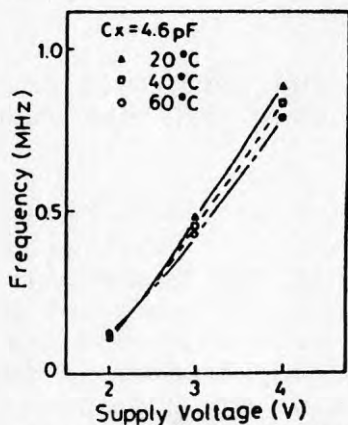
Measurement system for a pressure-sensing part.



Capacitance-frequency converter circuit.

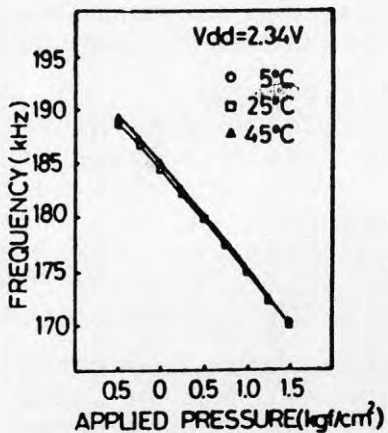


(a) Frequency change as a function of capacitance

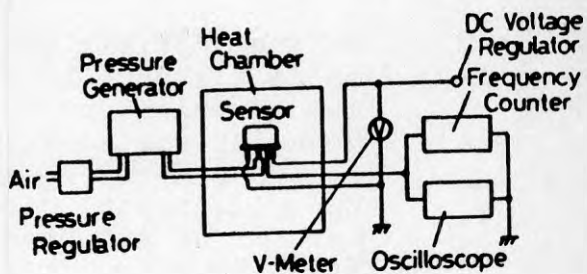


(b) Frequency change versus supply voltage for temperatures as parameter in a *c-f* converter IC

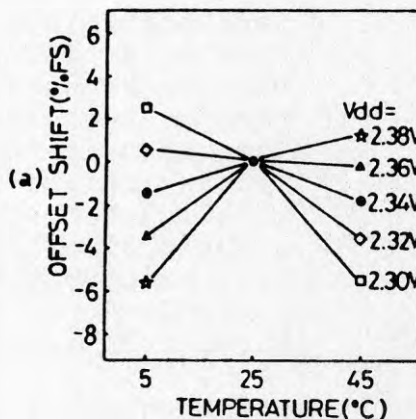
Characteristics of a *c-f* converter IC circuit.



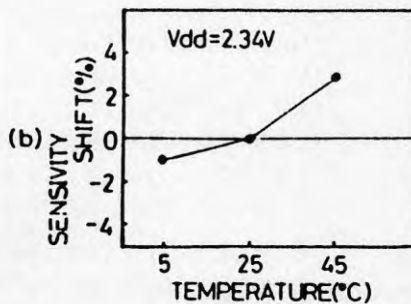
Frequency change versus applied pressure for temperatures as parameter in hybrid pressure sensor.



Measurement system for a hybrid pressure sensor.



(a) Temperature characteristics of a hybrid pressure sensor for supply voltages as parameter



(b) Temperature characteristics for sensivity

Temperature characteristics of a hybrid pressure sensor.

### Fiberoptiska sensorer

De fiberoptiska och optiska sensorerna kommer att få en allt större betydelse, dels p g a deras okänslighet för elektromagnetiska störningar, dels för sin höga informationskapacitet.

En nyligen publicerad optisk fibersensor för fuktighet får ge ett praktiskt exempel för en beskrivning av nuläget inom området för optiska sensorer.

I Journal of the Electrochemical Society, Vol 138, No 2, 1991, finns en artikel betitlad "Optical Fiber Humidity Sensor Using Nafion<sup>R</sup>-Tri-Phenylcarbinol Composite" av Yoshihiko Sadaoka, Masanobu Matsuguchi och Yoshiro Sakai.

Principen är ny. Andra utföranden med optiska fibrer för bestämning av relativa fuktigheten (RH) har beskrivits tidigare.

Sammanfattningsvis säger författarna att Nafionfilm (Nafion är ett registrerat handelsmärke från E.I. du Pont de Nemours and Company) används för framställning av sensoren. Principen bygger på att den optiska ljusintensiteten omkring 450 nm i reflexionsmod ökar med den relativa fuktigheten (RH). Upplösningen, dvs känsligheten för ändringar i relativa fuktigheten avtar emellertid i området över 30% RH. I torr atmosfär existerar färgämnet ("dye") i form av trifenylkarboniumjon, men vid ökande fuktighet växlar strukturen från karboniumjon till karbinol.

Författarna beskriver hur trifenylkarbinol som utgjorde färgämnet löstes i destillerad bensen. Man använde en dispersion av Nafion i vatten, som anbragtes på den brutna ytan av polymetyl-metakrylat (PMMA) genom doppning och bildade den tunna filmen. Efter torkning uppfångades färgämnet på filmen genom neddoppning i en bensenlösning ( $100 \text{ mg/cm}^3$ ), varpå en ny torkningsperiod följde. Fuktigheten i mätkammaren kontrollerades genom att blanda fuktig luft (luft som bubblat genom vatten) med syntetisk luft. Det mesta av gasledningssystemet tillverkades i teflon. Sensoren på PMMA-fibern fästes vid mätkammaren, också i teflon. En Y-kvartsfiber fästes precis framför PMMA-fibern med sensoren. Ljus från en  $D_2/I_2$ -lampa fick stråla in i fibern inriktat mot sensoren. Det reflekterade och modulerade ljuset uppsamlades av samma optiska fiber. Det uppsamlade ljuset analyserades i en spektral mångkanalsfotodetektor (MPCD-1000, Otsuka Electronics) i området 400-800 nm. Det optiska mät-systemet är schematiskt framställt i fig 3.6:1.



Vattenupptagningsisotermen togs upp genom tillämpning av en kvartsoscillator som mikrovåg för kompositfilmen som bildats på den med guldelektroder försedda kvartsoscillatoren (se fig 3.6:5) Mättemperaturen var hela tiden 30°C.

I fig 3.6:2 visas hur man tänker sig att reaktionen tillgår vid upptagning av färgämnet. I föreliggande fall användes Nafionfilmen som "värd" för att kontrollera surhetsgraden hos filmen, och färgämnet kunde som "gäst" lätt uppfångas på filmen. Trifenylkarbinol är färglöst och transparent, medan färgämnet på Nafion har en svagt gul nyans i torr luft. Det existerar här i form av karboniumjon i den torra luften.

Spektrum i reflexionsmod av kompositen Nafionfärgämne undersöktes som funktion av relativa fuktigheten. Reflexionsgraden i området 400-480 nm stiger med RH. Se fig 3.6:3 för fallet 430 nm. Där är reflexionsgraden i torr luft använd som referens. Upplösningen i mätningen avtar med ökad koncentration, och i fuktighetsgrad över 30% är signalens intensitet oberoende av ändringar i fuktighetsgraden, medan mängden av upptaget vatten ökar monotont.

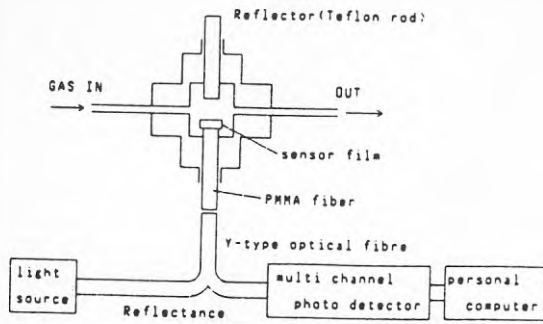
I fig 3.6:4 visas den stegvisa ökningen inverkan på reflexionsgraden vid 430 nm. Fortfarighetstillstånd uppnås efter ca 30 sek, och återställningen tar 1 min eller mindre. Nafion är en hydrofil polymer och kan uppta ansevärliga mängder vatten.

I fig 3.6:5 visas sambandet mellan relativ fuktighet (RH) och upptagen mängd vatten. Vatteninnehållet stiger kvasilinjärt med fuktigheten för filmen både med och utan trifenylkarbinol. Det verkar som om färgämnet endast finns på ytan av Nafionsubstansen. Medan vatteninnehållet ökar linjärt med fuktigheten i området under 70%, avtar upplösningen vid ökad fuktighet, och en "god" linjaritet återfinns i området under 30% RH.

Denna typ av sensor är överlägsen vid detektering av låga RH-värden. För de flesta sensorer av typen "kapacitiva" eller "resistiva" är det svårt att mäta i detta lägre område.

Innan ytterligare exempel på sensorer tas upp, skall något anföras om nuläget och utvecklingstrender inom optisk sensorteknologi i samverkan med elektronik nämnas. Man kallar numera detta OPTRONIK.

Utvecklingen inom mikroelektroniken har naturligtvis möjliggjort nya tillämpningar av optiska sensorer liksom en förbättrad signalbehandlingsteknik i optroniken. Dataöverföring med ökad snabbhet är ett resultat.



Schematic diagram of the instrumentation system with an optical fiber humidity sensor.

Figur 3.6:1

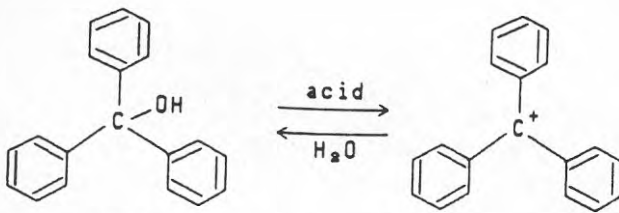
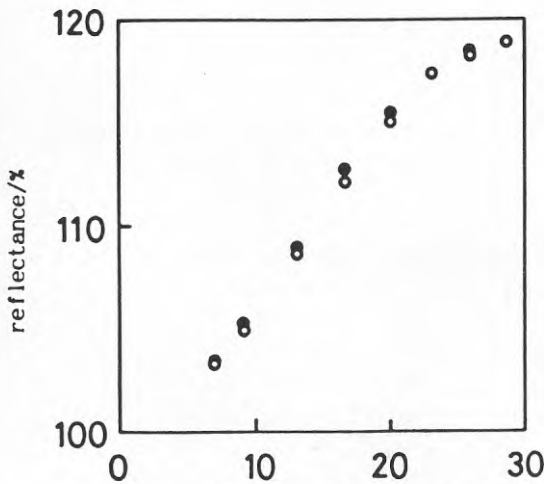


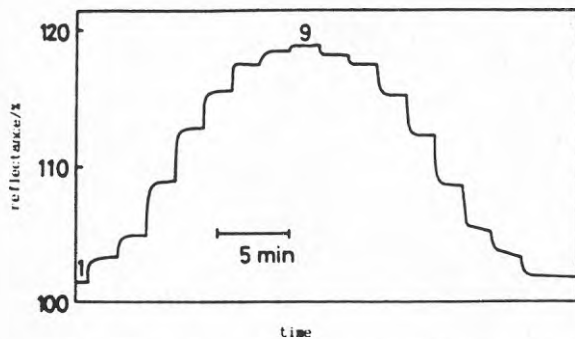
Fig. 2. The expected reaction of dye with Nafion

Figur 3.6:2



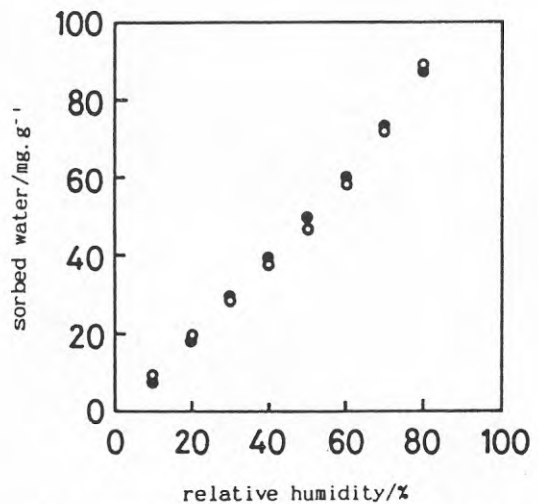
Humidity dependence of the reflectance at 430 nm for the composite film at room temperature: (○) humidification, and (●) desiccation.

Figur 3.6:3



The response curve of the reflectance at 430 nm for the composite film for the step changes of the relative humidity at room temperature: (1-9) dry air, 7, 9, 13, 17, 20, 23, 26, and 29% Rh, respectively.

Figur 3.6:4



Water sorption isotherm for the Nafion films with and without triphenylcarbinol at 30°C: (○) Nafion singly, and (●) composite. The amount of sorbed water is indicated as the ratio of the sorbed water to Nafion.

Figur 3.6:5

Ett huvudfält för optroniken utgör framtagning av detektorer för termisk strålning. Man kan numera också använda flera detektorelement i kombination (matriser), vilket ökar känsligheten. Förut användes det visuella strålområdet, men möjlighet finns att använda 3-5  $\mu\text{m}$  infraröda våglängder. Utvecklingen går mot det längre våglängdsområdet 8-12  $\mu\text{m}$ , vilket svarar mot strålning vid rumstemperatur.

En nackdel med detektorer för infraröda området har varit behovet av kylning. Det satsas därför på detektorer med mindre kylningskrav med bibehållna prestanda.

En annan utvecklingsgren utgör den s k FOTONIKEN, som utnyttjar fotoner (strålningskvanta) i stället för elektroner. Förutsättning för denna har varit nya material för transporter, lagring, diskriminering, och avläsning av fotoner som informationsbärare. På grund av fotoners svaga växelverkan med varandra i jämförelse med elektroner kan olika strålar störningsfritt korsa varandra, möjliggörande bl a tvådimensionell signalbehandling med hastigheter vida överstigande den för elektroniska system. Man siktar även på "optiska" datorer med höga prestanda.

Med hjälp av den långt drivna fiberoptiken (utvecklad inom telekommunikationstekniken) kan fotoniken användas för signalbehandling, t ex vid fördröjda signaler. Tillämpningarna ökas genom att även använda de förut beskrivna fiberoptiska sensorerna för olika fysikaliska storheter (temperatur, tryck etc).

Signalbehandling i omedelbar anslutning till en bildalstrande optronisk sensor för reduktion av datamängden ger en "smart" sensor. Andra områden för fiberoptiska sensorer är hydroakustik, seismik och magnetik.

Optronikens utveckling beror i hög grad på utvecklingen inom mikromekanik och mikroelektronik.

Slutligen skall nämnas att GaAs inom den nya generationens bildförstärkare används som fotokatod.

För det infraröda våglängdsområdet används huvudsakligen MCT (= kvicksilverkadmiumtellturid) i bildsensorer av IRV-typ (IRV = IR Vision). Detta gäller våglängdsområdena 3-5  $\mu\text{m}$  och 8-12  $\mu\text{m}$ .

Utvecklingen av mikroelektroniska bildsensorer under de senaste åren har framför allt gällt området 3-5  $\mu\text{m}$ . Detektorfunktion och bildfunktion har integrerats. Teknik för 8-12  $\mu\text{m}$  bildsensorer är ännu ej mogen. Ovannämnda sensorer kräver fortfarande kylning.

Utvecklingen av fiberoptiska överföringar inom telekommunikationstekniken har medfört en minskning av dämpningen ned till 0,1 dB/km. I området 3-5  $\mu\text{m}$  är teoretiska värdet 0,001 dB/km. Andra komponenter är modulerade lasrar och arrayer med koherent ljus. Härigenom möjliggörs multiplexöverföring och kanaluppdelning.

Nu talas även om s k binär optik, som utnyttjar diffraktionsoptik. Tidigare har denna varit svår att realisera men utnyttjande av VLSI-framställningstekniken har medfört diffraktionsoptik med hög noggrannhet. Man säger binär om tekniken, p g a att framställningen är binär vad maskning, etsning och kodning beträffar. Tillämpning väntas speciellt för IR-området.

En speciell variant är vad som benämns icke-linjär optik, som bygger på ljusets förändring i icke-linjära medier. Härvid uppstår t ex optisk förstärkning, frekvensskift och optisk bistabilitet. Det är möjligt att uppnå självfokusering, faskonjugering, korrelation m m. Vanliga medier är organiska material som fotoaktiva biomolekyler, polymerer, kristaller bl a.

Multielementdetektorer, s k fokalplansmatriser, leder utvecklingen inom bildsensortillämpningarna. Det är halvledarchip som utgör detektorelementet. Bildinnehållet överförs genom transport av laddningar. Härav beteckningen CTD (Charge Transfer Device = Charge Coupled Device (CCD) + Charge Injection Device (CID)).

Man eftersträvar högre rumslig-, spektral- och tidsupplösning. Här finns även okyllda IR-detektorer, som kan medge mindre utrymme, högre tillförlitlighet och lägre kostnad. De utvecklas alltså vidare.

Som tidigare sagts ökar känsligheten vid användning av flera detektorelement. Detta medför också minskat krav på kylning, högre scanningshastighet och kortare exponeringstid.

Man kan i dag med våglängd 1,1  $\mu\text{m}$  uppnå matriser i kiselteknik med 4096 x 4096 element. Sedan kan flera matriser kombineras. Priset per element blir också billigare.

Matriser kan också framställas för IR i området 3-5  $\mu\text{m}$ , storlek t ex 2048 x 16 eller 640 x 480 element (ytmatriser). Högupplösande sensorer för IR i nämnda band väntas bli förverkligade. Kiselbaserade matriser finns också för 8-12  $\mu\text{m}$ -området.

Även för andra detektormaterial som MCT och InSb kan i området 8-12 respektive 3-5  $\mu\text{m}$  matriser om 256 x 256 element uppnås.

Den s k MBE-tekniken (MBE = Molecular Beam Epitaxy) ger möjligheten att erhålla renare material för tillverkning av matriserna.

Snabb detektorrespons räknar man med att uppnå med GaAs- baserade detektorer, som också gett lovande resultat beträffande möjlighet att specificera våglängdsrespons. Utvecklingen går mot stora matriser. En utveckling tar också fasta på användning av supraledare med hög omvandlingstemperatur. Dessa skulle kunna täcka ett stort våglängdsområde.

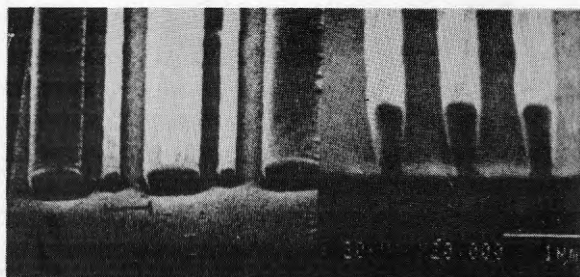
## 3.7

**EXEMPEL PÅ NYA FRAMSTÄLLNINGSMETODER**

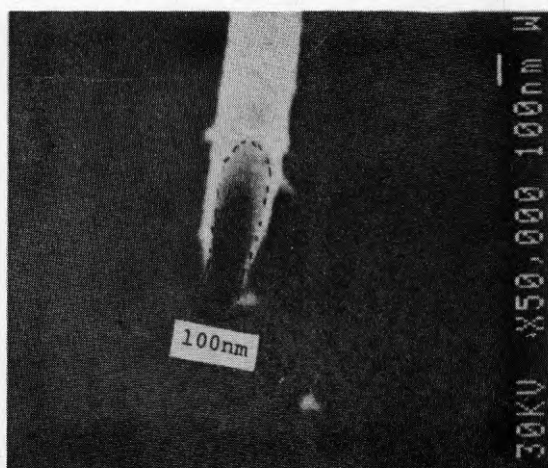
För framtagning av metalledarmönster krävs liksom vid andra bearbetningar i halvledarmaterial en s k fotoresist, som är känslig för en exponerande strålning (ljus, UV, röntgenstrålning eller elektronstrålning). I fallet utformning av metalledare läggs resistens över det metallbelagda område där ledarna skall etsas fram. Metallbeläggning sker genom förångning eller s k plasma sputtering av metallen i vakuum. Metallmönstret framställs genom att bestråla den känsliga resisten efter det mönster som formar ledarnas utseende. Resisten "härddas" genom bestrålningen och blir i de bestrålade områdena resistent mot etsningar (vätetsning eller plasmaetsning). Obestrålade delar löses upp liksom metallen därunder och kvar blir det önskade metallmönstret i härddad resist och metall. Slutligen upplöses resisten och metallmönstret återstår ensamt. Noggrannheten i mönstret (t ex ledarens bredd) beror på resist och våglängden hos strålningen (även elektroner kan tillskrivas en energiberoende våglängd). Man talar om olika upplösning hos resisten.

I Journal of Electrochemical Society, Vol. 138, No 4, 1991, p. 1076, finns artikeln "New High-Resolution and High-Sensitivity Deep UV, X-Ray, and Electron-Beam Resists". Den beskriver en ny resist med en extremt hög känslighet för elektronbestrålning av dosstorleksordning  $0,2 \mu\text{C}/\text{cm}^2$  (C=Curie ett mått på antalet partiklar eller fotoner per sekund;  $\mu\text{C} = 10^{-6}$  C) vid 20 kV. Detta ger en upplösning motsvarande linjebredder och linjeavstånd om  $0,25 \mu\text{m}$ . För vanliga resister är UV-strålning svår att använda vid geometrier  $< 1\mu\text{m}$ . Resisten kallas EPR (Epoxy resist).

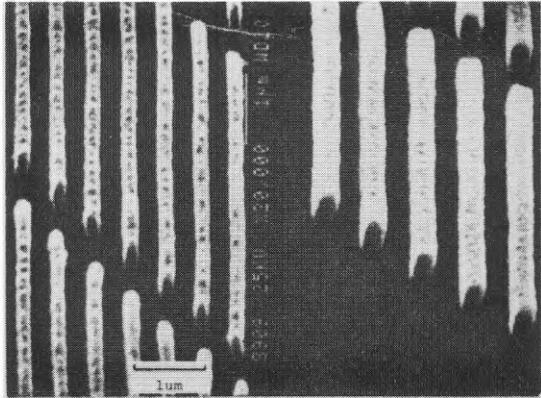
Följande exempel finns bl a



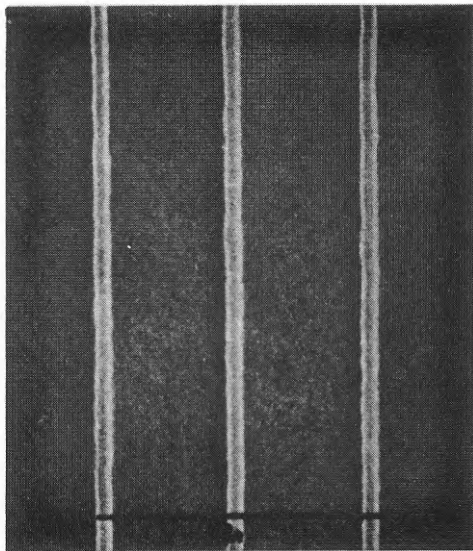
Figur 3.7:1 visar tillämpning av EPR = Epoxy-Resist. Den höga kontrasten hos resisten möjliggör bildning av  $0,4 \mu\text{m}$  linjer genom diffraktion av strålen (248 nm laser, till höger på bilden).  $0,5 \mu\text{m}$ -linjer och linjeavstånd genom laserbestrålning. Resistens tjocklek var  $0,5 \mu\text{m}$ .



Figur 3.7:2 visar exponering i EPR av 700 nm tjocklek och 20 kV elektronenergi. Bredden 100 nm.

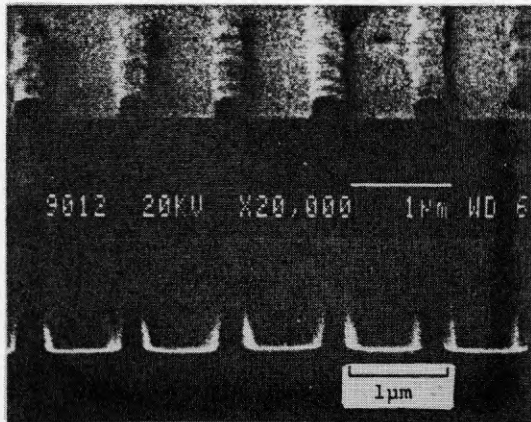


Figur 3.7:3 visar linjebredder och linjeavstånd på 0,25  $\mu\text{m}$  och 0,5  $\mu\text{m}$  från exponering av 700 nm tjockt EPR med elektrondosen 0,5  $\mu\text{C}/\text{cm}^2$  vid 50 kV.

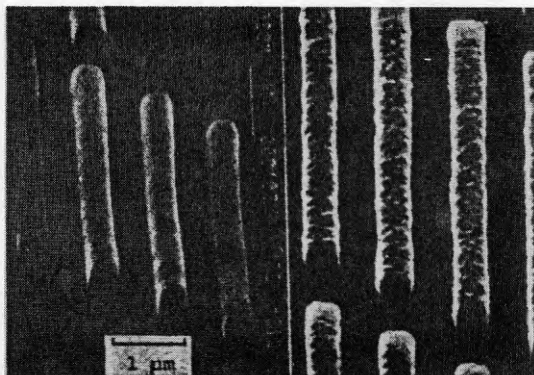


Figur 3.7:4 visar 70 nm breda linjer framställda genom exponering vid 50 kV av 200 nm tjock EPR.





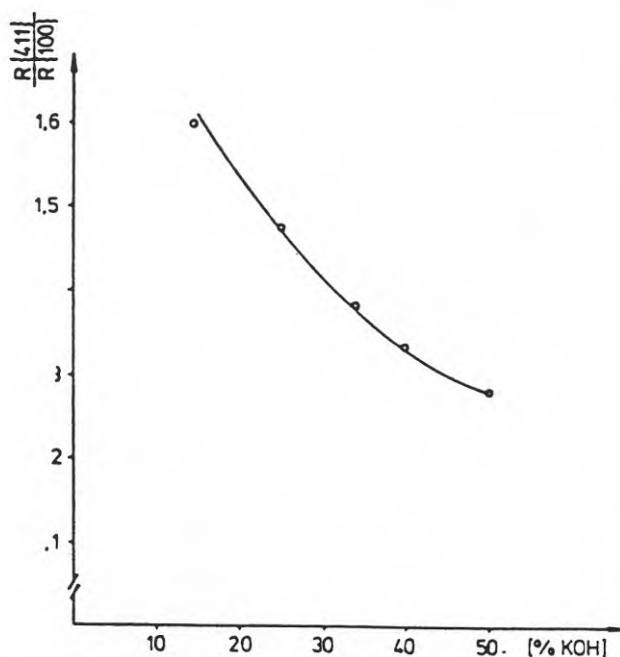
Figur 3.7:5 figur visar såväl 300 nm linjer i EPR framställda vid 50 kV som motsvarande etsför djupningar i  $\text{SiO}_2$ . De senare hade bredden 400 nm. Plasmaetsning.



Figur 3.7:6 visar olika exponeringar av EPR vid 50 kV och olika doser. Elektronbrus gör sig märkbart vid  $0,3 \mu\text{C}/\text{cm}^2$ .

En annan artikel i Journal of Electrochemical Society, Vol. 137, No. 12, 1990, p. 3947-51 ger nyheter om metoder för mikromekanik. Den heter "Fabrication of Non-Underetched Convex Corners in Anisotropic Etching of (100)-Silicon in Aqueous KOH with Respect to Novel Micromechanic Elements". Den är skriven av G. K. Mayer, H. L. Offereins, H. Sandmaier och K. Köhl.

Vid anisotrop etsning med vattenlösning av KOH (Kaliumhydroxid) av {411}-plan med en speciell utvecklade mätteknik, se nedan.



Figur 3.7:7 visar den anisotropa etshastigheten vid etsning med vattenlösning av kaliumhydroxid i olika koncentrationer. Gäller för temp 60<sup>o</sup>-100<sup>o</sup>C.

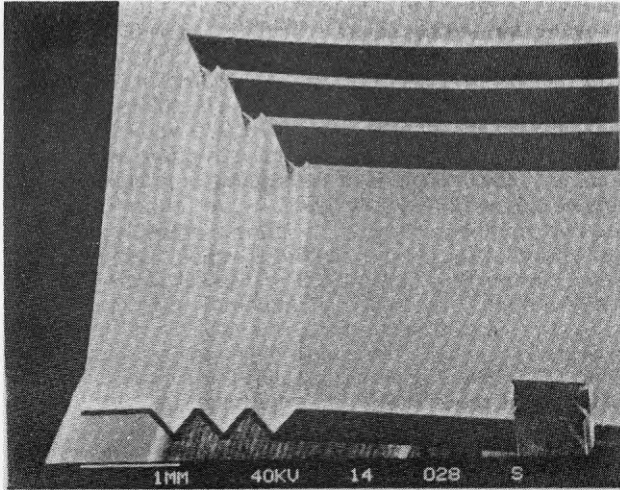


Fig 3.7:8

Fig 3.7:8 visar ett flertal V-formade räfflor i en tryckrumrealisering. De ligger ej helt fria, eftersom mekanisk stress i botten av dem eljest skulle ge upphov till skärvor eller hak där.

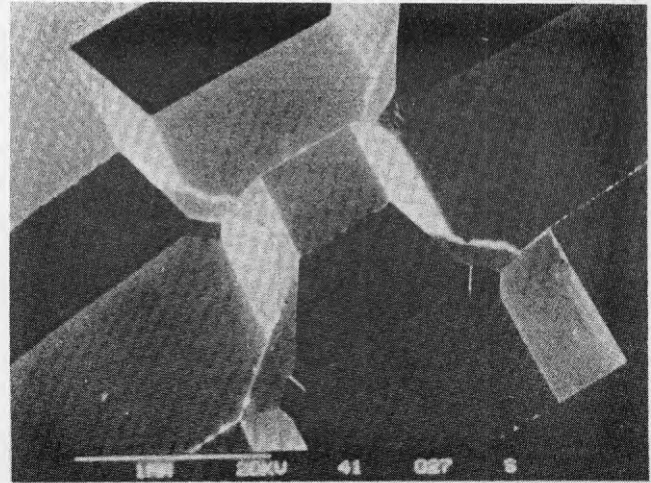


Fig 3.7:9

Fig 3.7:9 visar de vertikala <100> väggarna på en pyramidkropp i minimala dimensioner, just innan en fullständig sidounderetsning inträffar.

I samma tidskriftsnummer heter den efterföljande artikeln "Trench Isolation by Selective Epi and CVD Oxide Cap" skriven av K. D. Beyer, V. J. Silvestri, J. S. Makris and W. Guthrie. Den ger prov på den sofistikerade teknik i tre dimensioner som mikroelektroniken har tillgång till. "Trench"  $\approx$  djupgående. Cap = kapsel, betäckning. Artikeln beskriver en dielektrisk isoleringsprocess, som åstadkommer kretsområden avgränsade genom djupa, vertikala urholkningar. Dessa består av trippeldielektrisk sidovägg med en öppen källbotten, en partiell fyllning av källare (urholkningen) tillkommen genom selektiv epitaxiell tillväxt av kisel och en CVD (Chemical Vapor Deposition)-kapsel i  $\text{SiO}_2$ . De följande figurerna 3.7:10-3.7:13 illustrerar<sup>2</sup> detta.

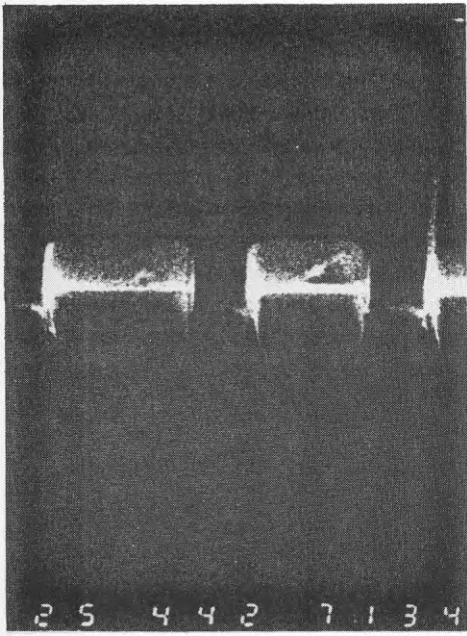


Fig 3.7:10

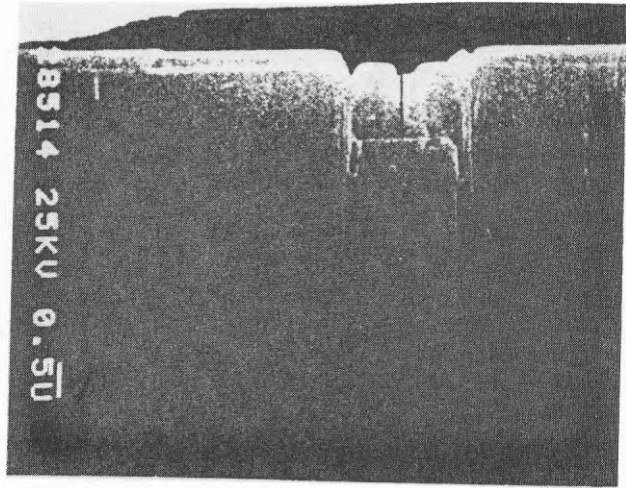


Fig 3.7:11

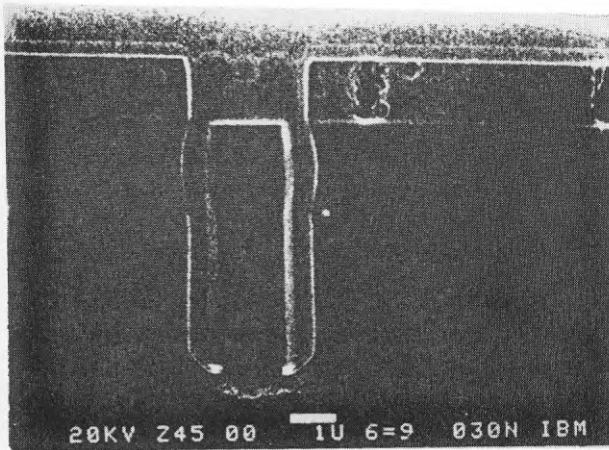


Fig 3.7:12

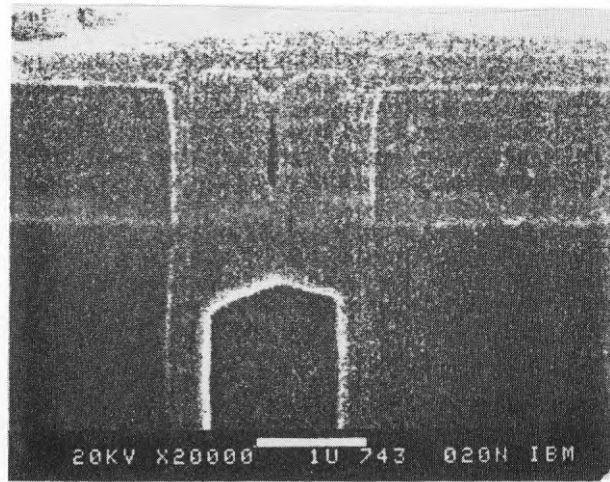


Fig 3.7:13

Det sista avsnittet ger en fingervisning om att utvecklingen av mikromekaniska element och mikroelektroniska kretsar i flera dimensioner är långt ifrån avslutad och kommer att i hög grad inverka på framtida sensorkonstruktioner.

### 3.8 VAL AV SENSORER

Enligt prognoser som gjorts de senaste åren ökar utbudet av sensorer väsentligt. Man får alltså stor valmöjlighet och priserna minskar. De stora kraven på driftsäkerhet vid tillämpningar för avancerade säkerhets- och reglersystem gör att endast beprövade komponenter bör komma ifråga.

För lösning av en viss funktion kan man först välja den princip som är lämpligast med hänsyn till övriga system som skall realiseras och är relaterade till den speciella funktionen. Man letar lämpligast i den tillgängliga litteraturen på beskrivningen av sökt funktion och väljer den som ligger närmast ställda krav. Sedan går fabrikanternas komponentlistor igenom och den med hänsyn till pris och komponentdata fördelaktigaste typen eller typerna tas ut. Slutligen skall tillförlitligheten bedömas utifrån fabrikantens provningsresultat och eventuella provningar och bedömningar som gjorts av andra tillämpare eller utvärderare. Märk särskilt kapslingens betydelse. I vissa fall kan en expert på ifrågavarande komponenter tillfrågas få ett öka möjligheter till ett säkert val. De forskningscentra som själva sysslar med utveckling av sensorer har en hög kompetens på området och kan också konsulteras.

#### **Styrande faktorer vid val av sensorer:**

- 1 Avsedd funktion.
- 2 Möjliga principer.
- 3 Miljöinverkan (kapslingsutföranden).
- 4 Effekt, spänning, ström.
- 5 Mekaniska påkänningar (kapslingstyp).
- 6 Avsett byggsätt (ytmontering t ex).

Utsortering från listor över tillgängliga sensorer

Schema:

Sensor-typer	Uppfyller					
	Funk- tion	Miljö- krav	El- para- metrar	Meka- niska krav	Temp.- tålig- het	Pris
I	0	1	1	0	0	1
II	1	1	0	0	1	0
Godkänd III	1	1	1	1	1	1
.						
.						
.						
.						

0 = nej; 1 = ja. Ovanstående fördelning är ett godtyckligt valt exempel på utfall.

**3.9****ÖVRIGA KOMPONENTER, ÖVERSIKT**

I den moderna komponentfloran finns både de traditionella diskreta passiva och enklare aktiva (transistorer, dioder) som de mera komplicerade aktiva komponenterna, IC, VLSI, tyristorer, varistorer, mikroprocessorer samt varianter av dessa.

Komponenter tillverkas numera i "klasser" eller "familjer". De passiva: resistorer (tidigare benämnda "motstånd"), kondensatorer och induktanser, indelas dels efter elektriska parametrar, dels efter fysiskt utförande. Parametrar är ström, spänningstålighet, effekt och temperaturtålighet. Utförandet som är beroende på avsett byggsätt för användningen motsvarar också mekaniska data. Ytmontering på kort är vanligt numera och har krävt särskilda utformanden av komponenter. Man talar om komponenterna för ytmontering. Resistorer finns i såväl s k tunn- som tjockfilmsutförande. De klassiska kol- och metallmotstånden eller näten har fortfarande tillämpningar.

Komponenterna behandlas i ordning som följer:

Tyristorer m m

Fiberoptik

Supraledare

Logikkretsar

Minnen

Mikroprocessorer

Grindmatriser

ASIC (Applied Special Integrated Circuit)

Motstånd, kondensatorer, induktanser, reläer

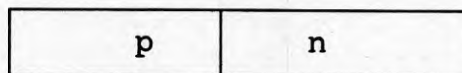
Montering och byggsätt

### 3.10 TYRISTORER M M

#### Allmän beskrivning

Grundläggande egenskaper för halvledare som används i regler- och styrsystem är förmågan till likriktning respektive omslag (switching). Olika varianter på dessa finns, men tyristorn är den med den vanligaste funktionen.

Utan att gå in på de enskilda fysikaliska förloppen kan tyristorfunktioner förstås på följande sätt. Man utgår från diodfunktionen hos en pn-övergång, d v s övergång från ett p-dopat till ett n-dopat område.

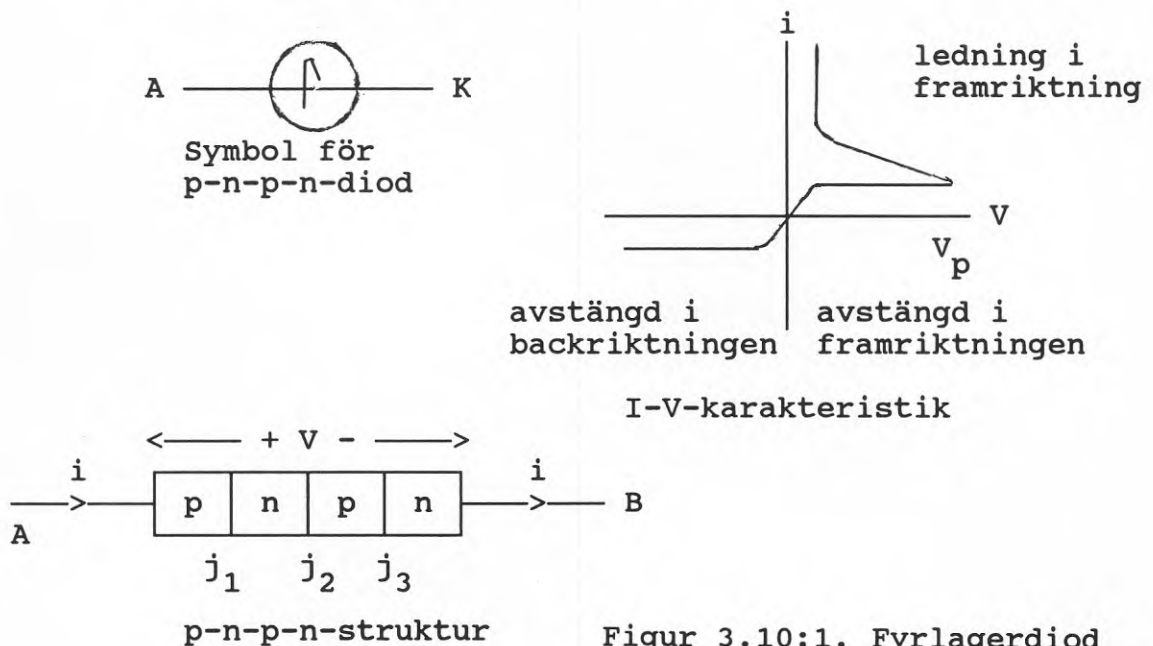


Genom att bilda två sådana områden efter varandra erhålles ett fyrlayerskikt, en s k fyrlayerskrets. Detta system bildar en halvledarstyrd likriktare (SCR = semiconductor controlled rectifier, ibland även p g a det vanligaste halvledarmaterialet kallad "silicon controlled rectifier"). Den är dopad så att strömmen blockeras genom två terminaler tills den startar till följd av en liten signal på den tredje terminalen. Som nämnts finns det flera utföranden av strukturen med olika egenskaper men här begränsas förklaringen till användning för styrning av stora strömmar i olika kontrollsystem ("Power switching").

Eftersom den kan styras utifrån används kretsen för att reglera energitillförseln till någon last vilket sker genom att släppa fram strömmen endast under en del av strömnätscykeln. Tillämpning är t ex lampor som genom switchar får ström under längre eller kortare delar av nätcykeln. Ljuset kan då regleras från full styrka till noll. Samma system kan användas till motorreglering, uppvärmning och annat.

### P-n-p-n-dioden

Nedanstående figur visar en fyrlagerdiodstruktur med anodterminal A vid yttre p-området jämte katodterminal K vid yttre n-området (j = junction, d v s övergång/knutpunkt).



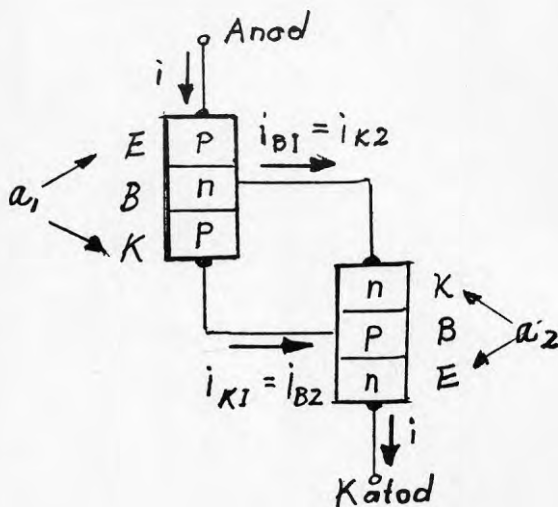
Figur 3.10:1. Fyrlagerdiod

När anoden är positivt förspänd ( $v$  positiv) i förhållande till katoden är kretsen förspänd i framriktningen. Man har emellertid som I-V-kurvan visar då både ett högimpedivt och ett lågimpedivt tillstånd. Omslag sker vid en kritisk spänning  $v_p$ . Detta beror på att spänning  $v$  vid låga värden gör  $j_1$  och  $j_3$  förspända i framriktning medan  $j_2$  är omvänt förspänd och därmed får större delen av spänningsfallet. När  $v$  ökar sker omslag till ledning och alla övergångar blir förspända i framriktningen med ett lågt totalt spänningsfall (se I-V-kurvan).

Om  $v$  är negativt däremot blir  $j_1$  och  $j_3$  backspända medan  $j_2$  är framspänd. Detta tillstånd medger endast en låg mättnadsström, som uppstår genom termisk elektron-hålpargenerering nära  $j_1$  och  $j_3$ . Strömmen förblir liten i det backspända tillståndet tills ett sk avalanchebrott inträffar vid ökad (negativ) spänning. Denna kan i en väl utförd diod uppgå till flera tusen volt!



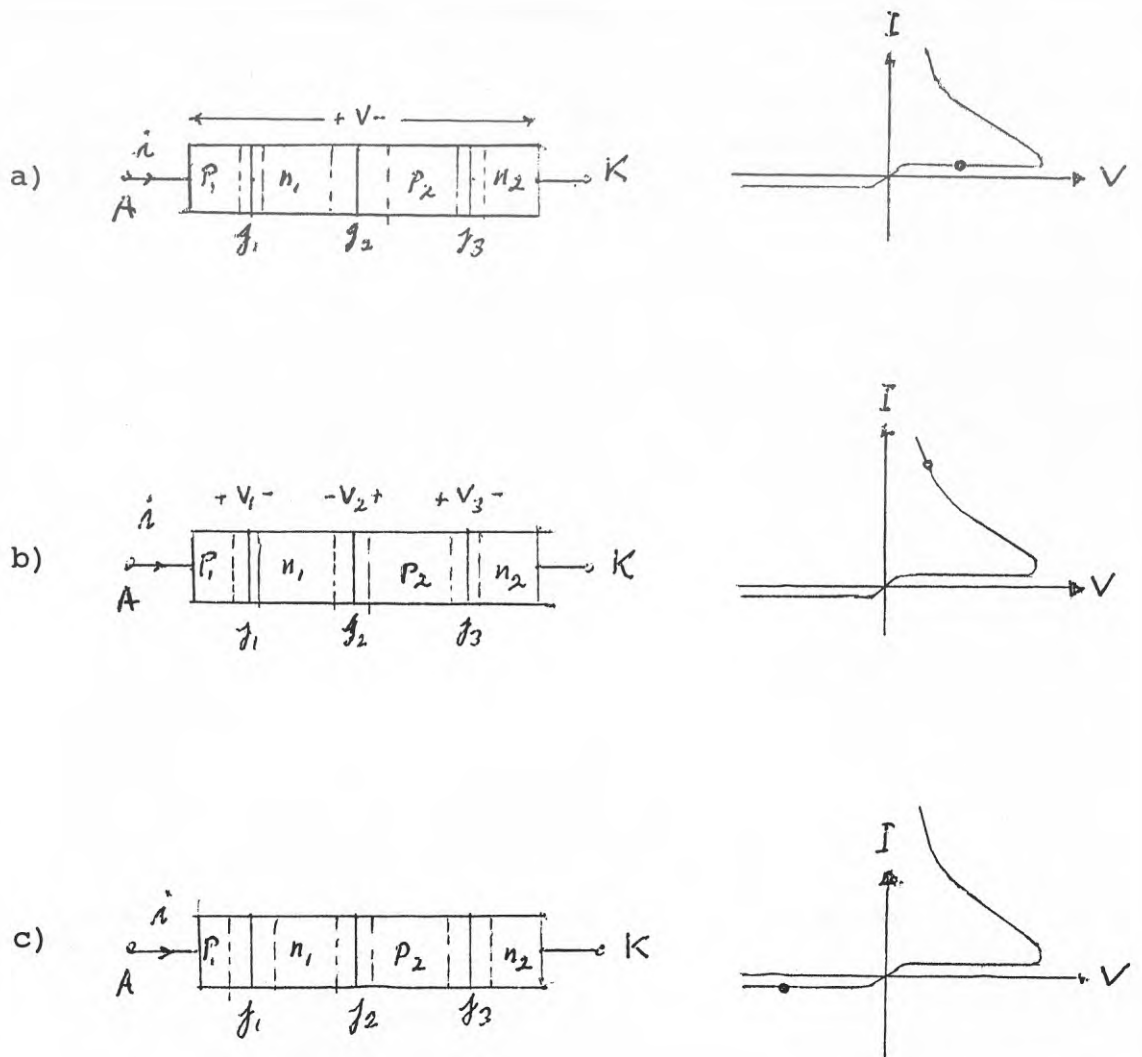
Omslaget i en fyrlagerdiod från att vara avstängd i framriktningen till att bli ledande kan ske av olika orsaker, t ex förhöjd temperatur i den (sensorverkan!). Man får nämligen därav en ökning i antalet laddningsbärare och deras livslängd tilltar. En annan möjlighet vid ljuskänsliga skikt att öka bärarkoncentration utgör optisk excitering, som ökar strömmen genom elektron-hålpargenerering (EHP). Man "triggrar" (åstadkommer omslag i) dioden på dessa sätt. Följande figur visar en transistoranalogi för fyrlagerdioder. (p = positiv/hålleledning; n = negativ/elektronledning.)



Tvåtransistoranalogi  
av fyrlagerdiod

Figur 3.10:2. Tvåtransistoranalogi  
av fyrlagerdiod

I halvledarlitteraturen finns matematiska beskrivningar av de olika förloppen i p-n-p-n-dioder utifrån fysikaliska definitioner. Ytterligare en figur åskådliggör diodtillstånden.



Figur 3.10:3. Tre tillstånd hos fyragerdiod (bias states)

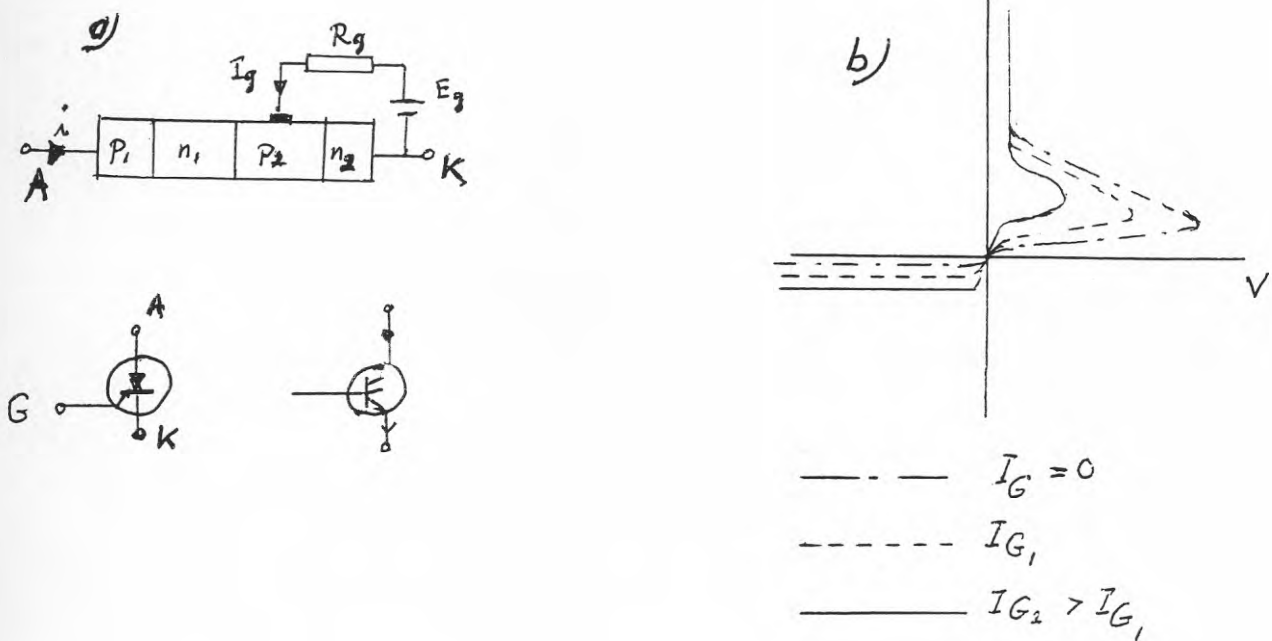
Tre tillstånd hos fyragerdiod ("bias states").

- a) avstängd i framriktning
- b) ledande i framriktning
- c) avstängd i bakriktning.

Streckade områden anger "diffusionslängder".

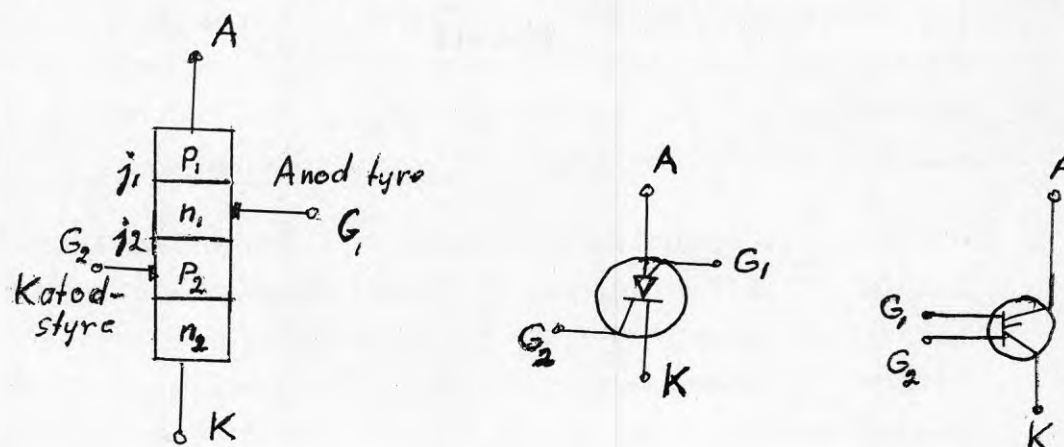
I fall a ligger större delen av spänningen  $v$  över  $j_2$ -övergången. Trots att  $j_1$  och  $j_3$  leder i framriktning är strömmen låg (se I-V-kurvan). Detta förklaras sålunda. Man får utgå från elektrontillförseln till  $j_1$  och hålinjektationer till  $j_3$ . Om ett "hål" (positiv bärare) injiceras från  $p_1$  till  $n_1$  och "rekombinerar" med en elektron där (eller i  $j_1$ -övergången), måste en ny elektron tillföras  $n_1$  för att upprätthålla en neutral rymdladdning (eljest positivt "hålöverskott"). Elektrontillförseln är emellertid starkt begränsad då  $n_1$  gränsar till ett backspänt område,  $j_2$ . I en vanlig pn-diod avslutas n-området med en "ohmsk" kontakt med obegränsad tillförsel av elektroner. I ovanstående fall finns huvudsakligen de elektroner som genereras termiskt inom en "diffusionslängd" av  $j_2$ . Detta innebär att strömmen genom  $j_1$  är ungefär lika med den mättade "backströmmen" i  $j_2$ . Samma överläggning gäller strömmen genom  $j_3$ . Spänningsfallet  $v$  fördelar sig för att upprätthålla den svaga strömmen genom övergångarna, som också blir hela diodströmmen.

Ordet eller benämningen "tyristor" har ännu ej använts i vår framställning. Nu är emellertid den viktigaste tillämpningen av fyragerdiod i effektkretsar den där dioden är försedd med tre terminaler (anslutningar) för att styra dess funktion (SCR). Skillnaden mot förut är att en tredje tilledning går till ett av "basområdena". Följande figur illustrerar uppbyggnad och funktion. När dioden är förspänd i framriktningen (dvs avstängd), kan en liten strömförsel till styret G initiera ett omslag till ledande läge. Detta medför att med ökande ström till styret  $I_G$  anodslagsspänningen  $V_p$  sjunker. Här föreligger alltså ett mycket användbart sätt att få tillämpning i "switch"- och kontrollkretsar. (Tyristorverkan.)



Figur 3.10:4. En fyrlagerdiod som SCR  
 a) geometri och symboler  
 b) I-V karakteristik

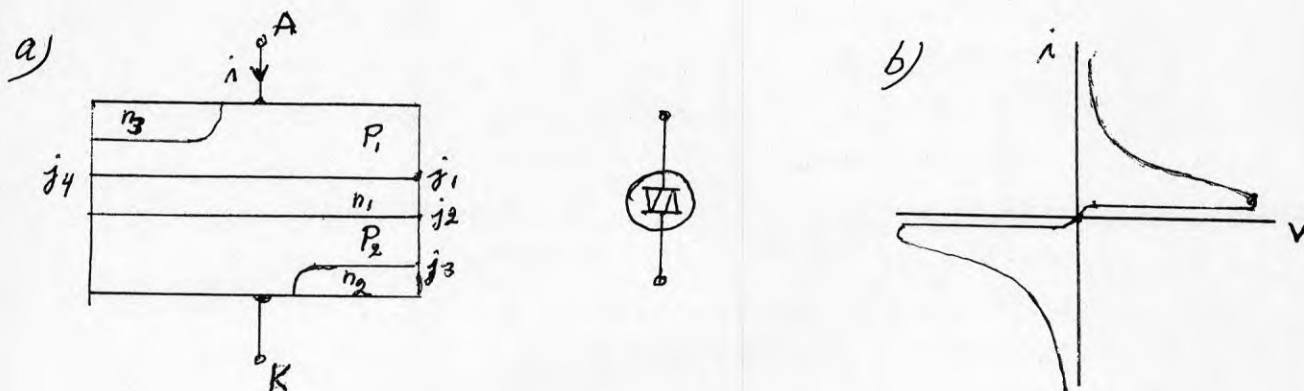
Det finns också utföranden av fyrlagerdioder med två "styrtilledningar". De kallas "Halvledarkontrollerade switchar". (SCS = semiconductor controlled switch). Med den andra styrelektroden erhålles större flexibilitet i kretsutformningen (se följande figur). När dioden är avstängd i framriktningen, kan den ges omslag till ledande läge genom antingen en positiv strömpuls på katodstyret (vid  $p_2$ ) eller en negativ strömpuls på anodstyret (vid  $n_1$ ). Om man önskar tillslag genom ena styret och avstängning genom det andra kan detta åstadkommas med separata styrkretsar för respektive styre. En annan fördel med denna diodtyp är att man kan minimera risken för omslag p g a spänningens tidsändring ( $dv/dt$ ).



Figur 3.10:5. Halvledarkontrollerad switch

### Bilateral p-n-p-n-diod

Det finns tillämpningar där man önskar "symmetriska" omslag ("switching") vid omslag i såväl framåtpänd som backspänd diod. Detta passar bra vid växelströmsförlopp, när triggring sker såväl på den positiva som negativa amplituden i nätcykeln eller andra sinusformiga förlopp. Ett typiskt utförande av en dylik diod visas nedan.



Figur 3.10:6. Bilateral diod-switch

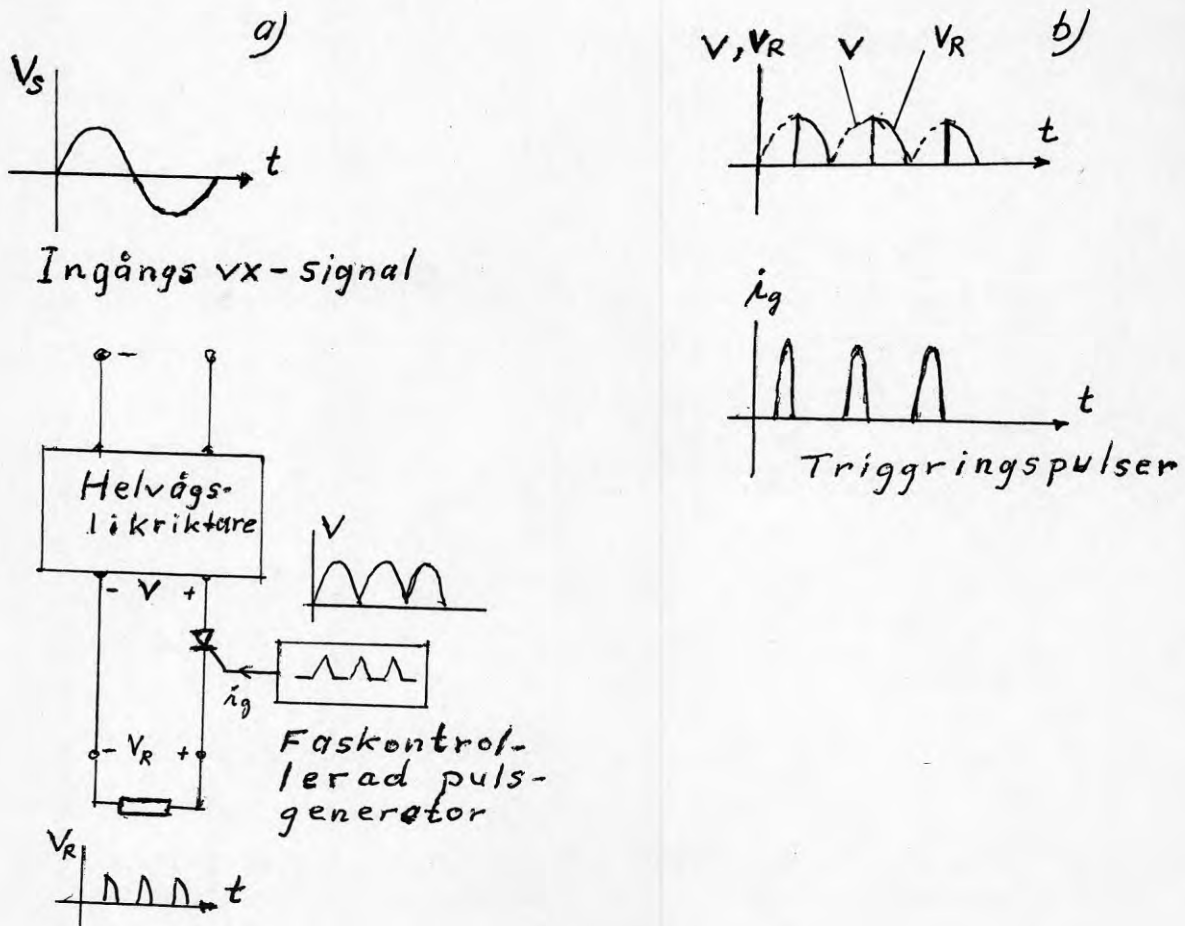
- a) Schematisk strukturbild och kretssymbol  
b) Typisk I-V karakteristisk

Denna struktur är olik den förut beskrivna genom det i  $p_1$ -området indopade  $n_3$ -skiktet. Strukturen är symmetrisk. Man kan se den som två skilda p-n-p-n-strukturer: i ena halvan  $p_1$ - $n_1$ - $p_2$ - $n_2$ -dioden och i den andra (vänstra) halvan  $p_2$ - $n_1$ - $p_1$ - $n_3$ -dioden.

Med positiv spänning på anoden A i förhållande till katoden K är övergången  $j_1$  framåtspänd medan  $j_2$  är backspänd. Övergången  $j_3$  är kortsluten vid ena sidan, liksom  $j_4$ , genom metallkontakt. När emellertid spänningen över  $j_2$  ökar tills genombrott uppstår, flyter en sidoström i  $p_2$  och förspänner  $j_3$  så att bärarinjicering erhålles och kretsen "slår om" (switchar). Under detta förlopp förblir övergången  $j_4$  opåverkad. På grund av symmetrin tjänstgör övergången  $j_4$  som kortsluten emitter, när polariteten kastas om (K positiv i förhållande till A), och  $j_1$  blir den övergång som förspänns till genombrott med omslag (switchning) som följd. Vid rätt utförande av den bilaterala strukturen blir I-V karakteristiken i fram- och backriktning symmetriska (se fig b ovan).

Det går även att framställa s k bilaterala triod-switchar (vanligen kallad triacs) med SCR-karakteristik som kan triggras i förspänt eller backspänt läge.

Nedanstående figur ger exempel på styrning av effekt med SCR-krets.



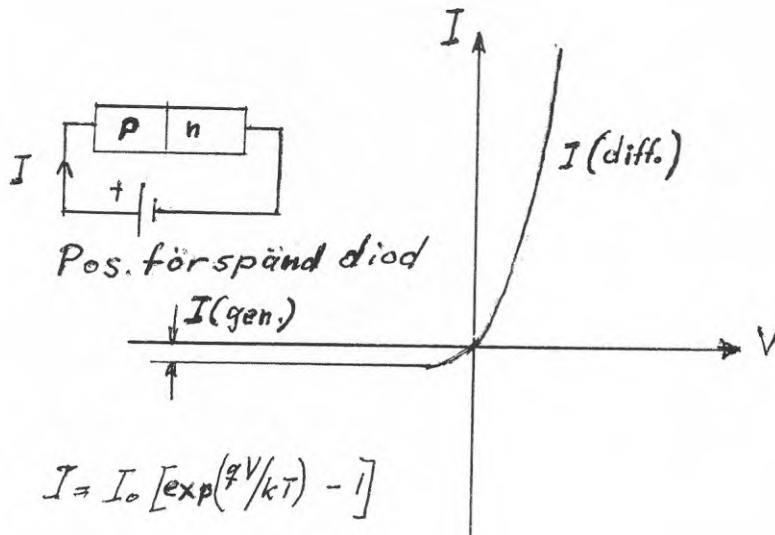
Figur 3.10:7. Tillämpning av SCR för styrning av energi till en belastning (motstånd)

- Schematiskt kretsdiagram
- Vågformerna på den levererade signalen och den fasvariabla triggringspulsen

Tyristorer kan användas till flerfaldiga styrmoder från transienter i telekommunikation till styrning av högspända strömläslare.

### Zenerdiod och tunneldiod

För att förstå funktionen hos speciella diodtyper som zenerdiod och tunneldiod är det enklast att börja med funktionskaraktistiken hos en vanlig pn-diod (pn-övergång).



Figur 3.10:8. Karakteristik av pn-övergång

$I(\text{gen.})$  är den ström som genereras genom termisk EHP nära pn-övergången. Motsvarande elektroner och hål kallas även minoritetsbärare.  $I(\text{gen.})$  kallas också mättnadsström.

$$I_0 = |I(\text{gen.})|, \text{ (absolutvärdet av } I(\text{gen.}) \text{).}$$

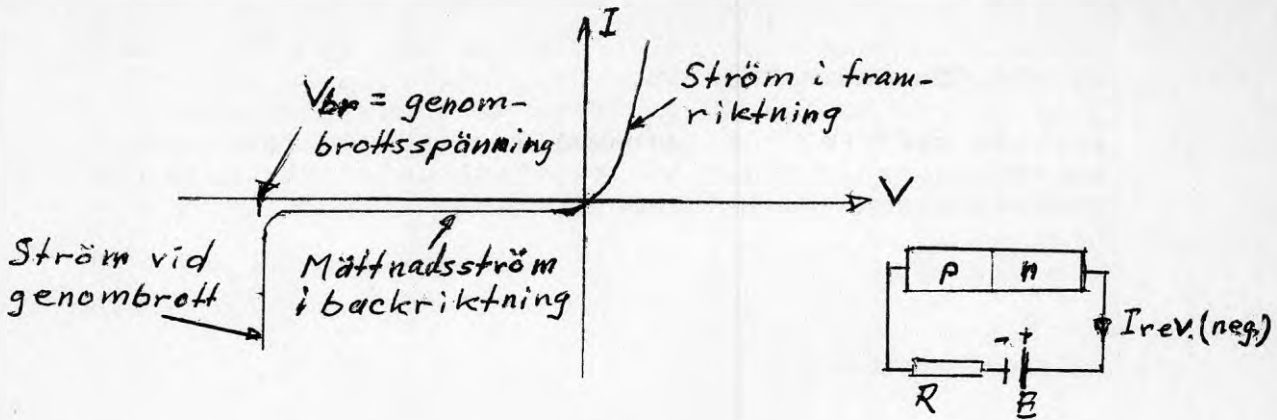
$I(\text{diff.})$  är den ström som diffusionen genom pn-övergången av elektroner och hål ger upphov till. Vid jämvikt är  $I(\text{gen.}) + I(\text{diff.}) = 0$ .

Nästa steg blir att visa vad som sker när spänningen i backriktningen ökar (mer negativ spänning). Vid en kritisk spänning erhålls ett genombrott (eng. reverse breakdown). Strömmen ökar plötsligt. Man kan använda sig av detta förhållande. Ett motstånd  $R$  i matarkretsen begränsar strömmen Enl. fig

$$|I(\text{rev.})|_{\text{max.}} = \frac{E - V_{\text{br}}}{R} \text{ där } V_{\text{br}} = \text{Genombrottsspänning-}$$

en.





Figur 3.10:9. Karakteristik och kopplingsschema för genombrottsdiod

Om strömmens max-värde vid genombrott begränsas genom ett motstånd  $R$  till ett för diodstrukturen okänsligt värde, kan dioden användas i denna operationsmod utan risk att förstöras. Sådana diodes kallas "genombrottsdioder" (breakdown-dioder) och är av två slag beroende på genombrottsmekanismen.

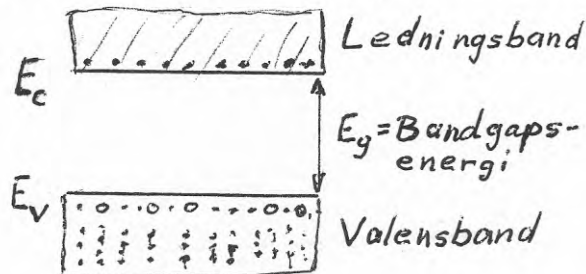
#### Zenereffekt

Genombrotten i dioderna i backriktningen uppstår vid ett kritiskt fält i övergångsområdet. Genombrott vid låga backspänningar (upp till några volt) beror på en mekanism kallad Zener-effekt. Sker genombrottet vid högre spänningar, från några volt till tusentals volt beror det på en annan mekanism, lavingenombrott (avalanche breakdown).

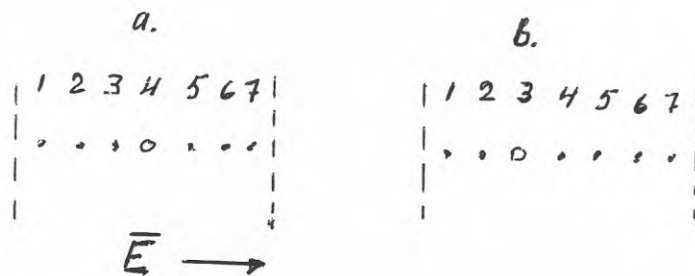
För att åskådliggöra nämnda mekanismer måste man använda s k banddiagram som halvledarfysiken inför för att beskriva laddningsbärarnas energinivåer. De lätt-rörliga elektronerna sägs förflytta sig i det s k ledningsbandet, medan de positiva hålen förflyttar sig i det s k valensbandet. Avståndet i energi mellan dessa band kallas bandgap och anges i eV (elektronvolt). Genom dopning införs extra energinivåer i bandgapet mellan de båda ledningsbanden. Därmed ökar ledningsförmågan antingen genom s k n-dopning p g a isotoper, som kallas donatorer då de kan avge en elektron till ledningsbandet (P, As, Sb t ex) eller genom p-dopning med isotoper, som kallas acceptorer då de kan ta upp en elektron från valensbandet och därmed skapar ett positivt hål där för hålleddning (B, Al, Ga t ex). Motsvarande isotopenenerginivåer i bandgapet ligger nära lednings- respektive valensbandet. En odopad halvledare sägs ha egenledning (eng. intrinsic semiconductor) som beror på temperaturen och ökar med denna. Termisk excitering orsakar EHP. Störningar i kristallsystemet kan också öka ledningsför-

mågan. Samtidigt som EHP genereras har man en motsatt effekt, rekombination. Vid jämvikt är dessa effekter lika stora. Bandgapet varierar med halvledarmaterialet,  $E_g \approx 0,7$  eV för Ge och 1,1 eV för Si. Av bandgapsstorleken ser man att halvledare i Si är termiskt mer stabila än Ge-halvledare.

• = elektron, o = hål



Figur 3.10.10. Schema över lägena av lednings- och valensband enl halvledarteorin



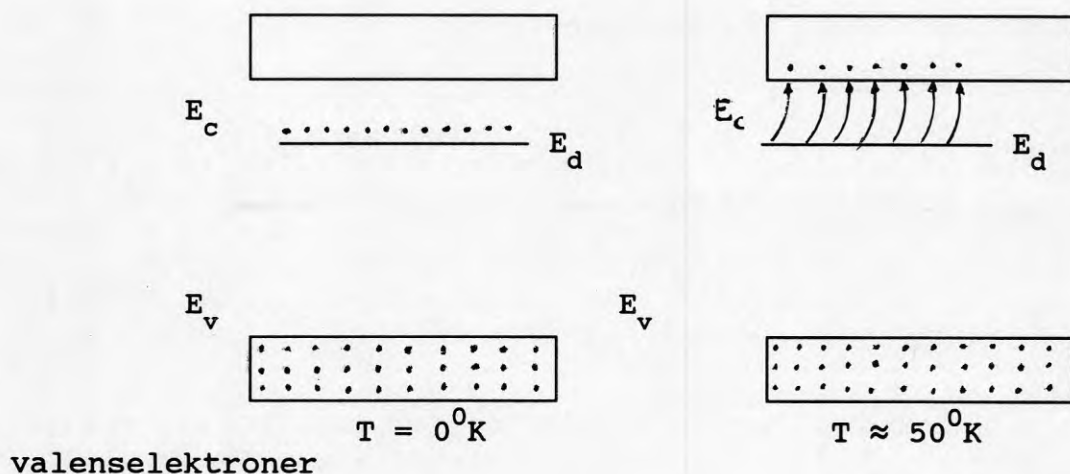
Figur 3.10:11. Elekttron- och hålleddning i valensbandet (endimensionellt gitter)

Hålet i position 4 i fig. a förflyttar sig jämte elektronerna ett steg till vänster i det elektriska fältet  $E$ , med resultat enl. fig b. Elektronen i pos. 1 enl. a förflyttar sig till vänster ut ur gittret medan de övriga alla flyttas ett steg åt vänster med resultat att en ny elektron kommer in från höger i pos. 7 och "hålet" också flyttas ett steg till vänster till pos. 3.

Den matematiska beskrivningen av valensbandelektronernas förflyttning är komplicerad, men den totala laddningsförflyttningen i valensbandet kan erhållas genom att betrakta "hålerna" som positiva laddningsbärare, med samma laddningsmängd  $q$  som för en elektron men motsatt tecken. För den matematiska behandlingen måste man införa en "effektiv massa" såväl för elektron som hål. De senare betraktas även som "tomma lägen" (eng. empty states).

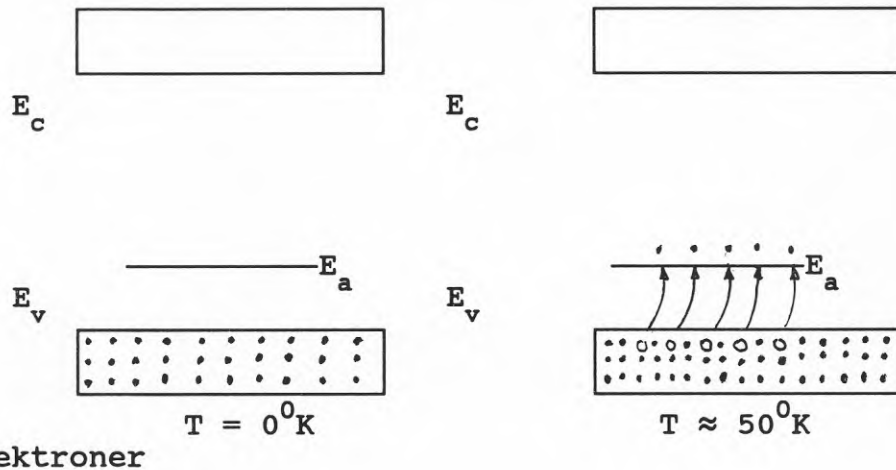
Det tycks motstridigt att hålen i valensbandet rör sig i fältet i samma riktning som elektronerna. Detta beror på att lagarna för elektronernas rörelse i valensbandets topp skiljer sig väsentligt från de samma för elektronerna i ledningsbandet. Med införande av hålledning kan den resulterande ledningsmekanismen enkelt erhållas. Man får också hålla i minnet att såväl elektroner i ledningsbandet som hål inom valensbanet har flera olika energinivåer (lägen). Man brukar därför, som sägs, "reducera" respektive energier till bandkantsenergierna ( $E_c$  res.  $E_v$ ) vid beräkningen. Detta innebär också att om valensbandet är "fyllt" inga förflyttningar av laddningar erhålles. Det måste finnas ett antal hål ("empty states").

För dopade halvledare blir energischemana enligt nedanstående figurer.



Figur 3.10:12

Figurerna visar hur elektroner från en donator i donatornivån  $E_d$  ger (donerar) elektroner till ledningsbandet vid den högre temperaturen. Man får s k n-typhalvledare.



Valenselektroner

Figur 3.10:13

Figurerna visar hur acceptorisotoper i acceptornivån  $E_a$  upptar (accepterar) elektroner från valensbandet vid den högre temperaturen.

För fördelning av energinivåer och antalet besatta ("ockuperade") sådana råder statistiska lagar. Här gäller den så kallade Fermi-Dirac-statistiken som bland annat leder till det för halvledarledning viktiga begreppet Fermi-nivå, en energinivå. Som jämförelse kan nämnas att fotoner (ljus- och gammakvanta) följer den så kallade Bose-Einstein-statistiken.

Elektroner i fasta material följer Fermi-Dirac-statistiken. Detta innebär bland annat att fördelningen av elektroner över ett antal "tillåtna" energinivåer (enligt kvantmekaniken råder vissa lagar för tillåtna och otillåtna nivåer) är följande vid termisk jämvikt:

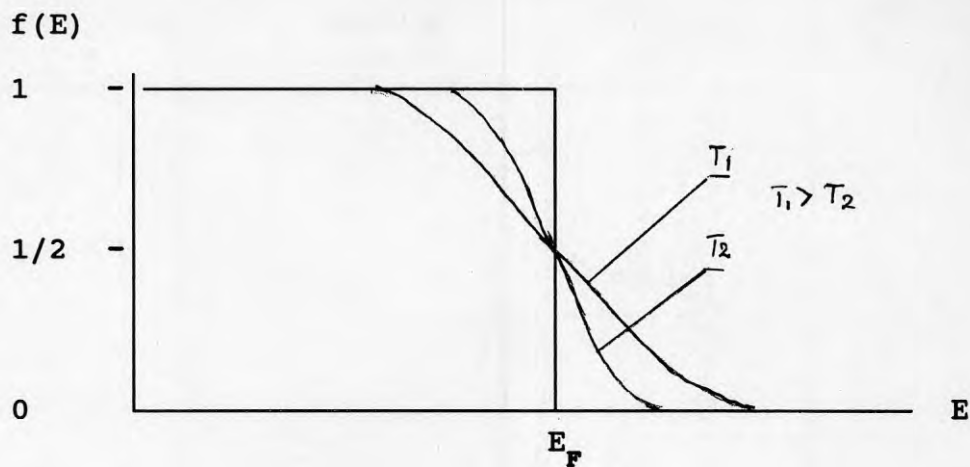
$$f(E) = \frac{1}{1 + e^{(E-E_F)/kT}}$$

$k$  är Boltzmanns konstant. Funktion  $f(E)$  ger sannolikheten att ett tillgängligt energitillstånd  $E$  är besatt av en elektron vid absoluta temperaturen  $T$ .  $E_F$  betecknar energin för Fermi-nivån. För  $E = E_F$  fås

$f(E) = \frac{1}{1+1} = 0,5$ . Vid Fermi-energin råder alltså lika

stor sannolikhet att nivån är besatt som obesatt av

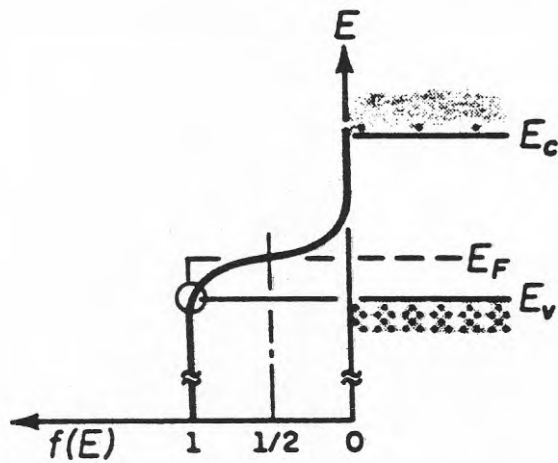
en elektron. Vid  $T = 0^\circ\text{K}$  råder sambandet att  $f(E) = 1$  för  $E < E_F$  och  $0$  för  $E > E_F$ .



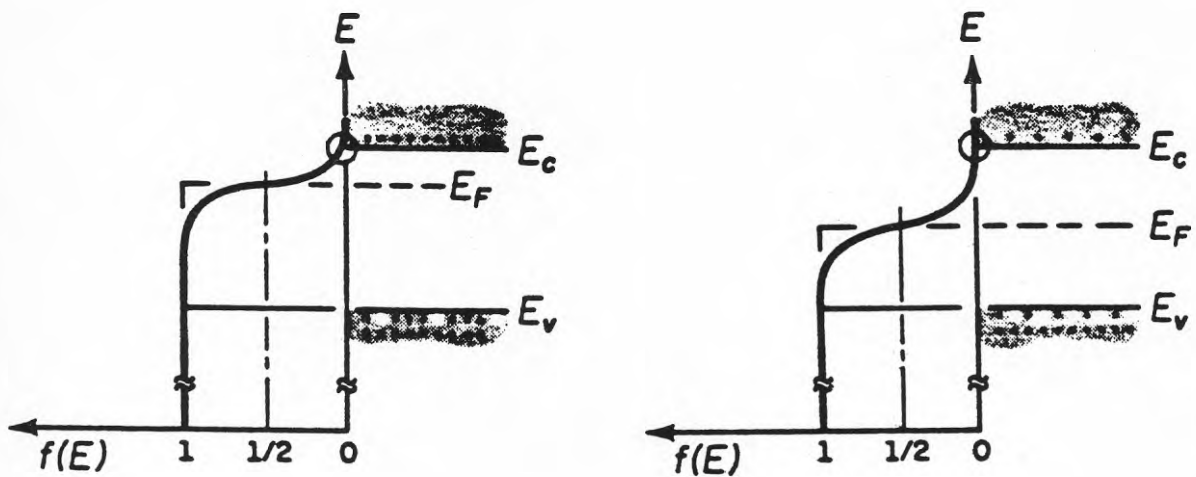
Figur 3.10:14. Fermi-Dirac funktionen

Härföljer att vid  $T = 0^0\text{K}$  alla energinivåer upp till  $E = E_F$  är fyllda med elektroner och alla ovanför denna nivå tomma. Vid andra temperaturer t ex  $T_1$  och  $T_2$  är det en viss sannolikhet  $f(E)$  att nivåer över  $E_F$  är fyllda och en motsvarande sannolikhet  $1 - f(E)$  att nivåer under  $E_F$  är tomma. Funktionen  $f(E)$  är symmetrisk kring  $E = E_F$  för alla temperaturer.

Följande figurer visar hur fördelningsfunktionen  $f(E)$  kan användas tillsammans med halvledares energinivådiagram för att illustrera antalet upptagna elektron- och hålnivåer i lednings- och valensbandet.



a) egenledning. Eftersom koncentrationen av hål i valensbandet är approximativt lik koncentrationen av elektroner i ledningsbandet kommer  $E_F$  att ligga i mitten av bandgapet, eller  $E_F \approx E_i$ .



b) halvledare av n-typ

c) halvledare av p-typ

Figur 3.10:15. Fermi-Dirac funktionen kopplad till bandschema

Eftersom  $f(E)$  är symmetrisk kring  $E_F$  kommer i fig. a den del av  $f(E)$  som sträcker sig förbi ledningsbandet att överensstämma med hålsannolikheten  $1 - f(E)$  vid valensbandet. Fördelningen  $f(E)$  antar också värden i bandgapets energiområde  $E_v$  till  $E_c$ , men här finns inga energinivåer som en elektron kan uppta. Sannolikheterna  $f(E_c)$  för elektroner och  $1 - f(E_v)$  för hål är mycket små. T ex gäller för Si vid  $300^\circ\text{K}$  att  $n_i = p_i \approx 10^{10}/\text{cm}^3$ , medan antalet tillgängliga nivåer är  $10^{19}/\text{cm}^3$ . Alltså är sannolikheten att en nivå i lednings- eller valensbandet skall vara upptagen mycket liten. Å andra sidan kan en liten ändring i  $f(E)$  ge upphov till signifikanta förändringar i bärarkoncentrationen.

Om koncentrationen av energinivåer är känd för lednings- och valensbandet kan motsvarande koncentrationer av elektroner och hål beräknas:

för elektroner i ledningsbandet fås:

$$n = \int_{E_c}^{\infty} f(E) N(E) dE$$

där  $N(E)dE$  är koncentrationer av tillgängliga energinivåer i energiområdet  $dE$ .

$N(E)$  kan beräknas kvantmekaniskt. Som tidigare nämnts brukar man reducera koncentrationen av tillgängliga energinivåer till bandkantsenergin  $E_c$ . Alltså blir elektronkoncentrationen i ledningsbandet lika med "effektiva" koncentrationen  $N_c$  vid  $E_c$  multiplicerad med sannolikheten av en upptagen nivå  $f(E_c)$  eller:

$$n = N_c f(E_c).$$

Om avståndet mellan Fermi-nivån och bandkanten  $E_c$  är av storleken flera gånger värdet av  $kT$ , kan  $f(E_c)$  uttryckas sålunda:

$$f(E_c) = \frac{1}{1 + e^{(E_c - E_F)/kT}} \approx e^{- (E_c - E_F)/kT}$$

Vid rumstemperatur är  $kT \approx 0,026$  eV.

Man får alltså för elektronkoncentrationen:

$$n = N_c \cdot e^{- (E_c - E_F)/kT}$$

För  $N_c$  går det att visa att följande uttryck gäller:

$$N_c = 2 \left( \frac{2\pi m_n^* kT}{h^2} \right)^{3/2}$$

$m^*$  = elektronens effektiva massa och  $h$  = Plancks konstant.

På samma sätt kan också visas att hålkoncentrationen blir:

$$P = N_v [1 - f(E_v)]$$

där  $N_v$  är "effektiva" hålkoncentrationen i valensbandet.

Sannolikheten att finna ett "hål" ("empty state") vid  $E_v$  är då:

$$1 - f(E_v) = 1 - \frac{1}{1 + e^{(E_v - E_F)/kT}} \approx e^{- (E_F - E_v)/kT}$$

om  $E_F$  skiljer sig från  $E_v$  med flera  $kT$ -värden.

Alltså fås: 
$$p = N_v e^{- (E_F - E_v)/kT}$$



Det går att visa att:

$$N_v = 2 \left( \frac{2\pi \cdot m_p^* kT}{h^2} \right)^{3/2}$$

Följande värden ger en uppfattning om värdena på den effektiva massan, vilken varierar med halvledarmaterialet:

$$m_n^* = 0,55 m_0 \text{ och } m_p^* = 0,37 m_0 \text{ i germanium (Ge)}$$

$$m_n^* = 1,1 m_0 \text{ och } m_p^* = 0,59 m_0 \text{ i kisel (Si)}$$

$m_0$  = fria elektronens vilomassa.

Det är mycket svårt att ur tredimensionella "vågfunktioner" teoretiskt beräkna de effektiva massorna, men de kan experimentellt bestämmas genom sk cyklotronresonans.

Bandgapet för Ge är 0.7eV och för Si 1.1 eV.

Med hjälp av de anförda formlerna kan man vid egenledning,  $E_F \approx E_i$  skriva:

$$n_i = N_c e^{-(E_c - E_i)/kT}; \quad p_i = N_v e^{-(E_i - E_v)/kT}$$

Vidare följer att produkten av n och p (elektron- och hålledare) i ett visst material vid temperatur T är:

$$p \cdot n = N_c N_v e^{-(E_c - E_v)/kT}$$

Men  $E_c - E_v = E_g$ , bandgapet

således:

$$p \cdot n = N_c N_v e^{-E_g/kT} = n_i p_i$$

Vid egenledning gäller, eftersom bärarna bildas i elektronhålpar (EHP).  $n_i = p_i$ , Ur föregående formel följer

$$n_i^2 = p_i^2 = N_c N_v e^{-E_g/kT}$$

$$\text{eller } n_i = p_i = \sqrt{N_c N_v} e^{-E_g/2kT}$$

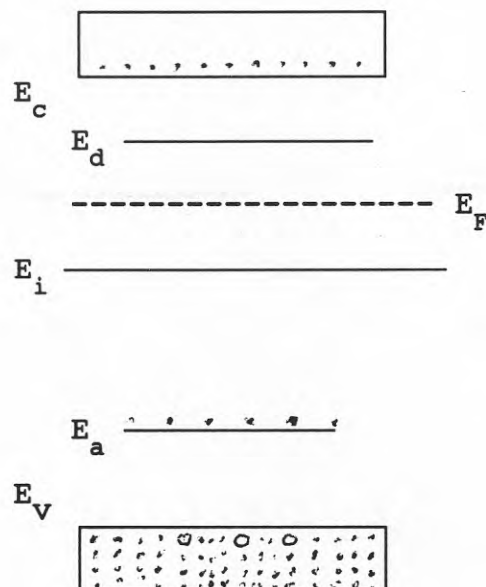
Man kan också skriva  $np = n_i^2$ , som utgör ett viktigt samband för halvledare.

Följande kan också härledas

$$n = n_i e^{(E_F - E_i)kT}$$

$$p = n_i e^{(E_i - E_F)kT}$$

Slutligen skall bara tilläggas att man vid beräkningar på ledningsförhållandena i halvledare måste ta hänsyn till dels rymdladdningsneutralitet, dels till vad som kallas för kompensation. Det senare kan förklaras med följande bild:



Figuren skall illustrera "kompensation" i en halvledare av n-typ ( $N_d > N_a$ ).

Figur 3.10:16. "Kompensation" i halvledare av n-typ ( $N_d > N_a$ )

I det föregående beskrevs halvledare med antingen donatordopning ( $N_d$ ) eller acceptordopning ( $N_a$ ). Men dopning av båda slagen samtidigt kan förekomma. Förut gällde antingen  $n = N_d$  ( $N_d$  = donatorkoncentration) eller  $p = N_a$  ( $N_a$  = acceptorkoncentration). I exemplet ovan är  $N_d > N_a$ , vilket ger en halvledare av n-typ med ferminivån närmare ledningsbandkanten. Då  $E_F$  ligger högt över  $E_a$ , (acceptornivån), är denna "fylld" med elektroner. Men eftersom  $E_F$  ligger ovanför  $E_i$  (se tidigare diagram med  $f(E)$ ), kan antalet "hål" i valensbandet ej motsvara antalet elektroner i  $E_a$ -nivån. I själva verket fylls  $E_a$  delvis med elektroner som "donerats" till ledningsbandet från donatornivån  $E_d$ . Man kan tänka sig följande förlopp. En elektron hämtas upp från valensbandet till acceptornivån,  $E_a$ . Det uppkomna "hålet" i valensbandet rekombineras sedan med en elektron från ledningsbandet. Vid en fullständig sådan process blir endast  $N_d - N_a$  elektronen kvar i ledningsbandet (noggrannare uttryckt: elektrontätheten =  $N_d - N_a$ ). Om  $N_a = N_d$  finns inga fler "donerade" elektroner kvar i ledningsbandet, d v s "kompensation" har uppnåtts. Då gäller  $n = p$ , alltså egenledning ("intrinsic semiconductor"). Skulle acceptordopning fortsätta bortom kompensation fås ett halvledarmaterial av p-typ med "håltätheten"  $N_a - N_d$ .  $N_a$  och  $N_d$  kallas något oegentligt för "föroreningar" (impurities); bättre är störatomer

Ett ytterligare villkor för tillståndet i halvledaren är att rymdladdningsneutralitet (antalet negativa laddningsbärare lika med antalet positiva laddningsbärare) skall råda.

Man har då:

$$p + N_d^+ = n + N_a^-$$

(donatorer och acceptorer joniseras genom avgivning respektive upptagning av en elektron). Förhållandet enligt föregående figur ger:

$$n = p + (N_d^+ - N_a^-)$$

Om  $n \gg p$  (n-typ) och total jonisering av  $N_d$ ,  $N_a$  råder, fås:

$$n \approx N_d - N_a$$

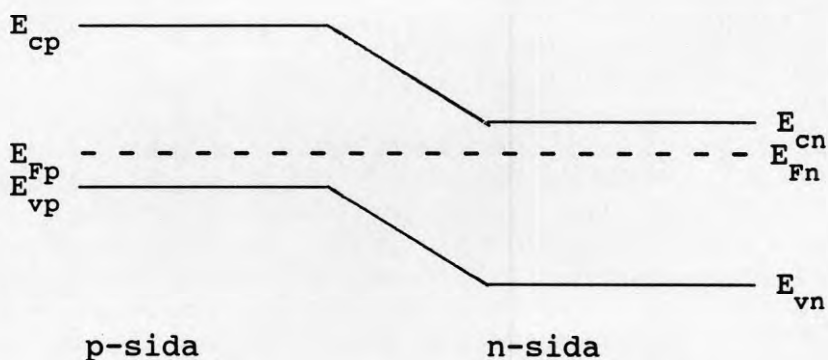
Eftersom en halvledare med endast egenledning (intrinsic) i sig själv är elektrostatiskt neutral och de indopade atomerna ( $N_d$ ,  $N_a$ ) också är neutrala måste vid jämvikt det första av de ovanstående sambanden råda. Detta sker genom att elektron- och hålkoncentrationen och läget av Fermi-nivån anpassar sig så att villkoret är uppfyllt.

Efter denna översiktliga genomgång av grundläggande halvledarteori blir det lättare att fortsätta beskrivningen av funktionen hos olika halvledartyper. Vi återgår till dioder med genombrott ("breakdown"-fenomen).

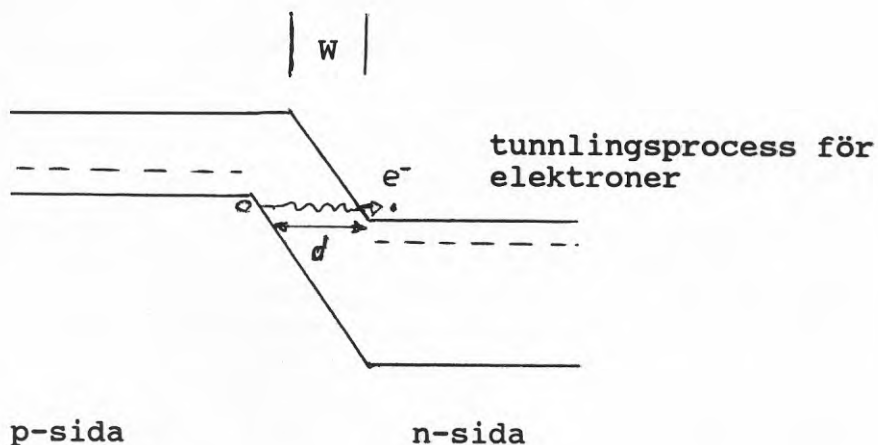
### Zenergenombrott

Fenomenen vid genombrott beror på dopningsgraden (koncentrationen av donatorer och/eller acceptorer).

Om en starkt dopad pn-övergång blir backspänd kommer energibanden att korsas varandra vid en tämligen låg spänning; se figuren nedan. Av denna framgår att det stora antalet obesatta nivåer på n-sidan kommer att ligga uppradade mot ett stort antal upptagna nivåer på p-sidan. Om barriären (skikt mellan de två områdena med en potential för att hindra laddningstransport mellan områdena) är tunn (storlek högst några tiotal Ångström;  $1\text{Å} = 10^{-10}\text{m}$ ) inträffar att elektroner kan genom en sk tunnleffekt passera barriären. Denna elektronström från p-sidans valensband till n-sidans ledningsband bildar en ström i bakriktning från n-sidan till p-sidan, vilket utgör den sk zenereffekten. Villkoren för att den skall inträffa och storleken av den beror på mängden elektroner på p-sidan och antalet "tomma" nivåer på n-sidan samt barriärens fysiska tjocklek och "höjd" (potentialskillnad). Det är viktigt att barriären metallurgiskt är skarpt avgränsad mellan skikten och dopningsgraden hög så att övergångsområdet  $W$  sträcker sig mycket lite ut från vardera sidan av övergången. I annat fall kan  $W$  bli för vidsträckt för att "tunnling" skall inträffa.

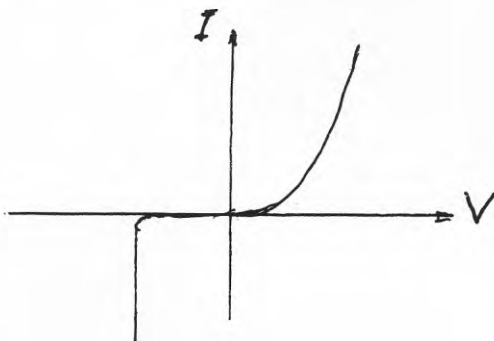


Figur 3.10.17 a).



Figur 3.10.17 b).

Figur 3.10.17 Zenereffekten. Fig a) visar en högdopad pn-övergång vid jämvikt, medan fig b) visar tillståndet vid pålagd backspänning med tunnelprocess för elektroner som följd.



Figur 3.10.18. Zenerdiodens I - V-karakteristik.

Avståndet  $d (< W)$  kan vara för stort för att "tunneling" skall uppstå i någon högre grad. Men  $d$  minskar med ökad backspänning. Detta förutsätter dock att övergångsområdet  $W$  ej ökar väsentligt vid höjd backspänning. Vid låga spänningar och hög dopningsgrad är detta sannolikt. Har emellertid zenergenombrottet inträffat efter höjning till några volt (den kan inträffa vid några tiondels volt) blir den andra effekten, avalanche-genombrottet, dominerande.

I en enkel modell med kovalenta kemiska bindningar, kan zenereffekten betraktas som sk fältjonisering av "värdatomen" vid övergången. Backspänningen åstadkommer i den högdopade övergången ett starkt elektriskt fält inom  $W$ -området. När en kritisk fältstyrka uppnås slits en del elektroner av dem som bildar de kovalenta bindningarna loss och accelereras "över" till n-sidan. Detta kräver en elektrisk fältstyrka av storleksordningen  $10^8$  V/m.

### Avalanche breakdown (lavingenombrott)

Avalanche kan uppfattas ungefär som "strömrusning", d v s en oreglerad ökning av strömmen; man får en multipel laddningsbärandebildning.

Tunneleffekten uppträder ej i svagt dopade övergångs-  
ar. I stället uppstår genombrott till följd av att  
bärare med hög energi åstadkommer "stötjonisering"  
(impact ionization) av "värdatomerna". Vanlig "git-  
terspridning" (bärare växelverkar med gitteratomerna)  
kan resultera i elektron-hålparbildning (EHP) om den  
interaktiva bäraren har tillräckligt hög energi.  
Exempelvis kan, om det elektriska fältet i övergångs-  
området är tillräckligt högt, en elektron som kommer  
in i övergången från p-sidan accelerera upp till en  
energi som, när elektronen "kolliderar" med gittret,  
åstadkommer jonisering. Förloppet visas i följande  
figur. En enstaka sådan växelverkan kan resultera i  
laddningsbärandemultiplicering. Den ursprungliga  
elektronen såväl som den som frigörs vid jonisering  
"förs" över till n-sidan av övergången, medan det  
bildade hålet "går" till p-sidan. Multipliceringsgra-  
den kan nå stora värden om även bärare som bildas i  
övergångsområdet åstadkommer jonisering av gitter-  
atomer. T ex kan den inkommande elektronen ge upphov  
till EHP, båda bildade bärarna åstadkomma EHP, liksom  
nästa par o s v. Detta kallas för "avalanche-process".

Det kan vara intressant att bilda sig en uppfattning  
av multipliceringsgraden M. Följande överläggning kan  
göras.

Man antar att bärare av vardera slaget kommer att med  
sannolikhet P kollidera med gittret med jonisering  
som följd och själv accelereras sträckan W genom  
övergångsområdet. För  $n_{in}$  elektroner som kommer in i  
övergångsområdet fås  $P \cdot n_{in}$  sammanstötningar med ett  
EHP (d v s sekundära bärare) varje gång p g a joni-  
sering. Därefter finns  $n_{in}(1 + P)$  elektroner. De  
erhållna  $n_{in} \cdot P$  elektronerna kan själva jonisera med  
samma sannolikhet och bilda  $n_{in} \cdot P^2$  nya EHP och  
dessa i sin tur  $n_{in} \cdot P^3$ . Summeras alla bildade plus  
de ursprungliga  $n_{in}$  fås (hålen rör sig mot p-området  
medan elektronerna träder in i n-området):

$$n_{ut} = n_{in} (1 + P + P^2 + P^3 + \dots) = n_{in} \frac{1}{1-P}$$

Således ger denna överläggning:  $M = \frac{n_{ut}}{n_{in}} = \frac{1}{1 - P}$

När  $P$  närmar sig värdet 1 fås en lavinartad ökning (avalanche) av antalet bärare. Denna kommer dock att begränsas av den yttre kretsen. Hur  $P$  beror på övergångsområdets sammansättning är svårare att härleda. Sannolikheten ökar dock av fysikaliska skäl med den elektriska fältstyrkan  $\bar{E}$  i övergången. Fältstyrkan beror på backspänningen och dopningstätheten i  $W$ -området. Den kritiska genombrottsspänningen  $V_{br}$  är lättare att relatera till materialparametrarna. För EHP-bildning måste elektronen tillföras en energi lika med bandgapet  $E_g$  när den accelereras av fältet under en fri medelväglängd  $\bar{l}$  (avståndet mellan sammanstötningar).

Detta ger ett samband:

$$q \cdot \bar{E} \cdot \bar{l} = E_g \text{ eller } \bar{E}_{br} = \frac{E_g}{q \cdot \bar{l}}, \text{ där } q = \text{elektronladdningen.}$$

Om energin blir högre än  $E_g$  före sammanstötning överförs överskottsenergi till gittret i form av värme. Eftersom det elektriska fältet varierar inom övergångsområdet sker beräkning för fältets maximala värde. Man kan visa att följande uttryck härvid fås för genombrottsspänningen,  $V_{br}$ :

$$V_{br} = \frac{E_g^2 \cdot \epsilon}{2q^3 \cdot \bar{l}^2} \left( \frac{1}{N_a} + \frac{1}{N_d} \right); \epsilon = \text{dielektricitetskonstant}$$

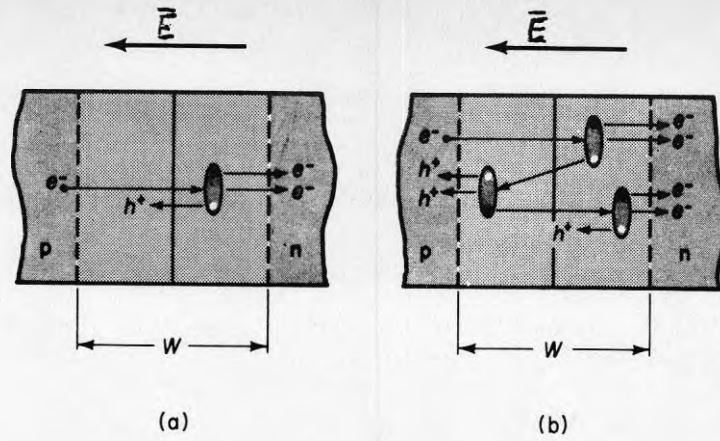
Detta ger vid handen att  $V_{br}$  beror på bandgapet  $E_g$  och av dopningsgraderna, mest på den för den svagast dopade sidan av pn-övergången.

Mätningar av  $M$  i övergångar vid spänningar nära  $V_{br}$  ger den empiriska relationen:

$$M = \frac{1}{1 - (V/V_{br})^n}$$

där  $n$  varierar ungefär från 3 till 6 för olika material.

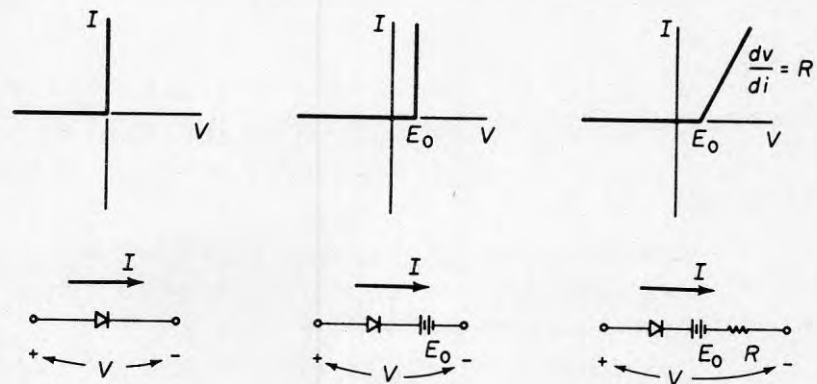




Figur 3.10:19. EHP-bildning genom stötjonisering

- a) Enstaka jonisering genom inkommande elektron
- b) Stötjonisering i tre steg: primär, sekundär och tertiär

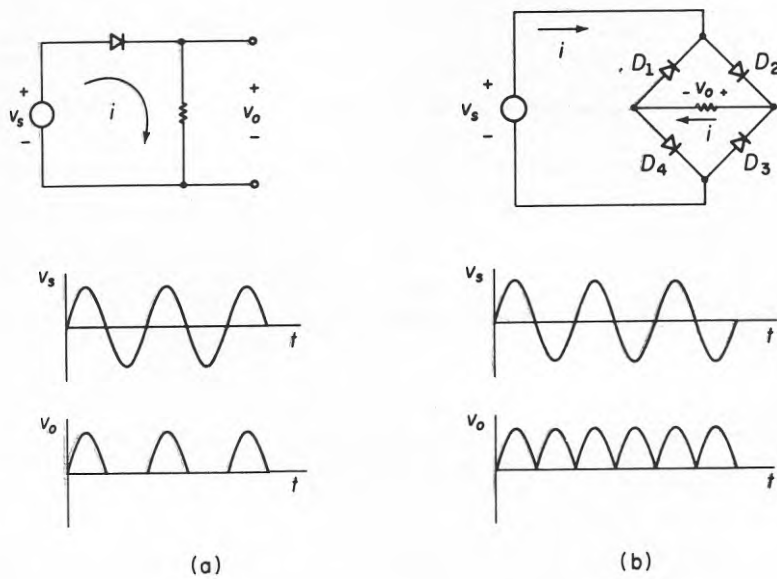
Följande figurer visar översiktligt hur en pn-övergång, säg pn-diod, fungerar som elektriskt krets-element.



Figur 3.10:20. Stegvis linjäriserade karakteristikor för pn-dioder

Figurerna visar stegvis linjäriserade karakteristikor av pn-dioder. Fig. a representerar en ideal diod, fig. b diod med s k offsetspänning,  $E_0$ , och fig. c samma men med ett seriemotstånd,  $R$ . Offsetspänningen kommer från att dioden är förspänd i framriktningen och kan approximeras med en batterispänning  $E_0$ .

Nedanstående figurer visar pn-dioden som likriktare av växelströmmar. I sådant sammanhang bör den ha en så nära ideal karaktäristisk som möjligt!



Figur 3.10:21. pn-dioden som likriktare av växelström

a) Halvvågslikriktning

b) Helvågslikriktning genom bryggkoppling

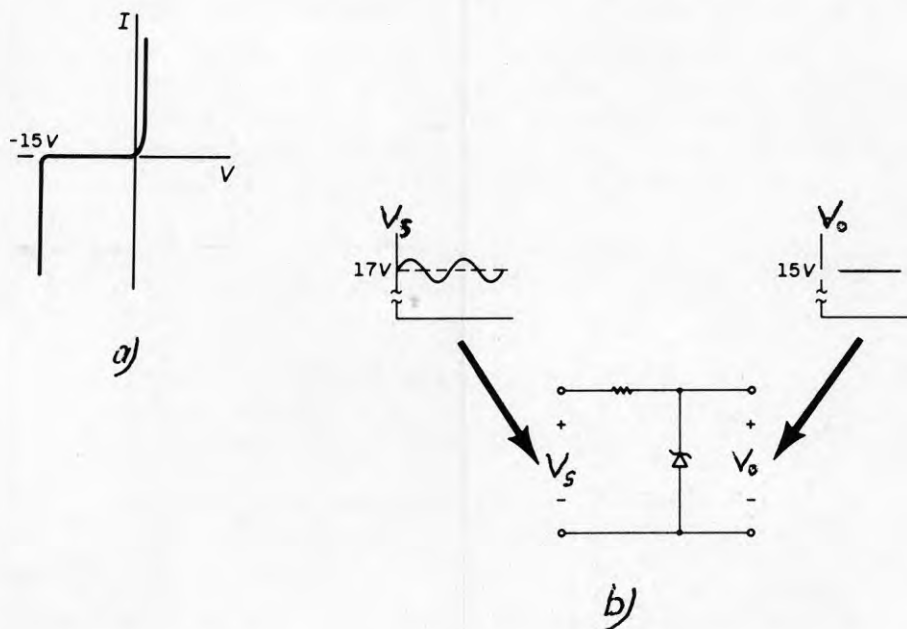
Efter dessa förklarande utvecklingar är det lättare att förstå hur en diod fungerar vid lavingenombrott ("avalanche diode").

Här får också tilläggas att en pn-övergång också besitter en kapacitansverkan. Denna beror dels på att det uppkommer en dipol i ingången p g a separation av laddningsbärare, dels på den eftersläpning som spänningen över övergången får i förhållande till strömmen genom laddningsansamling i övergången. Båda dessa kapacitanser är viktiga och måste medräknas vid tillämpning av pn-komponenter för tidsvariabla förlopp. Dipolverkan är dominerande i backspänt läge medan den andra kapacitansverkan överväger i framspänt läge. Dessa kapacitanser är spänningsberoende varför kapacitansen för en pn-övergång skrivs

$$C = \left| \frac{dQ}{dV} \right|$$

Som tidigare framhållits vid beskrivning av zener-effekten kan genombrottsspänningen för en pn-övergång styras genom dopningsgraden. Zener-effekten inträder vid hög dopningsgrad, medan den vanligare effekten, lavingenombrott ("avalanche breakdown"), hör samman med en låg dopningsgrad. Fenomenet bygger på den beskrivna stötjoniseringsprocessen. Genombrottet kan genom variation av dopningsgraden erhållas vid en volt eller flera hundra volt! I en välkonstruerad lavindiod blir genombrottet distinkt, och strömmen efter dioden är oberoende av spänningen. Tyvärr kallas p g a misstag beträffande genombrottsmekanismen också dessa dioder för zenerdioder.

Följande figurer visar hur lavindioden fungerar elektriskt i en krets, med varierande ingångsspänning. Spänningsreglering.



Figur 3.10:22. Spänningsreglering med lavindiod

- a) Karakteristik för lavindiod
- b) Spänningsreglering

### Variacs

Den med pålagd spänning variabla kapacitansen hos en pn-övergång kan utnyttjas för reglerändamål. Det kan visas att för en sk abrupt pn- övergång kapacitansen följer uttrycket

$$C_j \sim (V_0 - v)^{-\frac{1}{2}} \text{ där } V_0 = \text{barriärspänningens viloläge}$$

I en "graderad" (successivt förändrad dopningsgrad) gäller

$$C_j \sim V_r^{-n} \text{ om } V_r \gg V_0; V_r = \text{backspänning}$$

Vid linjär gradering är  $n = 1/3$ .

Om  $V_r$  håller konstant fås ett konstant kapacitansvärde. Vanligare är att man använder variacen för att variera en viss kapacitans t ex vid avstämning av en radiomottagare. Andra tillämpningar av variacen är generering av övertoner, frekvensmultiplicering i mikrovågsområdet och aktiva filter.

Man använder gärna variacs med "abrupt" pn-övergång eftersom kapacitansen då är högre än vid graderad. Sådana åstadkoms vanligen genom legeringsteknik eller epitaxiell tillväxtteknik. Det epitaxiella lagret och motsvarande substrats dopningsprofil kan utformas så att exponenten  $n$  får ett värde större än  $1/2$ . Motsvarande övergång kallas "hyperabrupt övergång".

I följande figur är p-området högdopat,  $p^+$ -n, så att utarmningsområdet,  $W$  ("depletion layer"), huvudsakligen omfattar en del av n-sidan, vars dopningsprofil  $N_d(x)$  följer uttrycket  $G \cdot X^m$ , där  $m$  antar värdena  $0, 1$  eller  $-3/2$ .  $X$  är den linjära geometriska variabeln.

Det går att visa att exponenten  $n$  i uttrycket för kapacitansen

$$C \sim V_r^{-n}$$

är  $1/(m+2)$  för en  $p^+$ -n-övergång. Därav följer att  $n = 1/2$  för abrupt övergång och  $1/3$  för linjär. Fallet med hyperabrupt övergång  $m = -3/2$  är särskilt intressant för en del variactillämpningar, eftersom för motsvarande  $n = 2$  kapacitansen är proportionell med  $V_r^{-2}$ . Om en sådan kapacitans användes med en induktor  $L$  i en resonans krets, varierar nämligen resonansfrekvensen linjärt med spänningen över varistorn. Man har:

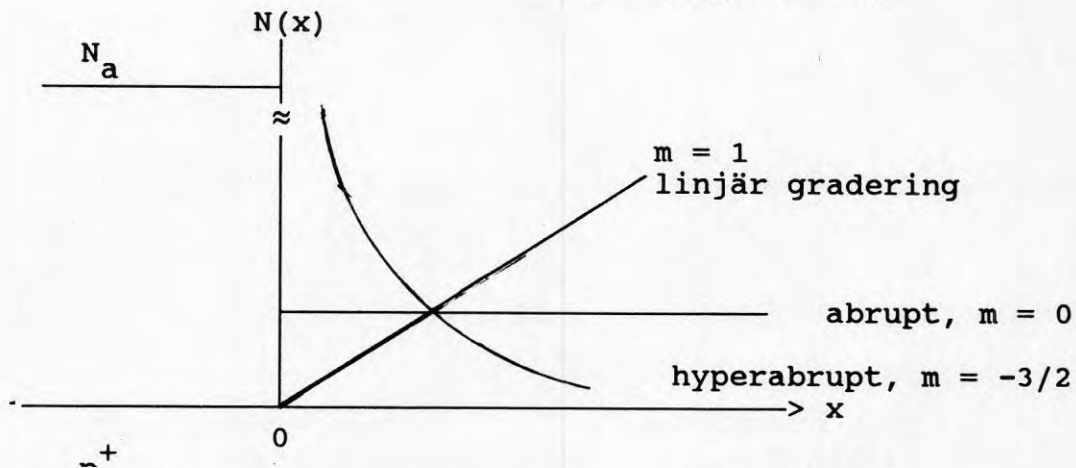
$$\omega_r = \frac{1}{\sqrt{LC}} \frac{1}{\sqrt{V_r^{-n}}} \approx V_r, \text{ om } n = 2$$

Många andra tillämpningar finns, som åstadkoms genom att variera dopningsprofilen. Vid högfrekvenstillämpningen utnyttjas kapacitanser från laddningslagring vid framspänd övergång.

### Dopningsprofiler

p<sup>+</sup> -side:  $N = N_a$

n -side:  $N = Gx^m$



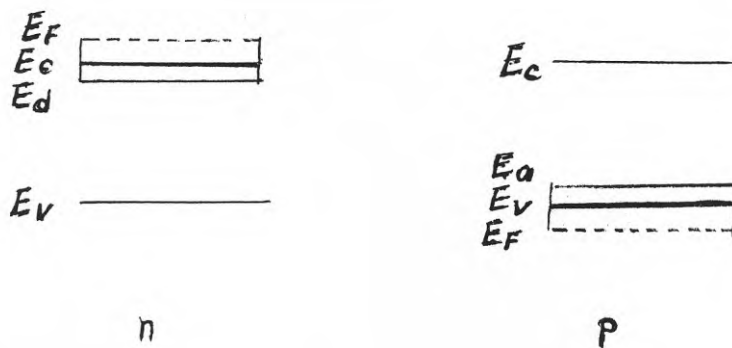
Figur 3.10:23. Dopningsprofiler i en graderad pn-övergång

Linjärt graderad, abrupt hyperabrupt.

### **Tunneldioden**

Tunneleffekten vid elektronövergång vid potentialbarriärer har vidrörts tidigare. Den betraktas som en kvantmekanisk effekt då den kan förklaras med hjälp av de "vågfunktioner" som tillskrivs en elektron enligt kvantmekaniken. De pn-övergångar som möjliggör "tunnling" genom potentialbarriären kallas tunneldioder. Deras I-V-karakteristik uppvisar i vissa delar en negativ resistans. Dioden benämnes också Esakidioden efter den japanske forskare som först påvisade effekten. Dioden används i många tillämpningar som "snabb switching" och logiska kretsar. Liksom vid zenerdioden är tunneldioden högdopad men så kraftigt att även dopämnena ("föroreningarna") deltar direkt i ledningsprocessen. Vid svaga dopningsgrader är donatorer och acceptorer så spridda i gittren att ingen laddningstransport kan ske inom själva dopningsnivåerna. Om dopningsgraden blir av storleksordningen  $10^{20}$  donatorer/cm<sup>3</sup> börjar de växelverka med varandra.

Detta kan igen förklaras kvantmekaniskt genom deras "vågfunktioner" som överlappar. Motsvarande donator-nivåer är ej längre diskreta utan utgör ett band som kan sträcka sig in över kanten av ledningsbandet. Om koncentrationen av elektroner i ledningsbandet är större än koncentrationen  $N_c$  av "positioner" (energilägen) flyttas ferminivån upp i ledningsbandet. Man säger att det föreligger en degenererad typ av halvledarematerial. På liknande sätt flyttas Ferminivån ned i valensbandet om koncentration av acceptorer är mycket hög. De följande figurerna beskriver dessa förhållanden.



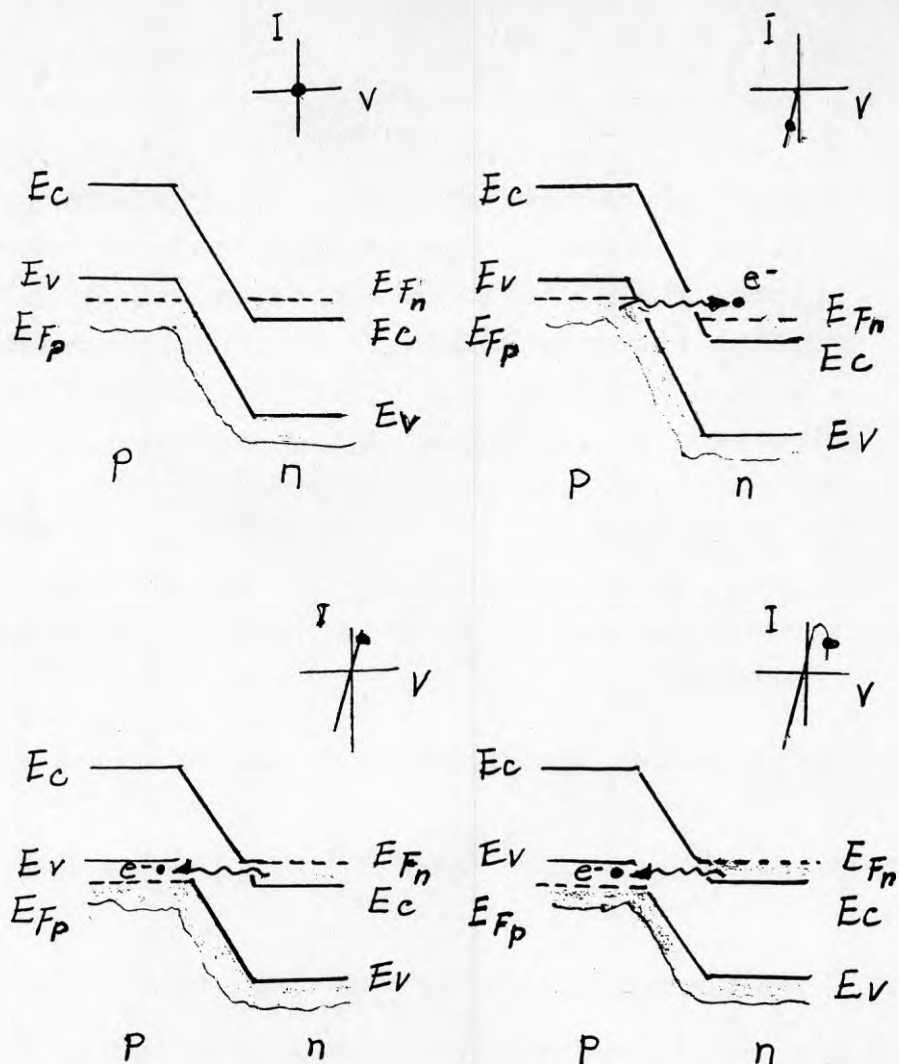
Degenererad n-typ-  
halvledare

Degenererad p-typ-  
halvledare

Figur 3.10:24. Bandstrukturer för s k degenererade halvledare med dopningsnivåer som sprids ut till band.

Följande figurer visar energibandsscheman och I-V karakteristikor för tunneldioder vid olika former av för- och backspänning. Man får komma ihåg att förutsättning för tunneleffekt är, som förut beskrivits att fyllda energitillstånd befinner sig mitt emot ej upptagna (empty states) och i princip skilda av ett "utarmningsområde" (depletion region) som uppstår redan vid en liten förspänning eller backspänning.

Vid jämvikt, ingen pålagd spänning, sker tunnelgenomgång från n till p i samma grad som från p till n, och resulterande effekten blir noll, ingen ström.



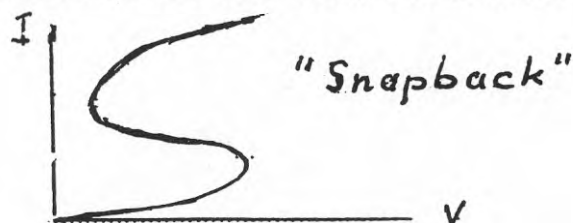
Figur 3.10:25. Energibandscheman och I-V karakteristika för tunneldioder

Figurerna visar energibandscheman och I-V-karakteristika för tunneldiod. I fig a råder jämvikt, ingen pålagd spänning, ingen tunnelström; fig b ger resultatet vid låg backspänning, tunnelgenomgång av elektroner från p till n; av fig c framgår hur huvudprocessen med elektroner sker från n till p vid en liten framspänning, medan fig d visar hur tunnelprocessen avtar när energibanden "passerar" varandra vid ökad framspänning.

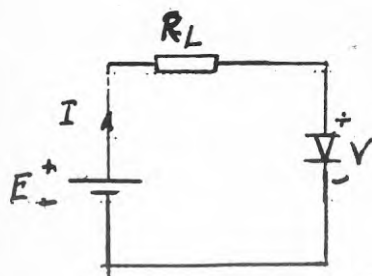
Slutligen visas några typiska tunneldiodkarakteristika och enkla kopplingar med tunneldiod.

Figuren visar fullständig tunneldiodkaraktistik. P g a formen kallas den "typ N negativ resistans", men även "spänningskontrollerad negativ resistans", vilket innebär att strömmen faller snabbt vid någon kritisk spänning, t ex toppspänningen  $V_p$  räknad vid punkten för maximal tunnelprocess vid framspänd diod. Värdena av toppströmmen  $I_p$  på tunnelprocessen och strömmen i "svackan"  $I_v$  ("valley current") bestämmer storleken på lutningen, d v s negativa resistansen, för en tunneldiod av visst material. Därför används förhållande  $I_p/I_v$  som ett "godhetstal" för tunneldioden. Genom kvoten  $V_p/V_f$  fås ett mått på spännings-spridningen mellan de båda områdena med positiv resistans.

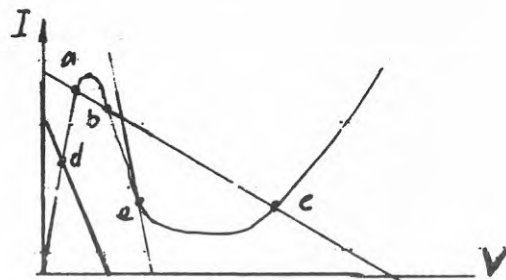
Andra former för tunneldiodkaraktistika visas:



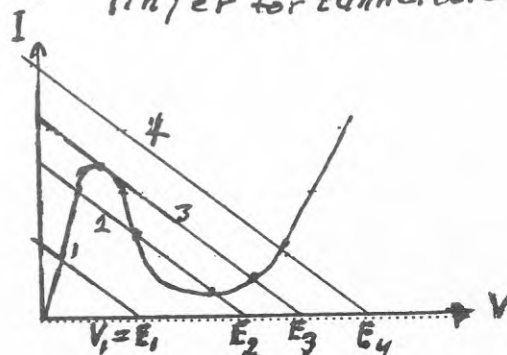
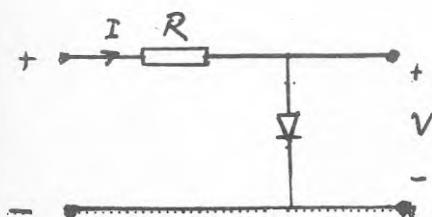
Figur 3.10:27. Typ S tunneldiodkaraktistik



Kretschema för användning av tunneldiod



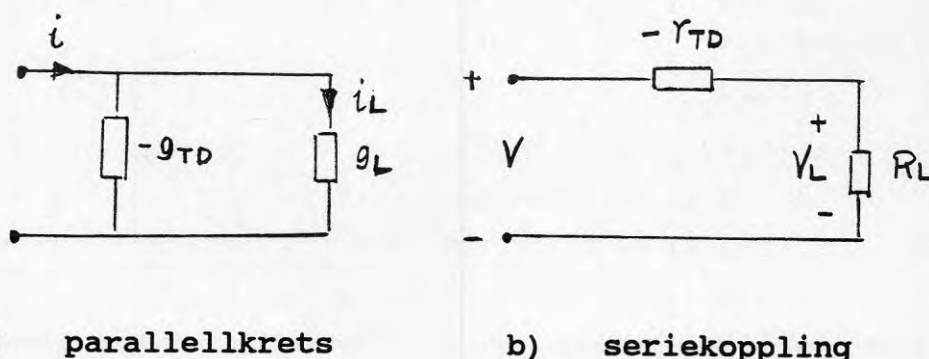
Tre slag av belastningslinjer för tunneldiod.



Figur 3.10:28. Tunneldioden som tröskeldetektor. Kopplingscheman och karaktistik



Om tunneldioden ges en förspänning så att arbetspunkten ligger inom området med negativ resistans (punkt e i figuren med tre belastningslinjer), kan den användas till växelströmsförstärkning. Se följande figurer. Arbetspunkten ger växelströmsimpedansen för en ström  $i$ . Dioden representeras genom den negativa resistansen.



Figur 3.10:29. Tunneldioden som växelströmsförstärkare

Förstärkningen enl fig a:

$$A_i = \frac{i_L}{i} = \frac{g_L}{g_L - g_{TD}} \quad \text{detta förutsätter } g_L > g_{TD} \text{ för stabilitet.}$$

Förstärkning enligt fig b:

$$A_V = \frac{V_L}{V} = \frac{R_L}{R_L - r_{TD}} = \frac{1}{1 - r_{TD}/R_L}$$

### Ljuskänsliga halvledare, lysdioder och lasrar

#### Fotodioder

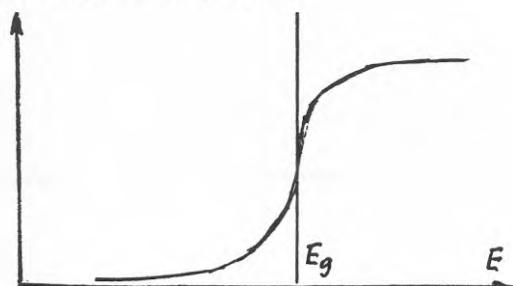
Komponenter och kretsar som ändrar sina egenskaper (parametrar) vid belysning finner stor tillämpning i reglersystem. Detta gäller särskilt tillämpningar av belysning efter solljusets variationer. Exponeringsmätare för kameror är ett annat exempel.

De gamla kända fotocellerna använder en ljusstråle mot en cell med ljuskänslig beläggning (selen) som ger ström. När strålen bryts, bryts strömmen. Används t ex för reglering av rulltrappor, dörröppnare, passage av produkt i en produktlina m m. Fotocellen kan ersättas av ljuskänsliga halvledare. Stöldalarm är ytterligare ett exempel liksom rökdetektor eller optiska signalsystem. Ljuskänsligheten kan variera med våglängden. Snabbheten i respons är en viktig parameter.

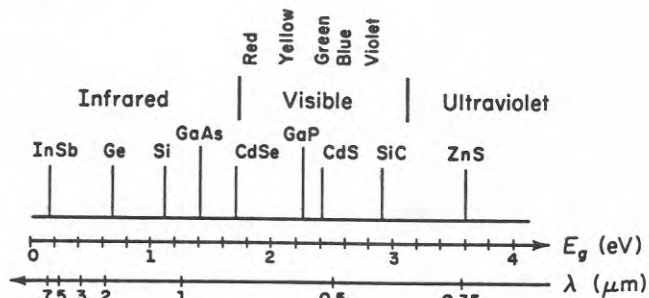
I regel är halvledarna mest känsliga för fotoner med energi lika med eller strax över bandgapsenergin. Lägre energier absorberas ej och högre energier absorberas i ytan av halvledaren. Nedan visas absorptionsförhållanden och bandgap för ljuskänsliga material.

Figur 3.10:30.

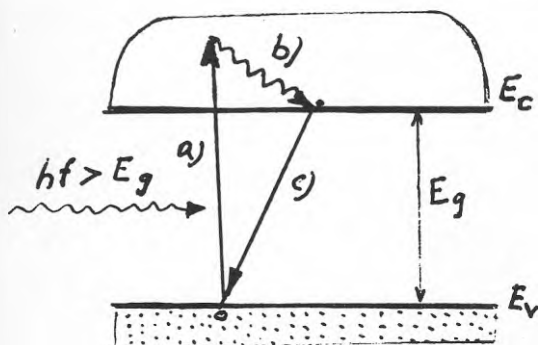
absorptionsgrad



Formen för halvledares optiska absorptionskurva



Bandgap och motsvarande våglängd för ljuskänsliga halvledare



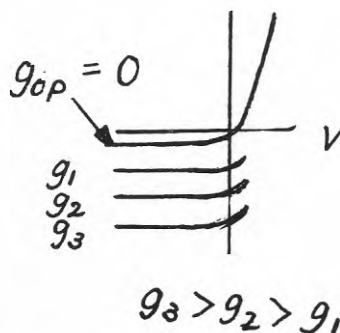
Figur 3.10:31.

Optisk absorption av foton med  $hf > E_g$ 

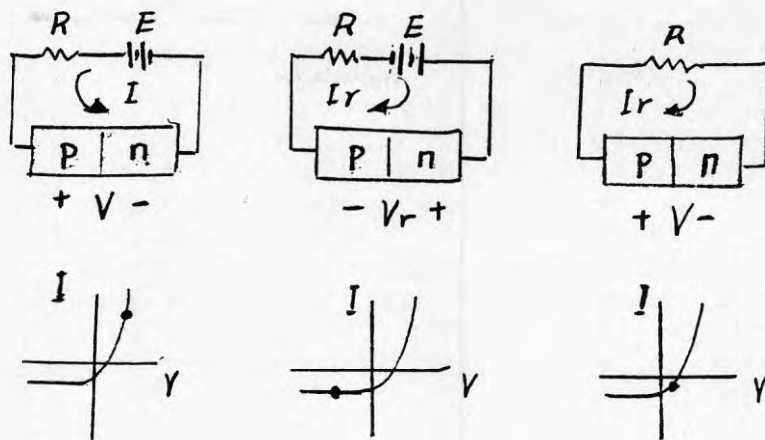
- Absorption av fotonen leder till EHP
- Elektronens överskottsenergi upp-tas av gittret
- Elektronen rekombinerar med ett hål i valensbandet.

Genom optisk absorption och excitering ökar antalet laddningsbärare i en halvledare och ledningsförmågan ökar. Detta kallas fotokonduktivitet (konduktivitet = ledningsförmåga). Processen reduceras genom rekombination av hål och elektroner. Genom dopning kan s k störnivåer införas i bandgapet vilket förbättrar fotokonduktiviteten.

Om en pn-övergång belyses fås en ökad EHP-bildning som kan representeras av en faktor  $g_{op}/\text{cm}^3 \cdot \text{sek}$ , se diagram:



Figur 3.10:32. I-V-karakteristik för belyst pn-övergång



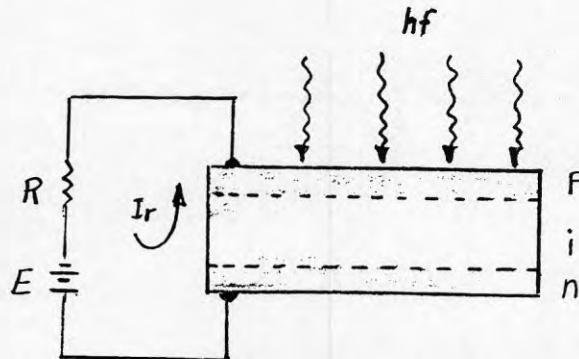
Figur 3.10:33. Den belysta pn-övergångens arbetsmoder

Hur en belyst pn-övergång fungerar i de olika kvadranterna av sin I-V-karakteristik: a) och b) Energi matas till övergången från yttre källa. c) Övergången tillför yttre belastningen energi.

### Fotodetektor

När fotodioden arbetar i tredje kvadranten av sin I-V-karakteristik (fall b i föregående figur) är strömmen nästan oberoende av spänningen  $V$  men varierar med belyningsstyrkan. Tillämpningar är t ex mätning av belyningsstyrka och omvandling av tidsvarierande optiska signaler till elektriska signaler.

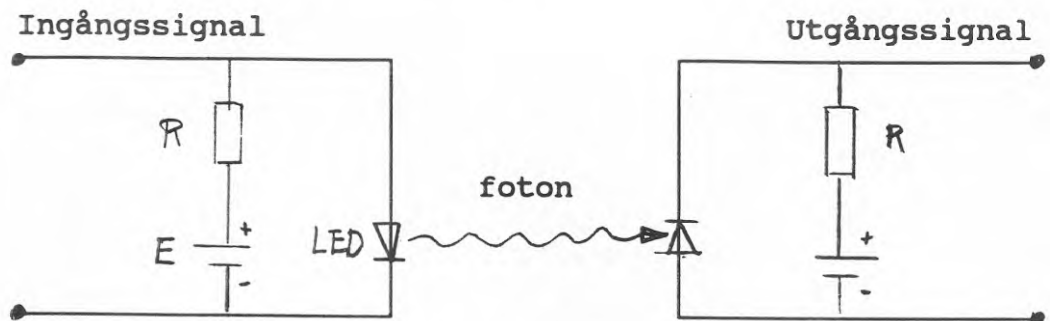
En för optisk kommunikation viktig komponent är den sk p-i-n-fotodioden. Uppbyggnad och funktion enligt nedan. Det inlagda "i-skiktet", som har, om inte helt egenledning, hög resistans, förbättrar detektorns "responstid" i väsentlig grad. Detektorn är backspänd.



Figur 3.10:34. Uppbyggnad och funktion av p-i-n diod

### Lysdiod

Tidigare har ej nämnts att man skiljer mellan direkta och indirekta halvledare. Övergången i bandgapet hos en indirekt halvledare, t ex Si och Ge sker via en störnivå, medan hos direkta, t ex GaAs, övergången sker utan mellannivå. Vid EHP-bildning av förra slagget frigörs värme, medan i senare fallet en foton lämnar halvledaren; man har en s k lysdiod (LED = light emitting diode). Ljuset från en sådan kan användas för signalöverföring enligt följande:

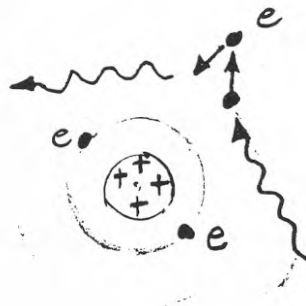


Figur 3.10:35. Lysdiod och dess samverkan med fotodiod

### Laser

Slutligen skall nämnas ytterligare en process som kan försiggå i en halvledare med fotonalstring som följd.

Denna bygger på excitering av en elektron hos en atom. Atomen består ju av en positivt laddad kärna omgiven av ett antal elektroner i olika banor. Laddningsneutralitet råder normalt. En elektron kan exciteras enligt figuren. Skulle energin vara tillräcklig lämnar den atomen, som joniseras, dvs, blir ett positivt hål (ett "empty state").

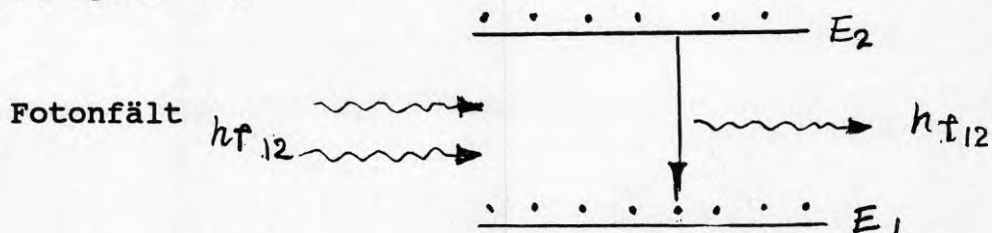


Positivt laddad kärna med protonen och neutronen

Foton, som exciterar elektron till en högre bana (energinivå). Läget är emellertid labilt och elektronen återgår snart till den lägre nivån under utsändande av en foton = energinivåskillnaden

Figur 3.10:36. Excitering av en atom

Excitering av en elektron genom en foton med återgång i fotonfältet under utsändning av ny foton kallas "stimulerad emission". Denna utnyttjas i en LASER (=Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation). Stimulerad innebär att deexciteringen, återsändningen, av en foton stimuleras av likadana fotoner som absorberas vid exciteringen. Det finns olika slag av lasrar, gaslasrar och halvledarlasrar t ex. Vi skall beröra den senare, då den spelar stor roll i dag i optisk kommunikation. Allmänt gäller enligt nedan:



Figur 3.10:37. Stimulerad emission

Utan att tillgripa kvantmekanik kan följande överläggning för den stimulerade emissionen göras. De utsända fotonerna har samma energi  $hf = E_2 - E_1$ , de är monokromatiska, och är i fas inbördes och med den infallande strålningen, koherent strålning. Det går då att bygga upp ett starkt strålfält. Man kan med den s k Boltzmanns fördelningslag ange population  $n_1$  vid energinivå  $E_1$  sålunda:

$$n_1 \sim e^{-E_1/kT} \quad \begin{array}{l} k = \text{Boltzmanns konstant} \\ T = \text{absolut temperatur} \end{array}$$

Alltså blir relativa populationen i de två energinivåerna vid termisk jämvikt:

$$\frac{n_2}{n_1} = e^{-(E_2 - E_1)/kT} = e^{-h \cdot f_{12}/kT}$$

Detta gäller under förutsättning att antalet möjliga "platser" i de båda nivåerna är lika. På grund av minustecknet i exponenten har man:  $n_2 \ll n_1$  vid jämvikt. Påläggs ett fotonfält med fotonenergin  $hf_{12}$  inträder absorption och stimulerad emission jämte "spontan" emission. Intensiteten i den stimulerade emissionen är proportionell mot  $n_2$  och  $r(hf_{12})$ . Man skriver intensiteten:

$$B_{21} r(hf_{12}) \cdot n_2 \quad \begin{array}{l} B_{21} = \text{proportionalitetskonstant} \\ r(hf_{12}) = \text{energitäthet} \end{array}$$

På samma sätt kan intensiteten i absorption av fotoner i  $E_1$ -nivån skrivas:

$$B_{12} r(hf_{12}) \cdot n_1 \quad B_{12} = \text{prop:konstant för absorption}$$

Intensiteten i den spontana emissionen kan skrivas:

$$A_{21} \cdot n_2$$

I jämvikt måste emission och absorption vara lika:

$$B_{12} r(hf_{12}) \cdot n_1 = B_{21} r(hf_{12}) \cdot n_2 + A_{21} \cdot n_2$$

Absorption            stimulerad emission            spontan emission

Denna relation har ställts upp av Einstein, och de ingående koefficienterna benämns också Einstein-koefficienter. Den spontana emissionen är oberoende av energitätheten  $r(hf_{12})$ . Däremot kräver absorptionen energi p g a excitering till en högre nivå. Vid termisk jämvikt är förhållandet stimulerad emission till spontan liten, och den förra kan försummas.

$$\frac{\text{Stimulerad emission}}{\text{Spontan emission}} = \frac{B_{21} \cdot n_2 r(hf_{12})}{A_{21} \cdot n_2} = \frac{B_{21} \cdot r(hf_{12})}{A_{21}}$$

Detta visar att en ökad stimulerad emission kräver en hög energitäthet  $r(hf_{12})$ . Detta uppnår man i lasrar genom att införa en sk optisk resonanskavititet, som åstadkommer en hög fotontäthet genom upprepade inre reflexioner vid vissa frekvenser ( $f$ ).

På samma sätt har man:

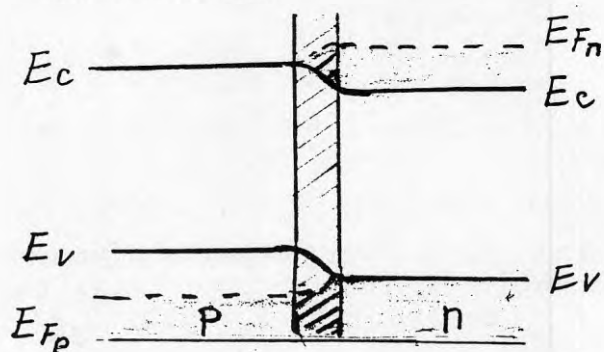
$$\frac{\text{Stimulerad emission}}{\text{Absorption}} = \frac{B_{21} \cdot n_2 \cdot r(hf_{12})}{B_{12} \cdot n_1 \cdot r(hf_{12})} = \frac{B_{21}}{B_{12}} \cdot \frac{n_2}{n_1}$$

För att stimulerad emission skall överväga krävs  $n_2 > n_1$ . Men i termisk jämvikt råder som tidigare framhållits  $n_2 \ll n_1$ . Man måste alltså söka öka  $n_2$  på något sätt. Förhållandet  $n_2 > n_1$  kallas "inverterad population" ("population inversion"). Detta kräver speciella arrangemang. Förhållandet i halvledarlaser skall beröras. Man utnyttjar grupp III-V-halvledare (GaAs,

InP osv). Ljusutsändning från pn-övergångar p g a spontan rekombination av elektroner och hål som injicerats genom övergången bildar inkoherent ljus.

### Halvledarlaser

Fördelen med halvledarlaser är att de är små, storleksordning  $0,1 \cdot 0,1 \cdot 0,4$  mm. De har hög verkningsgrad och utgångsstrålningen kan lätt moduleras med strömmen genom pn-övergången. De arbetar vid låga effekter. Hur åstadkoms då den nödvändiga inverterade populationen i dessa lasrar? Vi betraktar följande pn-övergång:



Banddiagram för en framspänd p-n-laser. Det snedstreckade partiet utgör området för inversion.

Figur 3.10:38. Banddiagram för en framspänd pn-laser

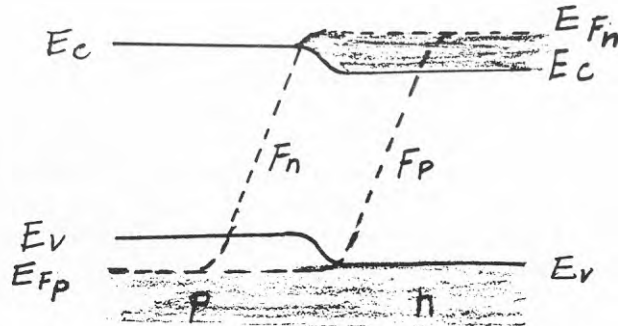
Om framspänningen är tillräckligt hög injiceras elektroner och hål in i och genom övergångsområdet i hög grad. Därigenom är området vid övergången långt ifrån utarmat på laddningsbärare. I det degenererade (se tidigare) materialet har ledningsbandet hög elektrontäthet liksom valensbandet har hög håltäthet. Om tätheterna är tillräckligt höga inträffar ett tillstånd av inversion, och området kring övergången där detta sker kallas ett inversionsområde.

För att beskriva förhållandena i en halvledare med inversion används ett begrepp som kallas quasi-Fermi-nivåer. Dessa införs när det är ett överskott av laddningsbärare, en nivå för elektronerna och en för hål ( $F_n$  och  $F_p$ ) vid jämvikt  $F_n \cdot F_p = E_F$ .  $F_n$  är i regel  $\approx E_F$  (majoritetsbärare). En framspänd övergång är långt från jämviktstillståndet. Med de nya kvasinivåerna kan bärarna uttryckas i samma form som förut:

$$n = N_c \cdot e^{-(E_c - F_n)/kT} = n_i \cdot e^{(F_n - E_i)/kT}$$

$$p = N_v \cdot e^{-(F_p - E_v)/kT} = n_i \cdot e^{(E_i - F_p)/kT}$$

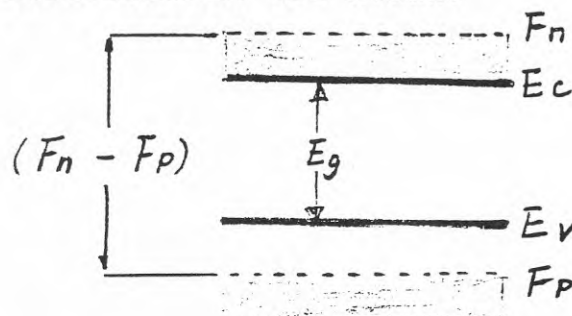
Man kan också ersätta föregående bild med:



Figur 3.10:39. Kvasi Fermi-nivåer i en framspänd pn-laser

Förändringen i  $F_n$  och  $F_p$  beror på att en stor mängd elektroner injiceras genom övergången och koncentrationen avtar exponentiellt inåt p-materialet till jämviktsvärdet  $n_p$ .  $F_n$  faller från  $E_{Fn}$  till  $E_{Fp}$ .

Djupt inne i de neutrala områdena sammanfaller  $F_n$  och  $F_p$ . Avståndet mellan dem i andra punkter är ett mått på avlägsnandet från jämvikt. För att man skall få laserverkan måste det finnas energiband mellan vilka utbyte sker. Karakteristiskt för halvledare är att sådana band finns. För att stimulerad emission skall vara dominerande måste i band som åtskiljs med energin  $hf$  det övre ha fler elektroner än det undre. Sådan inversion existerar uppenbarligen vid övergångar mellan undre kanten av ledningsbandet,  $E_c$ , och toppen av valensbandet,  $E_v$ . Man har i själva verket övergångar från nivåer i ledningsbandet upp till  $F_n$  till nivåer i valensbandet ned till  $F_p$  med inversionstillstånd. Jfr nedan.



En utbredd bild av inversionsområdet enligt föregående.

Figur 3.10:40. Utbredd bild av inversionsområdet i figur 3.10:39.

För varje övergångsenergi  $hf$  i en halvledare uppstår inversion om  $F_n - F_p > hf$



Vid band-till-band-övergång är minivillkoret för inversionstillstånd  $hf = E_c - E_v = E_g$ ; då är

$$F_n - F_p > E_g$$

När som i ovanstående figur  $F_n$  och  $F_p$  ligger inom sina respektive band, kan stimulerad emission dominera över en rad övergångar, från  $hf = F_n - F_p$  till  $hf = E_g$ .

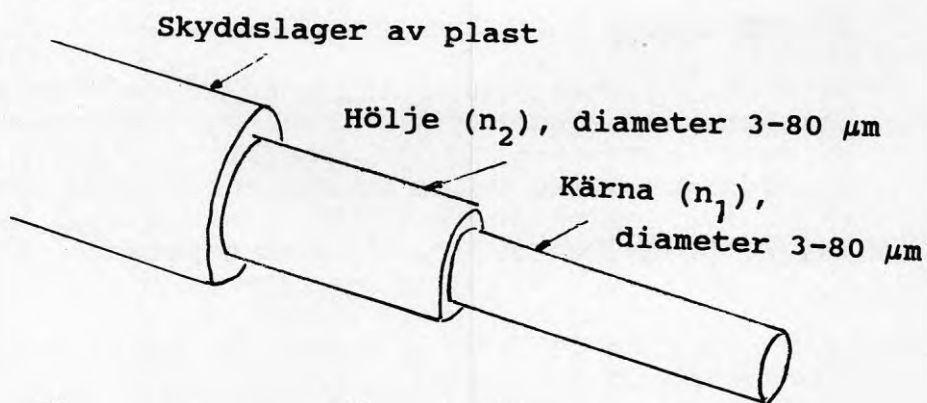
De dominerande övergångarna för laserverkan bestäms huvudsakligen av resonanskaviteten och den starka rekombinationsstrålningen som uppkommer nära  $hf = E_g$ . Eftersom elektron-hålerekombinationen snarare skall ske direkt, ej med inverkan av "fällor" ("trapping-processer") dvs störnivåer, är kisel och germanium ej lämpliga, däremot GaAs och andra III-V-halvledare. Man talar om heterogena material för lasrar.

Om en ändamålsenlig resonanskavitet kan åstadkommas i övergångsområdet blir det en laser, vars inversionstillstånd uppnås med den tillförda drivströmmen till övergången. På de olika övergångarna kan man få laserljus av olika våglängd. Denna skall vid optokommunikation anpassas till egenskaperna hos den optiska fiber som skall leda strålningen.

### 3.11 FIBEROPTIK

Lysdioder och lasrar alstrar ljuset, fibern leder det och fotodetektorn kan omvandla till elektriska signaler (p-i-n-diod t ex). Förutom vid telekommunikation används numera fibrer bl a vid överföring av mätdata och diverse styrsignaler i kontrollsystem. Kopplingen mellan fibern och de övriga enheterna är ett komplicerat moment, som måste utföras med precision för maximal anpassning. Fyra väsentliga parametrar för en optisk fiber är dielektricitetskonstant, brytningsindex, dispersion och dämpning. Strålutbredningen i fibern kan ske i s k multimod eller monomod. Viktiga fibermaterial är kvarts och plast. Ett antal bilder skall belysa utformningen av fibern.

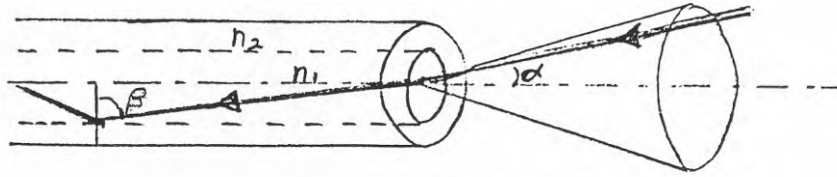
#### Fiberstruktur



Figur 3.11:1. Fiberstruktur

### Numerisk apertur (NA)

Aperturen är en viktig parameter då den bestämmer hur ljuset kan inträda i fibern!



$$n_1 \cdot \sin \beta = n_2 \cdot \sin(90^\circ)$$

Vid strålens ändyta får man

Figur 3.11:2. Bestämning

av numerisk apertur

$$NA = \sin \alpha = (n_1^2 - n_2^2)^{\frac{1}{2}}$$

För  $n_1 \approx n_2$  fås  $NA = \sin \alpha \approx n\sqrt{2\Delta}$ ,  $n_1 \approx n_2 \approx n$

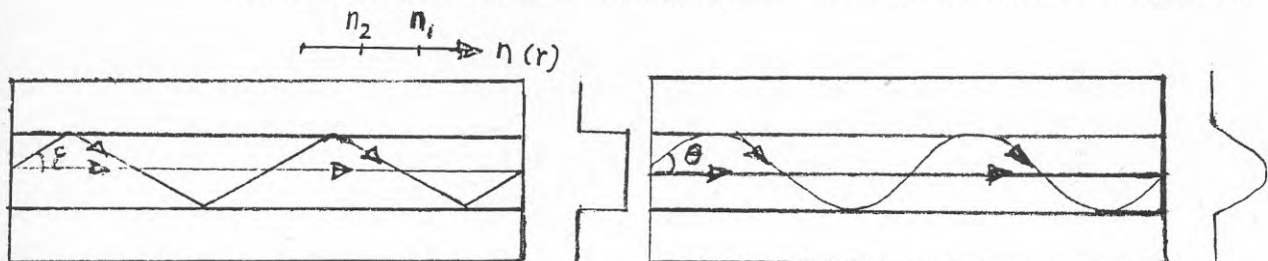
$$\Delta = \frac{n_1 - n_2}{n}$$

Om  $n = \frac{n_1 + n_2}{2}$  eller  $n_2$ , ändras ej  $\Delta$  väsentligt

För  $\Delta = 0,01$  och  $n = 1,5$  fås  $NA = 0,21$  eller  $\alpha = 6^\circ$

### Vågutbredning

Man skiljer mellan stegindex- och gradientindexfiber.



stegindex

gradientindex

Figur 3.11:3. Olika form av brytningsindex i fiber

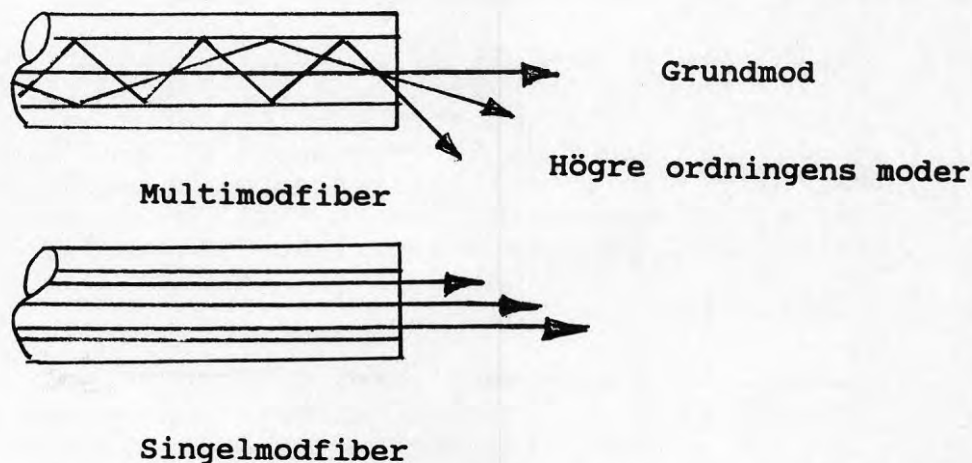
### Dispersion

Strålen i fibern kommer att undergå en viss spridning (dispersion). Detta kan enklast iaktas genom att man skickar in en fyrkantpuls, som är vanlig vid digital överföring. Olika delar av strålen kommer att förskjutas tidsmässigt så att pulsen vid utgången är mera utbredd och oskarp än ingångspulsen.



Figur 3.11:4. Dispersion i fiber

Det finns olika former av dispersion. S k moddispersion uppträder vid multimodutbredning; materialdispersion uppstår p g a ljuskällans spektrala bredd, olika våglängder ( $\lambda$ ) bryts olika; vågledardispersionen är en funktion av  $r/\lambda$ , där  $r$  = vågledarens radie,  $\lambda$  = våglängd. Denna sista dispersion samverkar med materialdispersionen, och den resulterande dispersionen, där materialdispersionen dominerar, kallas våglängdsdispersion.



Figur 3.11:5. Multimod- och singelmodtransmission i fiber

### Dämpning

Strålen i den optiska fibern undergår inte enbart spridning, den absorberas också delvis. Det uppstår förluster i transmissionen. Detta har största betydelse, då avståndet mellan förstärkarna för regenerering av signalen bestäms därav. Om man inräknar också förluster p g a spridning finns tre förluskällor: absorption, linjär spridning och icke linjär spridning.

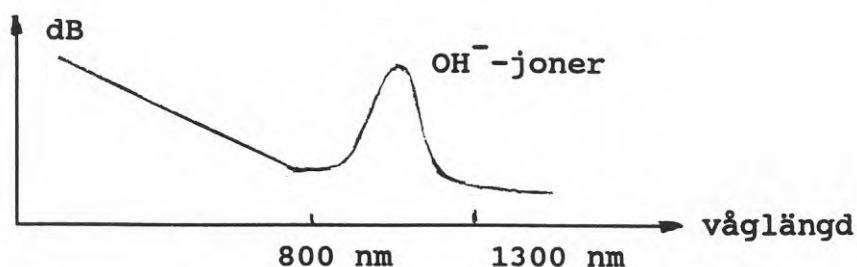
Genom absorption förvandlas en del av den utsända

effekten till värme. I helt rent glas är absorptionen upp till ungefär  $1,1 \mu\text{m}$  våglängd försumbar. Då glas i regel är förorenat ökar förlusterna. En del på  $10^9$  av krom-, koppar-, järn- eller magnesiumjoner är tillräcklig för att dämpningen skall öka med 1 dB/km

( $\text{dB} = 20^{10} \log \frac{\text{Signal ut}}{\text{Signal in}}$ ). I de lågdämpande fibrer

som nu framställs kommer dämpningen huvudsakligen från  $\text{OH}^-$ -joner. En miljondel i vikt av jonen inför ca

1 dB/km vid 0,95  $\mu\text{m}$  våglängd. Den linjära spridningens förluster beror på växelverkan mellan fiberns moder. Icke linjär spridning uppstår om fältets intensitet i fibern är mycket stor. Här finns också växelverkan mellan samma och övriga moder. Effekten utreder sig till följd av detta både framåt och bakåt i olika frekvens. Nedan visas en förenklad dämpningskurva.

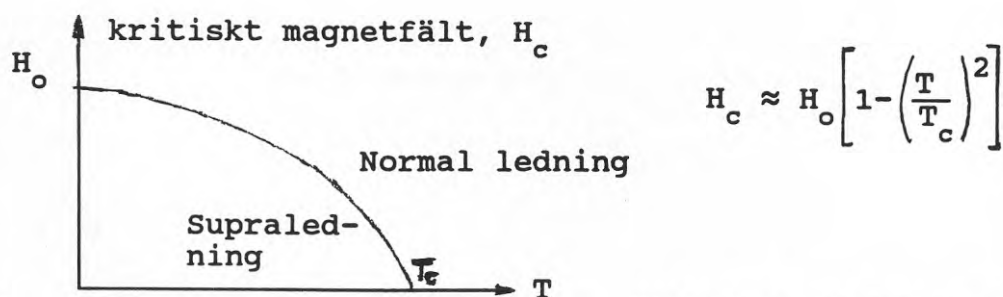


Figur 3.11:6. Schematisk dämpningskurva i fiber

GaAlAs-lasrar kan ge 800 nm och InP-lasrar 1300 nm; därför förekommer numera mest InP-lasrar för optisk överföring på längre sträckor. Lasrarna har ofta ganska komplicerade heterogena strukturer (sammansättningen är inte alltid så enkel som ovan angivits) för att önskat verkningssätt skall kunna realiseras. Ett exempel på lasermaterial är InGaAsP/InP.

### 3.12 SUPRALEDARE

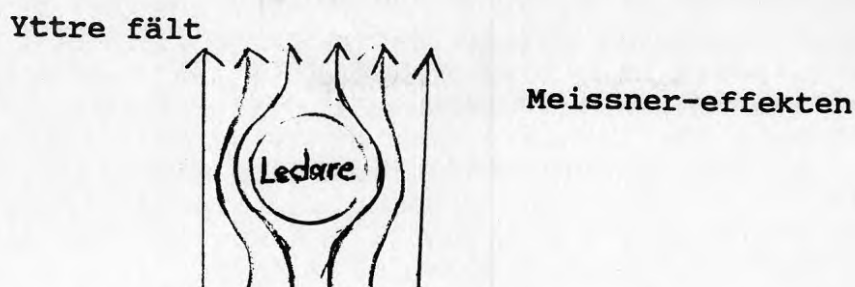
Redan i början av vårt sekel gjordes av holländaren Kamerlingh Onnes upptäckten att kvicksilvers motstånd vid 4°K (K = Kelvin, absolut temperatur) blev praktiskt taget noll. Omslaget sker vid en kritisk temperatur  $T_c$ , som numera bestämts för ett stort antal metaller. Supraledningen kan upphävas av ett yttre magnetfält av tillräcklig styrka,  $H_c$ . Förhållandet demonstreras nedan.



Figur 3.12:1. Samband temperatur-magnetfält hos supraledare

Under senare år har supraledning upptäckts hos smmansatta ämnen, s k keramer, med kritiska temperaturer mycket högre än för metaller. Man väntar sig mycken användning av dessa.

Andra fenomen hos supraledare är t ex Meissner-effekten. Den innebär att ett yttre magnetfält trängs ut från supraledaren och den magnetiska induktionen försvinner.



Figur 3.12:2. Meissnereffekten

Det förbereds många tekniska tillämpningar med supraledare. Då nästan inga elektriska förluster förekommer kan man upprätthålla mycket starka magnetfält, så kallade magnetiska "kuddar", som särskilt i Japan är under utveckling för att man skall kunna framföra tåg utan friktion

#### Josephson-effekten

Till supraledningen hör också den så kallade Josephson-effekten, som har intresse i detta sammanhang som minneselement. Den är en tunneleffekt. För att förstå den måste man börja med den teoretiska formuleringen av supraledningen, den så kallade BCS-teorin uppkallad efter nobelpristagarna Bardeen, Cooper och Schieffer. Grundläggande för denna är bildningen av elektronpar, elektroner som eljest repellerar varandra. Detta sker med elektroner nära den så kallade Fermi-ytan under inverkan av någon attraherande kraft, till exempel elektrons växelverkan med gitter. En annan grundläggande teori representeras av de så kallade Londonekvationerna, som uppställdes redan 1935 av F och H London. De förklarar bl a supraledarnas lågfrekventa magnetiska beteende. De formulerades utgående från ett punkt-för-punktsamband mellan strömtätheten och den så kallade vektorpotentialen för det magnetiska fältet. BCS-teorin leder till en korrekt beskrivning av supraledningens termiska och magnetiska egenskaper.

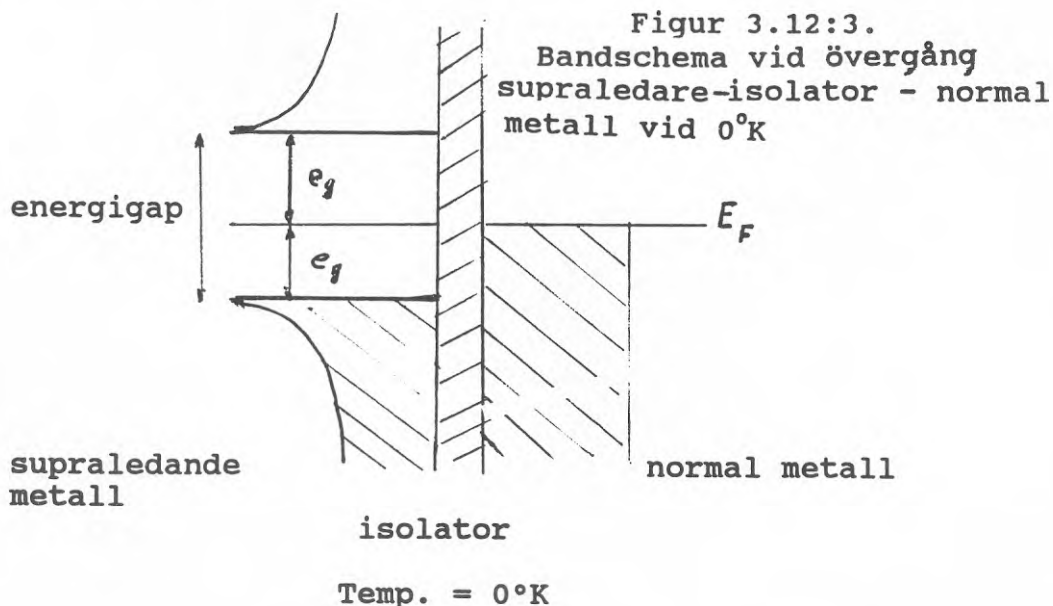
Olika elektriska parametrar och fenomen har studerats ingående hos supraledare och jämförts med resultat för normala ledare. De egenartade elektromagnetiska förhållandena vid låga frekvenser hos superledare har ingen motsvarighet i deras optiska egenskaper. Dessa ändras ej vid  $T_c$ , trots att en metalls reflexionsförmåga vid olika frekvenser beror på ledningsförmågan vid den aktuella frekvensen. Sålunda är motståndet hos supraledare vid mycket höga optiska frekvenser konstant temperaturoberoende och lika med resistansen för normala metaller. Detta gäller ned till frekven-

ser ungefär  $10^{13}$ /sek. Resistansen är dock noll upp till frekvenser ungefär  $10^{10}$ /sek. Man sluter sig därav till att vid någon frekvens mellan dessa gränser ett kvantmekaniskt beteende börjar, som skulle leda till att elektroner i sitt kondenserade tillstånd (supraledningstillstånd) lyfts upp till icke kondenserade tillstånd och orsakar energiabsorption. Här kan nämnas den s k skineffekten som innebär att strömmen vid mycket höga frekvenser i alla ledare går närmast ledarens yta, ej likformigt fördelat i ledaren.

Detta har lett till att man tänker sig ett energigap i den enstaka elektronens energispektrum. Det tyder dock på att de supraledande elektronerna kvarstår effektivt vid  $0^\circ\text{K}$  för temperaturer upp till den kritiska,  $T_c$ . Detta skulle bero på att de befinner sig i lågenergitillstånd, vilka är skilda från alla existerande tillstånd genom ett energigap, som anges till storleksordning  $k \cdot T_c$ , där  $k$  är Boltzmanns konstant.

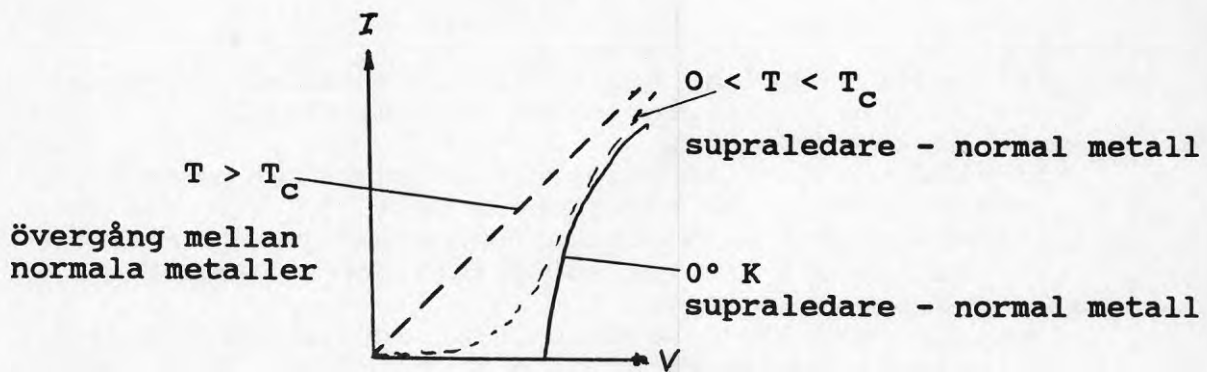
Experimentella resultat bekräftar denna teori.

Energigapet har också blivit uppmätt. Mätningar gjordes med voltmeter vid observation av tunneleffekt mellan en supraledande och en normal folie, skilda åt av en tunn isolatorbarriär. Kvantmekaniskt föreligger en viss sannolikhet för att en elektron på den ena sidan barriären genom tunneleffekt skall penetrera den, om på andra sidan finns ett möjligt energiläge av samma eller lägre energi. Se följande figur:



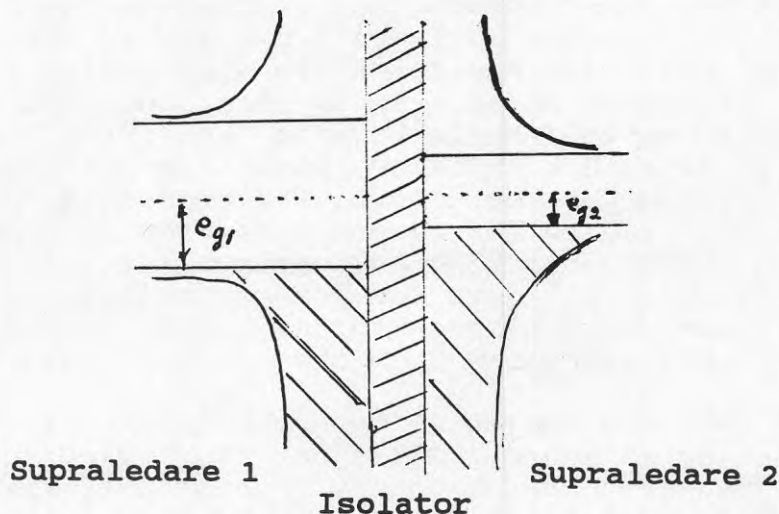
Bilden visar energitillstånd vid  $0^\circ\text{K}$ . I den normala metallen är som följer av Fermi-fördelningen alla nivåer upp till ferminivån  $E_F$  fyllda. I supraledaren däremot är nivåer besatta upp till energinivån  $E_F - e_g$  ( $e_g =$  halva bandgapet). Detta innebär att ingen tunneleffekt kan uppstå i någondera riktningen, då inga

tillgängliga (möjliga) energitillstånd (nivåer) finns på någondera sidan av barriären. Om en spänning däremot läggs mellan de båda metallerna kommer läget av energinivåerna för dem att förskjutas inbördes, och tunneleffekten uppstår plötsligt, när den pålagda spänningen blir lika med  $e_g$ . Till en början är det en kraftig strömökning p g a av den höga nivåtätheten. När spänningen blir mycket större än  $e_g$  närmar sig strömmen  $I$  som funktion av spänningen  $V$  den ohmska karaktären hos övergången mellan två normala metaller. Följande figur visar de olika stadierna:



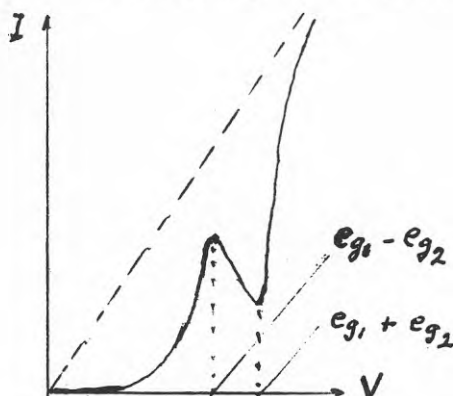
Figur 3.12:4. I-V kurvor för övergångar enl figur 3.12:3 med spänningsskillnad mellan metallerna

Följande bild ger förhållandet när två supraledare med olika kritiska temperaturer används i stället:



Figur 3.12:5. Bandschema vid övergång mellantvå olika supraledare åtskilda av isolatorskikt

Figuren visar: supraledare - isolator - supraledare övergång med olika energigap för supraledarna



I-V-karakteristik för ovanstående övergång. De båda bandgapsenergierna representeras med skarpa förändringar i karakteristiken. Noggranna bestämningar av  $e_{g1}$  och  $e_{g2}$  kan därför göras med denna metod.

Figur 3.12:6.

Mätningar vid olika temperaturer bekräftar termiska variationer i energigapen enligt BCS-teorin.

Man har också kunna observera en simultan tunneleffekt för två olika elektroner. Detta är ej samma fenomen som den tunneleffekt för Cooper-par (elektronpar enligt BCS-teorin) som förutsagts av Josephson.

Nobelpristagaren Josephson förutsade en direktövergång genom tunneleffekt av  $s$   $k$  Cooper-par från ena sidan av barriären till den andra, alltså mellan två supraledare.

Processen kan förtydligas om man tänker sig två delar av ett supraledande material som till en början är åtskilda. Cooper-paren tillskrivs en fas (tids- eller frekvensläge till referens). Parens faser är hopparade med sitt totala antal. Detta medför att absolut-värdena av faserna i de båda delarna är godtyckliga, men deras relativa värden är fixerad. I själva verket måste alla par ha samma fas. Detta är liktydigt med att de har samma moment. Den gemensamma fasen i ena delen är oberoende av fasen i den andra, eftersom antalet par i den ena delen kan ändras utan att den andra påverkas. Förenas nu de båda supraledande delarna med en isolerande barriär (som förut), med gradvis avtagande tjocklek, måste "sandwich-systemets" egenskaper kontinuerligt övergå till sådana för enkla supraledare med gemensam fas för alla par. Alltså kommer en ström av Cooper-par att flyta genom barriären för att göra faserna ekvivalenta så fort kopplingsenergin blir jämförbar med  $kT$ . Detta inträffar när barriären är mycket tunn ( $\sim 10\text{\AA}$ ).

Då en övergång med en så tunn barriär fungerar som en enstaka supraledare, kallas det för "svag" supraledning. Temperaturberoendet av Josephsoneffekten har både mätts och kalkylerats.



Storleken av Josephsonströmmen erhålles av:

$$j = j_1 \sin \phi$$

Koefficienten  $j_1$  beror på storlek, barriärtjocklek etc och  $\phi$  utgör fasdifferensen mellan de två sidorna av övergången. Med ett yttre magnetfält  $H_0$  varierar strömmen i rummet enligt:

$$j = j_1 \sin \left( \phi - \frac{2ed}{\hbar c} H_0 z \right)$$

där  $d$  är barriärtjockleken och  $z$  avståndet längs barriären

$\hbar = \frac{h}{2\pi}$ , där  $h$  = Plancks konstant;  $c$  = ljushastigheten.

Härav följer att strömmar kan ha olika riktning i olika punkter. Vid kritiska värden på fältet kan den totala strömmen försvinna. Den kan också påverkas av sitt eget magnetfält, vilket leder till en självreglering på vissa avstånd från barriärkanten.

Den beskrivna direkta Josephsoneffekten inträder vid pålagd spänning 0 upp till ett visst maximalt värde. Därefter "slås" övergången "om" till den vanliga I-V-karakteristiken för s k kvasipartikel-tunneleffekt. Omslaget mellan två tillstånd kan som tidigare påpekats utnyttjas som minnesfunktion (Jfr "FLIP-FLOP"). Josephson förutsade också att det senare tillståndet åtföljs av en supraledarväxelström med frekvensen

$f = \frac{2e}{h}$ . Vid spänningar på några millivolt vid över-

gången blir frekvensen så hög som  $10^8$ /sek ( $2 \text{ eV}/h = 483,6$  megacykler/millivolt). Denna effekt var länge svår att observera p g a den låga effektnivån vid den höga frekvensen.

Växelströmmen vid Josephsoneffekten kan användas för olika kretstillämpningar. Den utgör en enkel källa för koherent strålning av hög frekvens. Användning som detektor eller generering av harmoniska övertoner är möjlig. Den kan också utgöra en känslig metod för mätning av någon av de parametrar som ingår i uttrycket för strömmens fältberoende. Tillämpning som minnescell har redan påpekats. En nackdel är naturligtvis att man måste arbeta vid låga temperaturer.

### 3.13 LOGIKKRETSAR

För att förstå uppbyggnad, funktion och användning av en för kontroll- och reglersystem så viktig nyckelkomponent som mikroprocessorn (microprocessor, microcontroller) måste man förstå komponenter för realisering av logiska system till uppbyggnad, funktion och realisering. Detsamma gäller minneskretsar.

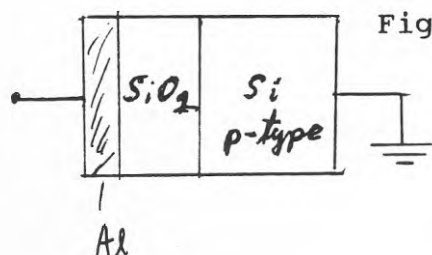
Närmast följer en översiktlig redovisning för logiska system inom elektroniken.

I moderna logikkretsar är såväl bipolära transistorer som på s k MOS-strukturer baserade komponenter av stor betydelse. Början görs därför med att beskriva de ännu ej behandlade MOS-strukturerna som också spelar en stor roll i den moderna minnesteknologin.

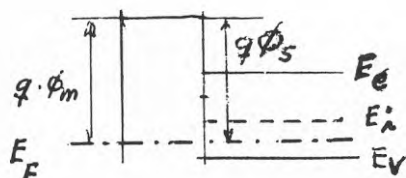
MOS = Metal Oxide Semiconductor

En typ av halvlederstruktur har kommit att få omfattande tillämpningar i halvlederframställning: MOS-kondensatorer, MOST = MOS-transistor, CMOS = Complementary MOS (viktiga komponenter i logikteknologin), DMOS = Double diffused MOS, MOSFET = MOS Field Effect Transistor. Blott de allmänna egenskaperna av dessa kretsar kan beröras. I litteraturen finns omfattande analyser och beskrivningar liksom för de tidigare behandlade komponenterna.

Följande figurer visar MOS-kondensatorn och dess egenskaper samt en MOS-transistor.



Figur 3.13:1. MOS-kondensatorstruktur



Idealiserat energibanddiagram

$q\Phi_m$  = utträdesarbetet (work function) för metallen

$q\Phi_s$  = utträdesarbetet (work function) för halvledaren

I övergångsskiktet Si/SiO<sub>2</sub> finns i regel defekter och laddningar liksom inne i själva kiseldioxiden. Dessa påverkar funktionen.

Kiseldioxiden leder ingen ström men ett ytladdningsområde utbildar sig. Vid pålagd spänning kommer det elektriska fältet mellan elektroderna att förflytta rörliga laddningar nära ytorna, två ryndladdningsområden utbildar sig och den inducerade laddningen på båda elektroderna blir enligt Gauss' lag:

$$-Q = \epsilon \epsilon_0 \cdot \bar{E}, \text{ där } \epsilon = \text{dielektricitetskonstant}$$

$$\epsilon_0 = \text{systemkonstant}$$

$$\bar{E} = \text{elektriskt fält}$$

Den pålagda spänningen fördelas på oxiden och ytpotentialen som betecknas  $U_s$ .

$$V = V_o + U_s$$

Kapacitansen  $C$  blir av beskrivna förhållande mer komplicerad än enligt det vanliga uttrycket som är:

$$C_o = \frac{\epsilon \epsilon_0}{d}, \text{ där } d \text{ är tjockleken av dielektret.}$$

Detta beror på att ryndladdningsområdet inför en spänningsberoende kapacitans  $C_s$  i serie med  $C_o$ :

$$C = \frac{C_o C_s}{C_o + C_s}$$

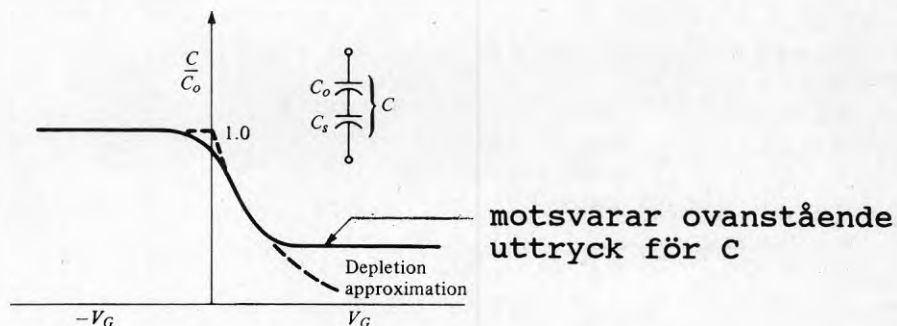
Med hänsynstagande till spänningsberoendet hos  $C_s$  skrivs resulterande kapacitansen:

$$C = \frac{C_o}{|1 + (2C_o^2 / q N_a \epsilon_s \epsilon_0) V_G|^{1/2}}$$

$\epsilon_s =$  dielektricitetskonstanten för ryndladdningsområdet.

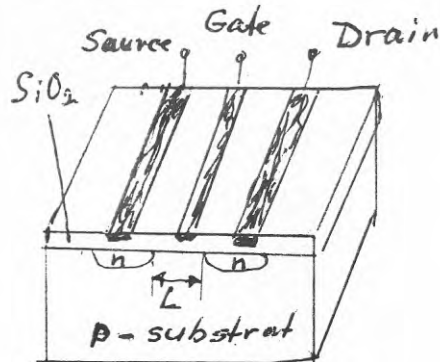
$N_a = p =$  dopning

Man brukar ta upp C-V-karakteristiken vid olika frekvenser enligt nedan:



Figur 3.13:2. C-V karakteristisk för MOS-kondensator

Nedanstående bild ger strukturen för en n-MOS-transistor:



De tre anslutningarna är

Source = Emitter  
 Gate = Styre  
 Drain = Kollektor  
 L = Kanallängd

Laddningstransporten sker i kanalen.

Strömmen kan regleras genom styret.

Figur 3.13:3. Struktur för n-MOS-transistor

Laddningsbärarkoncentrationen ges som förut av:

$$n = n_i \cdot e^{(E_F - E_i)/kT}$$

$$p = n_i \cdot e^{(E_i - E_F)/kT}$$

Härav följer  $n > p$  om  $E_F > E_i$  och halvledaren är av n-typ  
 och  $n < p$  om  $E_F < E_i$  och halvledaren är av p-typ

Om man har en negativ styrspänning fås en laddningsbärarakkumulering under elektroden, då värdet  $E_i - E_F$  ökar och därmed hålkoncentrationen nära elektroden. Vid små positiva spänningar minskar värdet  $E_i - E_F$  och därmed hålkoncentrationen; man får laddningsbärarutarmning (depletion).

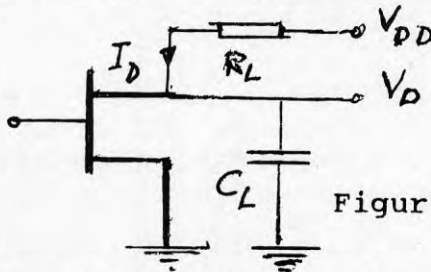
Ytterligare ett fenomen är laddningsbärarinversion, som inträffar för stora positiva spänningar på styrelektroden,  $E_F > E_i$  nära elektroden och ett inver-sionslager med  $n > p$  bildas. Detta kan tolkas som en "inducerad" p-n-övergång under elektroden.

### MNOS

Beteckningen MNOS används för MOS-transistor med ett tunt skikt av  $\text{Si}_3\text{N}_4$  ovanpå kiseldioxiden ( $\text{SiO}_2$ ). Detta ger en ökad kapacitans, då  $\text{Si}_3\text{N}_4$ -skikt har en högre dielektricitetskonstant än  $\text{SiO}_2$ . Dessutom hindrar det migration av störande natriumjoner och stabiliserar den s k tröskelspänningen ("threshold voltage").

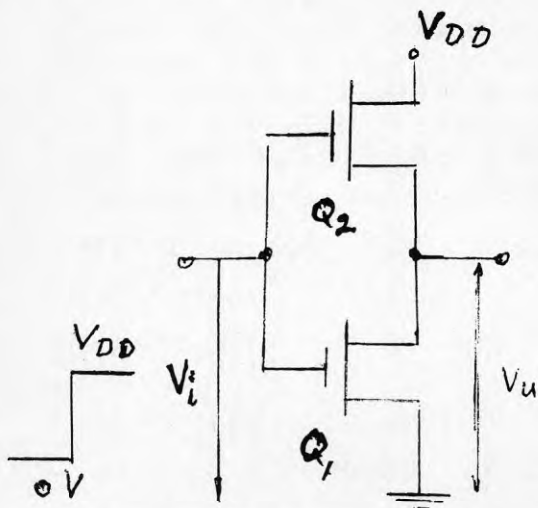
### CMOS

MOS-transistorer används bl a som inverterare av spänningar i logikkretsar; koppling enligt följande:

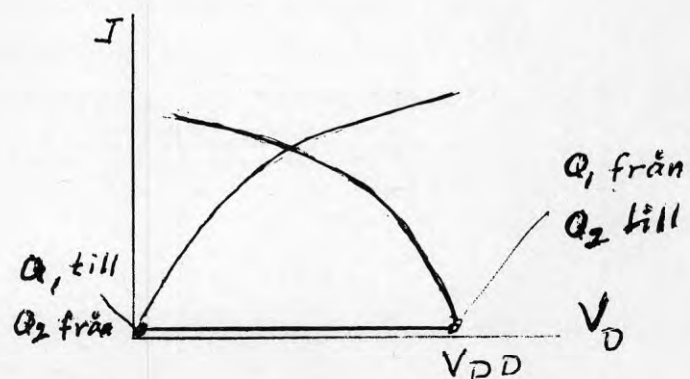


Figur 3.13:4. MOS-inverterarkrets

Ett sätt att minska matningsströmmen är att koppla ihop en n-kanals och en p-kanals MOS-transistor, dvs göra en s k Complementary MOS-inverter. Den betecknas CMOS. Koppling visas i följande figur. CMOS-kretsar används mycket i moderna logikkretsar.



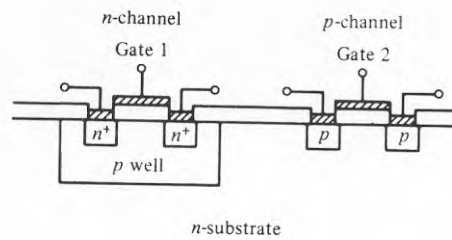
Figur 3.13:5. CMOS-komponenten



CMOS-koppling

Arbetsdiagram som inverterar

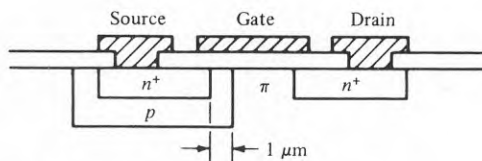
$Q_1$  är n-kanals MOS och  $Q_2$  p-kanals MOS



### C-MOS-struktur

För att ytterligare minska ömsesidig störning mellan de båda transistortyperna kan en så kallad guardring införas under oxidskiktet mellan transistorerna bestående av en  $p^+$ -kanal nära vänstra och en  $n^+$ -kanal nära högra transistoren.

Det finns ett speciellt utförande som kallas SOS = Silicon On Sapphire. Ett tunt Si-skikt läggs på ett  $Al_2O_3$ -substrat (safir). Detta kommer att innehålla de aktiva kretsarna. Ovanpå läggs ett skyddsskikt av  $SiO_2$ . Dessa kretsar utmärker sig bl a för låg känslighet för yttre strålning och är alltså lämpliga i satellitutrustningar. Övergången skikt-substrat ger dock problem i tillverkningen. Det finns också VMOS- strukturer, där styret går ned i ett V-format spår i kiselbrickan. DMOS som tidigare omnämnts innebär att en dubbeldiffusion utföres vid t ex emittern (source). Detta möjliggör bl a korta kanaler ( $1 \mu m$  och kortare; teknik med dimensioner  $< 1 \mu m$  kallas submikronteknologi, vilken blir allt vanligare för CMOS och andra processer). Diffusionerna sker genom samma "mask" (mönsterresist för den fotolitografiska processen). Dimensionerna i övrigt kan också minskas med DMOS-struktur. Nedan visas DMOS-struktur.



$\pi$  = svagt p-dopat

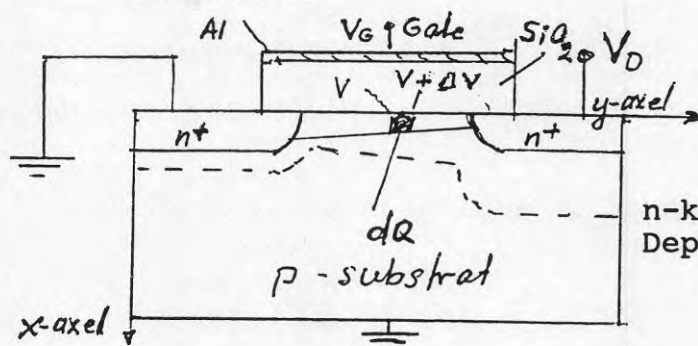
Figur 3.13:6. DMOS-struktur

På olika dopningar blir I-V-karakteristika olika vid source och drain.

Ett allvarligt driftsfel som kan uppstå är så kallad latch-up. I vissa lägen kan parasit-pn-övergångar bildas, som "låser" kretsens. Det kan hävas genom att bryta matningen till komponenten eller på annat sätt ändra spännings- eller strömparametrar. Man försöker göra MOS-kretsarna så latch-up-"immuna" som möjligt.

## MOSFET

Ett annat speciellt utförande av MOS-strukturen möjliggör styrning av strömmen genom det elektriska fältet. Strukturen kallas MOSFET = MOS Field Effect Transistor. Beroende på verkningsättet skiljs mellan "enhancement"-mod och "depletion"-mod. Enhancement = Ökning, Depletion = Utarmning. I förra fallet är transistorn normalt stängd utan gatespänning, medan i andra fallet en ström redan finns i nollläget. Avstängning i senare fallet sker genom påläggning av en negativ gatespänning. Nedan visas en n-kanals MOS-transistor. Det är via gatespänningen som transistorn kontrolleras, dvs fältet från gaten (styret). Den allmänna funktionen kan beskrivas med hjälp av strukturbilden:



Figur 3.13:7.

n-kanals MOS-transistor.  
Depletion mode.

Transistorns funktion under "linjära" betingelser kan analyseras utgående från att elektriska fältet i x- och y-riktning är oberoende av varandra. Fältet i x-led "inducerar" ett inversionsskikt, medan fältet i y-led driver en "drainström" längs kiselytan (se figur). Området mellan "V" och "V+dV" tilldelas koordinaten "y" och det antas att gatespänningen är större än tröskelspänningen  $V_T$  ( $V_T$  är en för strukturen och av tillverkningsberoende karakteristisk spänning, som måste passeras för att transistorn skall leda). Sambandet mellan gatespänningen och den rörliga laddningen  $Q_I$ :

$$Q_I = -C_o(V_G - V_T) \text{ ger nu:}$$

$$Q_I = -C_o(V_G - V_T - V)$$

Strömmen består av majoritetsbärare:

$I_D = Z \cdot \mu_n \cdot Q_I \cdot \epsilon_y$ , där  $Z$  = transistorns bredd,  
 $\epsilon$  = elektriska fältstyrkan,  $\mu_n$  = elektronernas mobi-

litet och  $\mu_n = \frac{v}{\epsilon}$ .  $v$  = elektronhastigheten.

Om  $\bar{E}_y$  sätts lika med  $-\frac{dV}{dy}$ , kan erhållas:

$$I_D dy = Z \mu_n C_o (V_G - V_T - V) dV$$

Genom integration från  $y = 0$  till  $Y = L$  (kanallängden) och  $V = 0$  till  $V = V_D$  fås:

$$I_D = \mu_n C_{ox} \frac{Z}{L} | (V_G - V_T) V_D - \frac{1}{2} V_D^2 |$$

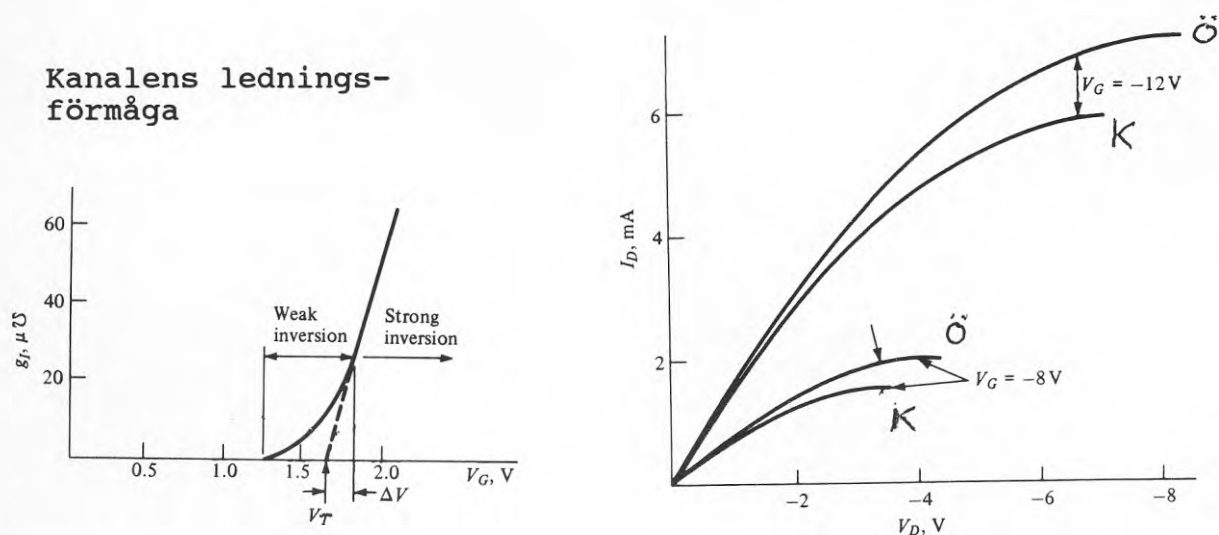
I själva verket varierar  $V_T$  med  $V$ . Tas detta med erhålls ett betydligt mera komplicerat uttryck för  $I_D$ . Ovanstående gäller som principiell härledning, vilken ger överslagsresultat och duger som första approximation vid design av MOSFET.

Om drainspänningen ökas så att gatespänningen neutraliseras försvinner den del av inversionsskiktet som ligger under "drain". Kanalen "stryps" (pinch off) och ytterligare ökning av drainspänningen ökar ej strömmen. Drainströmmen har blivit mättad ("saturated"); man har en mättnadsström. Villkoret för sådan fås av  $Q_I = 0$ , som ger:

$$V = V_g - V_T = V_{DS}; V_{DS} = \text{drainspänning vid mättnad.}$$

Enligt föregående blir då:  $I_{DS} = \frac{\mu_n C_{ox} Z}{2L} (V_G - V_T)^2$

Följande figurer belyser ytterligare arbetssättet för MOSFET:



Figur 3.13:9.

Ledningsförmågan (i  $\mu S$ ) i kanalen, som funktion av gatespänning

Figur 3.13:8.

Jämförelse mellan uppskattat ( $\ddot{O}$ ) och korrekt värde ( $K$ ) på drainström hos MOSFET-transistor.

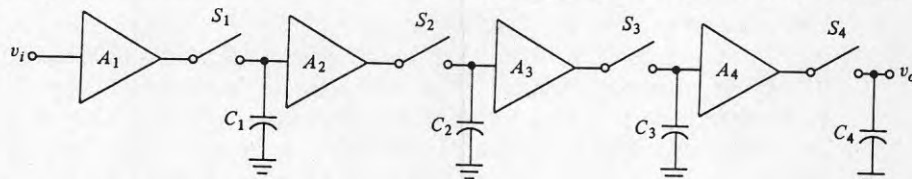
Ledningsförmåga som funktion av gatespänning hos MOSFET-transistor



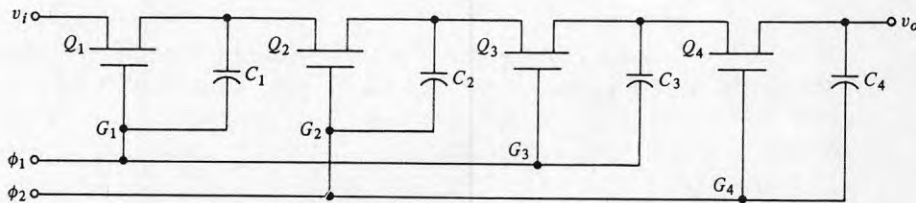
Nämnas bör att man under de sista åren börjat kombinera egenskaperna hos bipolära- och MOS-kretsar i s k BICMOS en integrerad bipolär-MOS-komponent.

### Charged-Coupled-Devices (CCD)

S k laddningskopplade kretsar tillhör en typ av kretselement, som utför laddningstransport (Charged Transfer Devices, CTD) och används i digitala skiftregister och minnen men även för signalbehandling. För att förklara hur dessa kretsar fungerar anføres följande kretsschema med seriekopplade förstärkare:

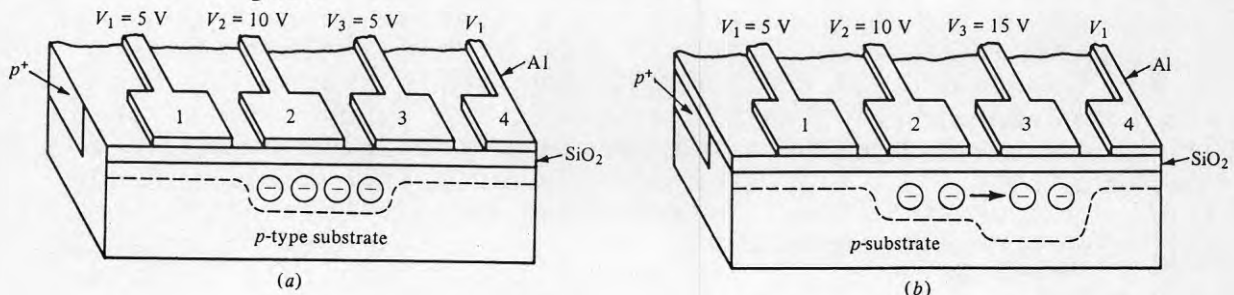


Figur 3.13:10. Seriekopplade operationsförstärkare för laddningstransport



Figur 3.13:11. MOS-transistorer för laddningstransport

Förstärkarna har förstärkningsfaktorn 1 och oändlig ingångsimpedans, nästan (operationsförstärkare). Stängs  $S_1$  lagras ingångssignalen som en laddning i  $C_1$ . Om därefter  $S_1$  öppnas och  $S_2$  sluts, överförs laddningen till  $C_2$ . Så transporteras med denna procedur steg för steg till utgången. Proceduren visar hur systemet kan fungera i ett digitalt skiftregister. I den nedre figuren har förstärkar-switch par ersatts med en MOS-transistor. Transistorerna kan öppnas och stängas i sekvens genom pulser på gate-elektroden och samma laddningstransport som förut erhålls. I praktiken kopplas gate 1 och gate 3 ihop och pulsas gemensamt liksom gate 2 och 4. Man kan integrera funktionerna på komponentnivå med en enda CCD; se följande figur:



Figur 3.13:12. Integrerad komponent för laddningstransport

a) Laddningslagring

b) Laddningsöverföring

I CCD-halvledaren lagras minoritetsbärare i "potentialfickor" som skapats vid ytan av halvledaren. Dessa laddningsbärare förflyttas längs ytan genom att i tur och ordning fylla och tömma en serie av potentialfickor. I sitt enklaste utförande består CCD-strukturen av en rad tätt packade MOS-kondensatorer, som figuren visar. Om elektrod 2 ligger på 10V, högre än intilliggande elektroder (5V), bildas en potentialficka, som den streckade linjen visar. Laddning lagras i fickan. Om spänningen därefter höjs till 15V på elektrod 3 bildas under denna en djupare ficka; se den andra figuren. Laddningen flyttar sig till den djupaste fickan (lägsta potentialen) och flyttar sig alltså längs ytan av halvledaren när fickorna förskjuts. Tre elektroder krävs i denna struktur för att i endast en riktning lagras och förflytta laddningar. De tre elektroderna betecknas som ett "steg" eller en "cell" i strukturen. Naturligtvis finns mera komplicerade system för mer omfattande operationer.

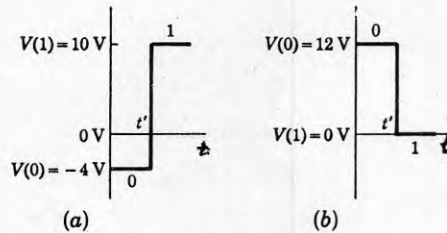
#### Utförande av logiska kretsar

I alla operationer där man skall jämföra värden och göra ett val har man alltid de tre möjliga varianterna: större än, lika med eller mindre än. Från dessa görs sedan val för den fortsatta behandlingen. Ibland finns ett flertal styrparametrar. Man kallar detta logiska operationer. Detta förekommer i styrsystem, datorer, telefonväxlar osv. Bakom detta ligger naturligtvis den digitala representationen: man arbetar med "nollor" och "ettor". Det har uppkommit en särskild matematisk disciplin för logikoperationer, en logisk algebra, vanligen kallad "Boolean algebra" efter dess skapare. Med hjälp av denna kan man sätta samman elektroniska kretsar, som utför regleroperationer och dylikt. Det är i synnerhet i datorernas elektroniksystem som logiska kretsar används.

Något om de grundläggande logiska operationerna skall anföras till förståelse av denna matematik. Den fysiska representationen av logiska ettor och nollor utgörs av spänningsnivåer som kan växla lägen. Svårigheten med digitala system är att testa tillförlitligheten hos dem, att vara säker på att de ger rätta svar, att de är rätt programmerade. Sådant programmeringsarbete fordrar inblick i Boolesk algebra. Fysiska fel på kretsar kan också uppstå. Riskerna ökar med komplexiteten hos systemet. För att uppnå en säker funktion införs ibland, t ex i telefonväxlar, redundans, d v s man har parallella system för att utföra samma funktioner. Övervakning av satelliter är ett annat viktigt område där säker drift krävs. Det finns ofta vad man kallar "self testing" eller "self checking circuits". Begreppet "fault tolerant" finns också och innebär att ett system fungerar trots ett fysiskt fel. För att förstå hur de digitala logiska

systemen fungerar kan man utgå från de grundläggande binära operationer de skall utföra och se hur de kan realiseras. Engelska beteckningar används, då de lättare urskiljs i texten.

För de binära operationerna finns fyra grundläggande funktioner: OR, AND, NOT och FLIP-FLOP. Dessa kan realiseras i logikkretsar med dioder, bipolära transistorer, ECL-kretsar, CMOS etc. Med dem kan två (spännings-)lägen realiseras som svarar mot logisk "etta" ("1") eller "nolla" ("0"):

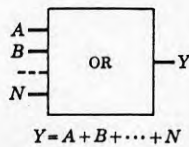


Figur 3.13:13. Positiv och negativ logik

Figurerna visar definitionen av a) positiv logik, b) negativ logik. De numeriska värdena av spänningarna, t ex  $V(0) = -1V$ , är godtyckligt valda. Övergång mellan lägen sker vid  $t = t^1$ . Omslag utlöses genom någon puls, t ex klockpuls, som krävs för funktion av minnen.

Enligt IEEE representeras "OR" (man lägger ofta till ordet gate på svenska grind) av följande scheman:

$Y = A+B+ \dots N$   
Enl. IEEE

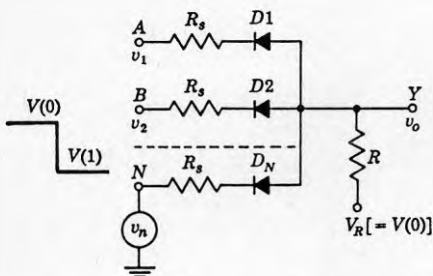


Input		Output
A	B	Y
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

Boolesk "sanningstabell" för OR-grind med två ingångar

Figur 3.13:14. Logisk OR-krets gångar

Figur 3.13:15. Kretsrealisering av "OR" med dioder i negativ logik.



För ingångsspänning  $V = 0$  leder ingen diod; för negativ spänning leder alla dioder

Kan också realiseras t ex med ECL (emitterföljare)-kretsar

Motsvarande Booleska operationer, om A, B och C endast kan antaga värdena 0 och 1, och vid positiv logik:

$$A+B+C = (A+B)+C = A+(B+C)$$

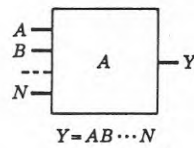
$$A+B = B+A$$

$$A+A = A$$

$$A+1 = 1$$

$$A+0 = A$$

För en "AND"-grind ("och"-grind) gäller enligt IEEE:



Input		Output
A	B	Y
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

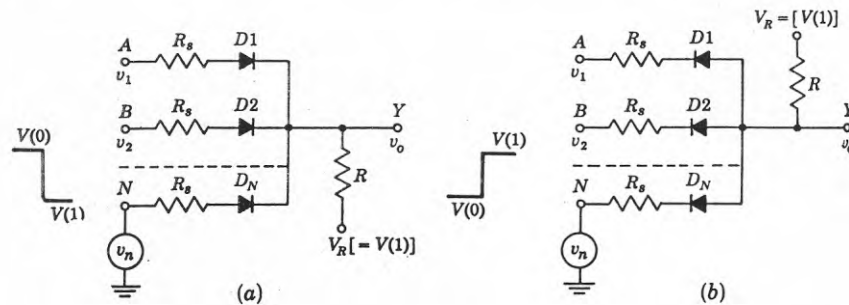
Boolesk sanningsstabell

$$Y = A \cdot B \dots \cdot N$$

Enl. IEEE

Figur 3.13:16. Logisk AND-krets

Negativ och positiv logik för AND-grind



Figur 3.13:17. Negativ och positiv diodlogik för AND-grind

Logiska operationer (Boolean algebra) för en AND-grind, där  $A, B, C = 1$  eller  $0$ .

$$ABC = (AB)C = A(BC)$$

$$AB = BA$$

$$AA = A$$

$$A1 = A$$

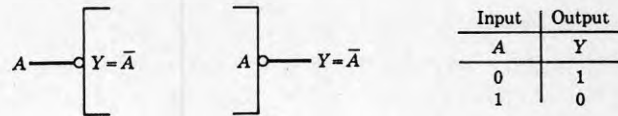
$$A0 = 0$$

$$A(B+C) = AB + AC$$

Slutligen visas motsvarande för en "NOT" eller "INVERTER"-grind

Enligt IEEE:

Sanningstabell:



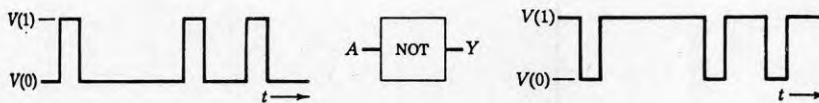
Figur 3.13:18. Logisk NOT(INVERTER)-krets

Logisk negering:

- a) vid ingång av ett logiskt "block"
- b) vid utgång av ett logiskt "block"

En logisk negering genomförs med en "NOT"-krets:

Blockschema för kretsen

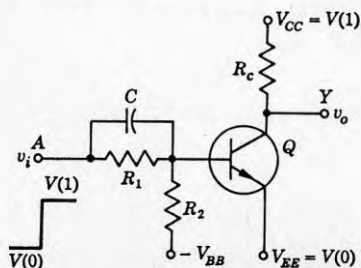


Figur 3.13:19. Blockschema för NOT-krets med pulståg

Pulserna på in- och utgång visar att det är en invertering

Figur 3.13:20. NOT-krets med positiv logik

Kretsutförande:



Detta är en NOT-krets med positiv logik. Med en p-n-p-transistor kan kretsen göras med negativ logik

Märk logiska samband:

$$\begin{aligned} \overline{\overline{A}} &= A \\ \overline{A} + A &= 1 \\ \overline{\overline{A}A} &= 0 \\ A + \overline{AB} &= A + B \end{aligned}$$

Andra logiska operationer är:

INHIBIT (Upphävning):

Denna innebär att om  $A = 1, B = 1, \dots, M = 1$ , är  $Y = 1$ , om  $N = 0$ .

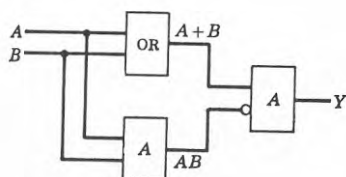
N har INHIBIT-funktion, som åstadkoms om en ingång N på en AND-grind föregås av en NOT-krets. Om  $N = 1$  fås "INHIBIT" och  $Y = 0$ . Eftersom koincidenser av A, B, ... M upphävs i detta fall, kallas också kretsen för en antikoincidenskrets.

EXCLUSIVE OR (OE) ("Uteslutande eller"):

Utgången på en "EXCLUSIVE OR"-krets med två ingångar antar värdet "1" om en och endast en av ingångarna antar värde "1".

Logisk algebra:

$$Y = (A+B)(\overline{AB})$$



Figur 3.13:21.

Blockschema för "OE"-operation. Andra representationer för "OE" går att göra.

Motsvarar:  $Y = (A+B)(\overline{AB})$

Den vanliga OR-grinden kan också benämnas "INCLUSIVE OR"

Från det genomgångna kan logisk algebra sammanfattas sålunda: Om alla ingångar är sanna ("ettor"), är utgången sann ("etta"), vilket logiskt innebär: Om åtminstone en ingång är "falsk" ("0"), är utgången "falsk" ("0"). I Booleskt språk:

$$ABC \dots = \overline{\overline{A} + \overline{B} + \overline{C} + \dots}$$

Om komplementet (representeras av toppstrecket) av båda sidor tas:

$$\overline{ABC \dots} = \overline{A} + \overline{B} + \overline{C} + \dots \quad (\text{Märk: } \overline{\overline{A}} = A)$$

Detta samband och dess dubblett (som kan bevisas på liknande sätt):

$$\overline{\overline{A} + \overline{B} + \overline{C} + \dots} = \overline{\overline{A} + \overline{B} + \overline{C} + \dots}$$

kallas "de Morgans" lagar. Därmed är de grundläggande logiska operationerna genomgångna och sammanfattas i följande tabell:

## Sammanställning av grundläggande logiksamband (Boolean identities)

### Fundamental laws

OR	AND	NOT
$A + 0 = A$	$A0 = 0$	$A + \bar{A} = 1$
$A + 1 = 1$	$A1 = A$	$A\bar{A} = 0$
$A + A = A$	$AA = A$	$\bar{\bar{A}} = A$
$A + \bar{A} = 1$	$A\bar{A} = 0$	

### Associative laws

$$(A + B) + C = A + (B + C) \quad (AB)C = A(BC)$$

### Commutative laws

$$A + B = B + A \quad AB = BA$$

### Distributive law

$$A(B + C) = AB + AC$$

### De Morgan's laws

$$\overline{AB \dots} = \bar{A} + \bar{B} + \dots \quad \overline{\bar{A} + \bar{B} + \dots} = \bar{A}\bar{B} \dots$$

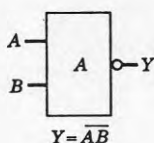
### Auxiliary identities

$$A + AB = A \quad A + \bar{A}B = A + B$$

$$(A + B)(A + C) = A + BC$$

NAND = NOT AND-grind

### Sanningstabell



Input		Output
A	B	Y
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Jfr tabell för "AND"

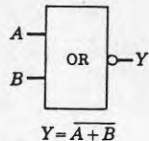
Figur 3.13:22. NAND = NOT AND grind

Om endast en ingång finns blir NAND-grinden samma som en NOT-grind.

NOR = NOT OR-grind

En logisk negering efter en OR-operation kallas NOT-OR eller NOR-grind

### Sanningstabell



Input		Output
A	B	Y
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

Figur 3.13:23. NOR = NOT OR grind

De anförda logiska kretsarna kan användas för att utföra olika operationer, som addition och multiplikation. Att detta som synes enkla system med nollor och ettor kan användas att utföra komplicerade beräkningar i datorer beror mycket på att ett väldigt stort antal instruktioner (miljontals) kan utföras på mindre än en sekund. Förutsättningen är emellertid att alla talstorheter skrivs i binär form, d v s med talet 2 som bas. Det vanliga decimalsystemet har 10 som bas, exempelvis:

$$\text{Talet } 231 = 10^0 + 3 \cdot 10^1 + 2 \cdot 10^2 = 1 + 30 + 200 = 231.$$

I **binär** representation måste talet skrivas i potenser av 2.

Hos decimalrepresentationen kan finnas koefficienter 0, 1, 2 ... 9, medan binärt förekommer bara 0 och 1:

T ex 101001 betyder (läs från höger):

$$\begin{aligned} 1 \cdot 2^0 + 0 \cdot 2^1 + 0 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^3 + 0 \cdot 2^4 + 1 \cdot 2^5 &= \\ = 1 + 0 + 0 + 8 + 0 + 32 &= 41 \end{aligned}$$

Hur skrivs 231 binärt?

Man söker först den högsta potensen av  $2 \leq 231$

$$\text{Alltså } 2^7 = 128 \text{ med rest } 231 - 128 = 103$$

Sök nästa högsta potens av  $2 \leq 103$

$$2^6 = 64, \text{ rest } 39$$

$$2^5 = 32, \text{ rest } 7$$

$$2^2 = 4, \text{ rest } 3$$

$$2^1 = 2, \text{ rest } 1$$

$$2^0 = 1$$

Således skrivs 231 binärt: 11100111

$$\text{Ty: } 2^0 + 2^1 + 2^2 + 0 \cdot 2^3 + 0 \cdot 2^4 + 2^5 + 2^6 + 2^7 = 1 + 2 + 4 + 32 + 64 + 128 = 231$$

Ibland används andra baser som 8 och 16, vilket är vanligt i mikrodatorer och mikroprocessorer.

Vid representation av tal har man då en rad av bitar (celler), som var och en representerar en position i den binära talrepresentationen.

Något skall anföras om de mellansteg och andra hjälpmedel som finns för att utföra binära operationer. Man brukar referera till "0" och "1" som "logiska nivåer".



## Binär addition

En dator kan byggas med den enda aritmetiska processorn addition-subtraktion. Multiplikation respektive division är upprepad addition respektive subtraktion, som kan åstadkommas genom instruktioner från ett program.

Om man tänker sig två decimala tal som skall adderas, vet vi att man skall börja med den minst signifikanta positionen. Blir summan 10 eller större förs skillnaden över till nästa position osv. Binär addition görs likadant. Här kan man dock börja med att addera de

mest signifikanta delarna, t ex  $2^K$ , men samtidigt måste överföring ("carry") ske från närmast lägre  $2^{K-1}$ , om ett överskott finns. Additionen kan leda till en närmast högre potens  $2^{K+1}$  om överskott bildas osv.

En "adderare" med två ingångar kallas "hälften-adderare" (HA = half adder), då två sådana behövs för fullständig addition. Till en början visas sammansättningen av "half adder-subtractor" med logiska grindar för att sedan gå vidare till en "full" eller "complete" adder-subtractor.

En dylik adderare-subtraherare har två ingångar, A och B, representerande de "bitar" (med nollor eller ettor) som skall adderas eller subtraheras. Antalet utgångar är tre, D för positionen, d v s exponenten med samma signifikans som A och B representerar, C för "carry" (överförarbiten) och P för "lånebiten" vid subtraktion. För addition används D och C, för subtraktion D och P.

Symbol för hälften-adderare-subtraherare

Sanningstabell

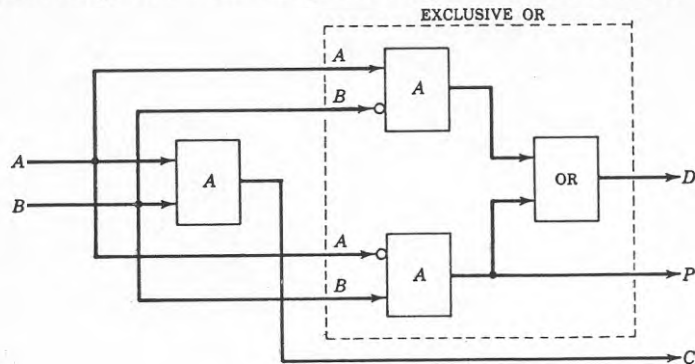
Input		Output		
A	B	D	C	P
0	0	0	0	0
0	1	1	0	1
1	0	1	0	0
1	1	0	1	0

Figur 3.13:24. Halv-adderare/subtraherare, symbol och sanningstabell

OBS! Kolumn D ger summan av A och B så länge summan kan representeras med en siffra. Detta stämmer i de tre första raderna. I sista måste en del överföras till närmast högre, varför C = 1. De kan bara ge samma signifikans som A och B.

Från sanningstabellen, där P blir "1", när B är större än A, kan ses att D är en OE-funktion, C motsvarar AND-grind och P följer logiken "B och ej A".

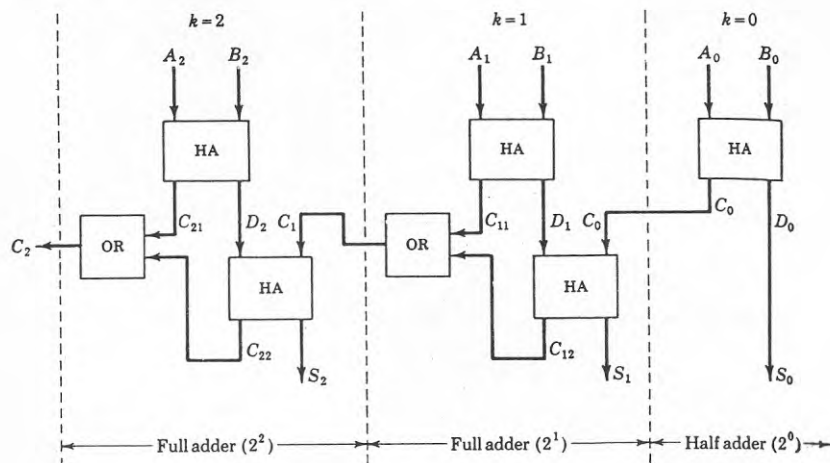
Blockdiagram för HA, enligt ovanstående logik:



Figur 3.13:25. Blockschema för halv-adderare/subtraherare

### Parallell operation

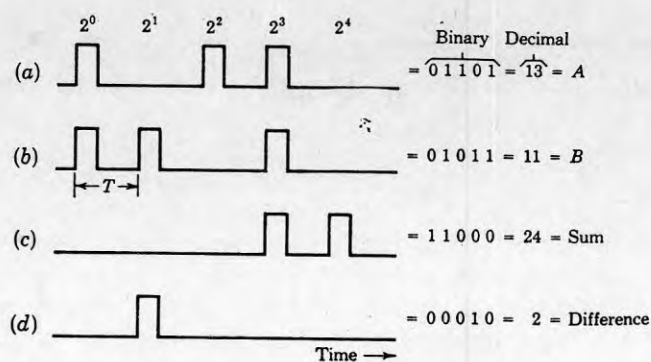
Två flersiffriga tal kan adderas i serie (seriellt), en kolumn i taget eller parallellt, alla kolumner samtidigt. I det senare fallet finns för ett n-siffrigt, binärt tal i kretsen förutom en gemensam jord n signalledningar. Den k:e linjen för tal A eller B aktiveras av  $A_k$  eller  $B_k$ , d v s biten för  $2^k$ -positioner ( $k = 0, 1 \dots, n$ ). En parallell binär adderare visas nedan. Alla positioner utom den minst signifikanta,  $2^0$ , behöver ha två HA i kaskad.



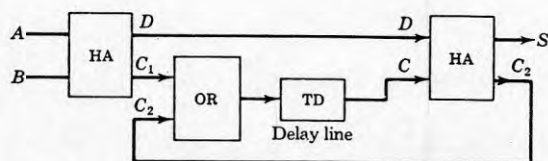
Figur 3.13:26. Halvledare som bildar en parallell binär adderare

### Serieoperation

I en seriell adderare utgör ingångarna A och B (se nästa figur) mottagare av synkrona puls-tåg till två linjer i datorn. Exempel på addering seriellt med svar samt resultat av en subtraktion framgår av följande bilder:



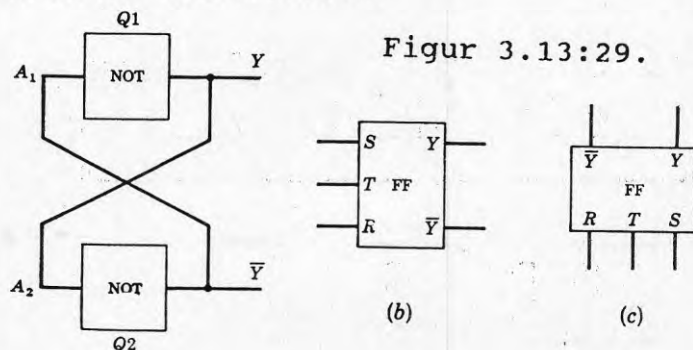
Figur 3.13:27. Pulsform för storhet A och B samt summa och differans



Figur 3.13:28. Binär serieadderare bestående av två halvadderare

**Register**

Förutom de tidigare behandlade logiska kretsarna (grindarna) AND, OR och NOT behövs i många system ett fjärde viktigt element, en FLIP-FLOP (bistabil vippa). Den består av två NOT-kretsar sammankopplade som visas nedan. NOT-kretsen kan vara utförd som en transistor-INVERTERARE.



Figur 3.13:29.

Den mest framträdande egenskapen hos FLIP-FLOP-kretsen är att den kan förbli konstant i ett läge där en transistor, t ex Q<sub>1</sub> är i tilläge medan Q<sub>2</sub> är i från-läge. Ett annat stabilt läge inträffar, när Q<sub>2</sub> är till och Q<sub>1</sub> från. På detta med två stabila lägen kan FLIP-FLOP-kretsen användas för lagring av information om storleken en "bit" Härav kallas också kretsen BINÄR.

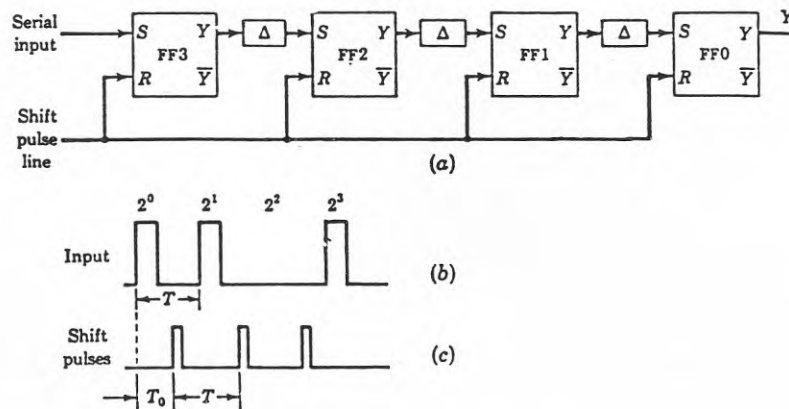
Utgången  $Y$  i kretsen kan tas från en transistorkollektor. Den kan ha två spänningsnivåer, som svarar mot antingen  $Y = 1$  eller  $Y = 0$ . Den andra utgången kan betecknas  $\bar{Y}$ . Då har FLIP-FLOP-kretsen två stabila lägen  $Y = 1, \bar{Y} = 0$  och  $Y = 0, \bar{Y} = 1$ . Som framgår av blockschemat finns en triggringsingång  $T$  dessutom  $S = \text{"Set"}$  och  $R = \text{"Reset"}$ . Aktivering av "Set" innebär att FLIP-FLOP-kretsen intar läge  $Y = 1$ . Om den redan är i detta läge ändras det ej. Med aktivering av "Reset" fås läge  $Y = 0$ . Även nu sker ingen ändring om  $Y = 0$  gäller. Med en triggringssignal på  $T$  ändras kretsens läge oavsett befintligt läge. Successiva signaler på  $T$  orsakar en överföring och  $T$  kallas "komplementäringång". Detta slag av aktivering utgör "symmetrisk" triggring och används i binära räknare och andra tillämpningar. "Osymmetrisk" triggring genom  $S$  eller  $R$  är mest användbar i logiska tillämpningar.

### Ettordsminne (One-Word Memory)

För utförande av aritmetiska operationer med tal som är lagrade i datorns huvudminne, t ex addition av två tal, går det ej att ta bort båda samtidigt. Ett av dem måste därför lagras temporärt i ett "ettordsminne" (BINÄR-krets), som kallas register.

### Skiftregister

Skiftregister kännetecknas av att de har en särskild ingång för "skiftpulsen". Registret används för att minska tidsfördröjningen, vilket sker genom ett särskilt pulståg. Allmänna uppbyggnaden framgår av bild nedan.



Figur 3.13:30. Skiftregister

En annan typ av register finns för att flytta bitarna ett steg till höger eller vänster. Benämningen "ord" är viktig, då den svarar mot representationen av binära tal. "Ordlängden" = antal bitar, en bit för varje position, plus en extra för tecknet (+/-), ibland också för decimalkomma. Vid s k "flytande" talrepresentation anges talet efter exponentiell form. Man har också s k dubbel precision, när hög noggrannhet krävs. Till varje lagring av tal eller instruktion hör en address så att informationen kan återfinnas. Denna är också i binär form.

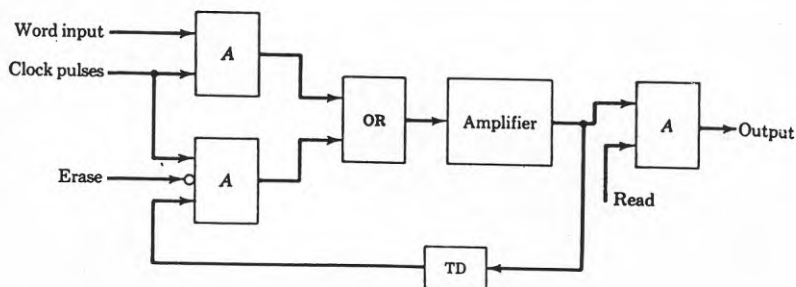
### **Dynamiskt register**

Om ett pulståg som redan finns i datorn skall lagras, erhålls för detta ett mer "ekonomiskt" dynamiskt minne genom att skiftregistret ersätts med en s k fördröjningslinje (delay line). Pulståget, i form av ett "ord", införs i ena ändan av fördröjningslinjen, med fördröjning  $TD = \text{tidsländen av "ordet"}$ . Utgångssignalen återförs till ingången, så att "ordet" fortsätter att cirkulera i en sluten bana. Bild nedan visar ett sådant register. Synkronisering mellan det cirkulerande pulståget och pulser i andra delar av datorn krävs, eftersom "ordet" kan utföra många loopar, och om den totala loopfördröjningen är bara litet felaktig kan det ackumuleras ett stort fel. Därför finns åtgärder (ej visade i bilden) för att säkerställa synkronisering och återställa pulserna, som kan dämpas och förvridas vid varje "resa" i loopen. Om en operation skall upprepas ett antal gånger finns binära "räknare" som håller reda på antalet genomförda operationer.

Pulståget cirkulerar och återkommer ständigt vid utgången. Registret kan "läsas" på ett oförstörande sätt genom att "read"-ledningen aktiveras till utgångens AND-grind med pulser till antalet lika med antalet bitar i ett ord. Registret kan nollställas genom "erase"-funktion i "INHIBITER"-kretsen i loopen. För att "sudda" ut ett n-siffrigt ord krävs n på varandra följande "erase"-pulser, som är koincidenta med klockpulsen. Alternativt kan en enda puls användas, om dess varaktighet motsvarar hela ordlängden.

För att representera ett tiosiffrigt tal i decimal form behövs 34 bitar. Om klockpulsen har frekvensen 2MHz tar då ett ord 17  $\mu\text{sek}$ . Om hela minnets kapacitet i datorn är 1000 ord skulle en enda fördröjningslinje, 17 millisek lång, kunna försörja hela lagringsminnet. En allför lång väntetid uppstår emellertid, innan ett ord blir tillgängligt. Som en kompromiss mellan snabbhet och fysiskt utförande skulle 50 linjer om 20 ord (340  $\mu\text{sek}$ ) var kunna utnyttjas.

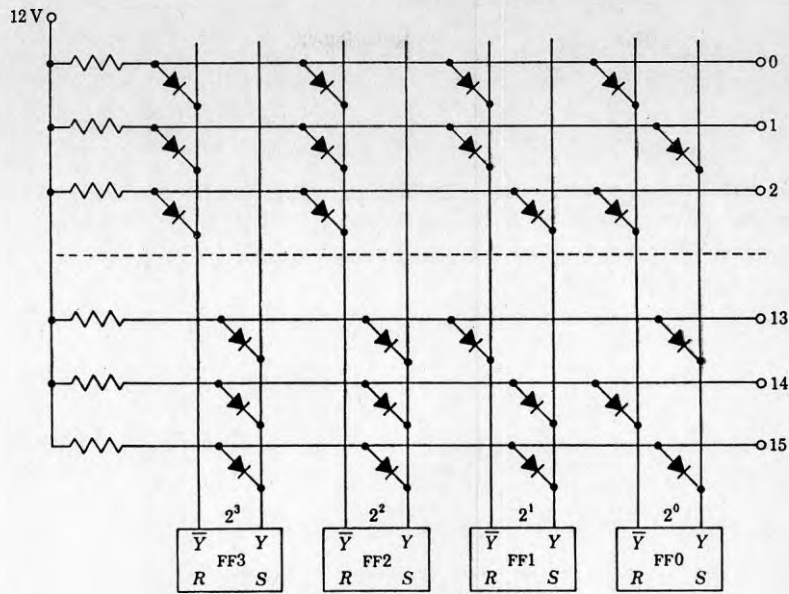
Den gjorda framställningen bygger på tidigare utföranden. I moderna datorer har snabbheten ökat väsentligt, kanske framför allt med snabbare minnen av hög kapacitet och utvecklade hårdvara (chips) med högre packningstäthet och kortare förbindningar. Avsökning av stora minnesareor tar endast nanosekunder i anspråk. För den principiella framställningen är det enklare att referera till grundutföranden, som här skett. Ett dynamiskt minne visas nedan.



Figur 3.13:31. Dynamiskt register med fördröjningslinje (TD)

#### Diodmatriser eller kodopererade switchar

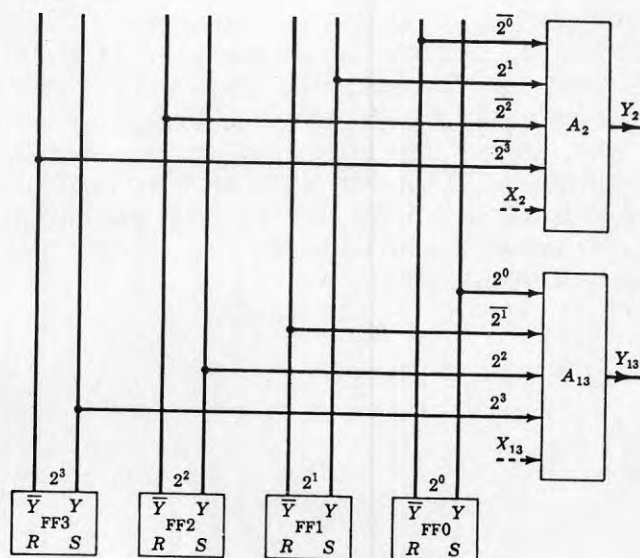
Som tidigare antytts övervakas i datorn såväl talrepresentationer som instruktioner (för att utföra de olika operationerna som också sker genom digital styrning) med binära nivåer eller pulståg. Om t ex 4 bitar reserveras för att övervaka instruktioner, blir 16 olika instruktioner möjliga. Denna information sägs vara binärt kodad. För detta krävs ett sk "translational network", också kallat "multipositionsswitch", som kan operera enligt koder. För var och en av de 16 koderna behöver alltså bara en linje aktiveras. Processen att indentifiera en viss kod kallas "decoding" (avkodning). Betrakta ett 4-bits register för lagring av koderna. De fyra FLIP-FLOP:s, de 16 utgångslinjerna och ett avkodningsnätverk med dioder visas i nästa figur. På grund av uppställningen av linjerna, schematiskt, i 16 rader och 8 kolumner kallas systemet "rektangulär diodmatris". Det bör uppmärksammas att avkodaren utgörs endast av en diod-AND-grind.



Figur 3.13:32. 16-positions kodopererad switch

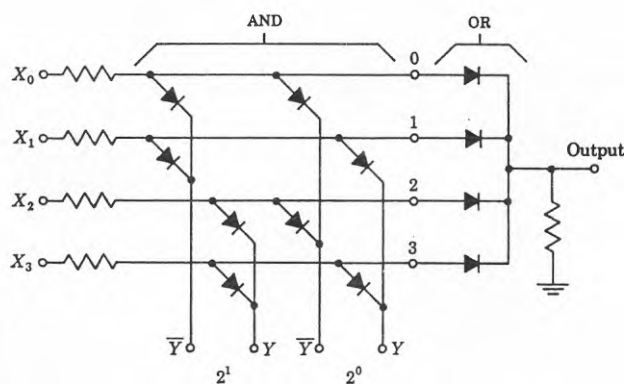
### Avkodningstillämpning

Antag att för en speciell kod, t ex 1101, önskas att en signal  $X_{13}$ , i form av ett pulståg, införs på linje  $Y_{13}$ . Detta åstadkoms, som visas i följande figur, genom att lägga till en femte ingång  $X_{13}$  och en femte diod till AND-grunden, som kontrollerar utgång  $Y_{13}$ .



Figur 3.13:33. Avkodning (decoding) av linje 2 och 13 i 16-positionsswitch jfr figur 3.13:32

I föregående exempel kan naturligtvis varje kod kontrollera en annorlunda signal  $X_k$  på linje k. Om man istället för denna parallelloperation önskar att alla signaler uppträder seriellt på en linje - men varje signal motsvarar sin egen kontrollkod - ansluts ingångarna  $Y_k$  i föregående figur till en OR-grind. Denna konstellation är exempel på tvånivå AND-OR-logik. En alternativ, något enklare lösning visas i nedanstående figur. Den har dock nackdelen att standardlogik ej används.



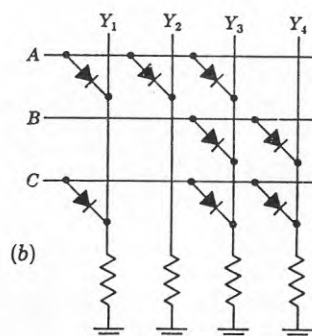
Figur 3.13:34. En kodopererad switch för direktstyrning av fyra signaler till samma linje

### Inkodningsprocessen (Encoding process)

Den föregående avkodningsprocessen karakteriseras av att en binär kod inför läge "1" på en enda bland ett antal utgångslinjer. Till exempel, som visas i bilden med 16-positionsopererad switch, väljer koden, lagrad i FLIP-FLOP:s, ut vilken som helst av 16 kanaler. Den använda processen kallas "inkodning" (encoding). Det finns ett antal ingångslinjer och en kod genereras beroende på vilken av kanalerna som är i binärt läge "1". Som exempel tas fallet då det finns tre ingångar. Koden skall ha 4 siffror. Detta representeras av tabellen i nästa figur.

Input	Outputs			
	$Y_1$	$Y_2$	$Y_3$	$Y_4$
A	1	1	1	0
B	0	0	1	1
C	1	0	1	1

(a)



(b)

Figur 3.13:35. Inkodare (encoder).  
Diodmatrisen i b följer tabellen i a.



Tabellen skall tolkas att betyda att om  $A = 1$ , gäller

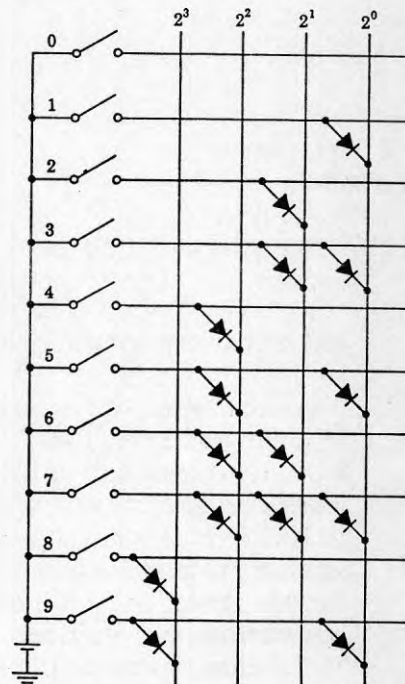
$$Y_1 = 1 \quad Y_2 = 1 \quad Y_3 = 1 \quad Y_4 = 0 \text{ osv}$$

Uppenbart fordras anslutning av OR-grind vid varje utgång, emedan:

$$Y_1 = A+C \quad Y_2 = A \quad Y_3 = A+B+C \quad Y_4 = B+C$$

Diodmatrisen för denna inkodare (encoder) visas i föregående figur.

I följande figur visas en binärkodad decimal (BCD) inkodare som omvandlar decimaltalen 0, 1, 2 ... 9 till binärkod. För permanent lagring skulle "set"-terminalen S på en FLIP-FLOP anslutas till varje utgångskanal. "Reset"-linjen R skulle anslutas från "0"-linjen. Hela processen innebär således både avkodning och inkodning.

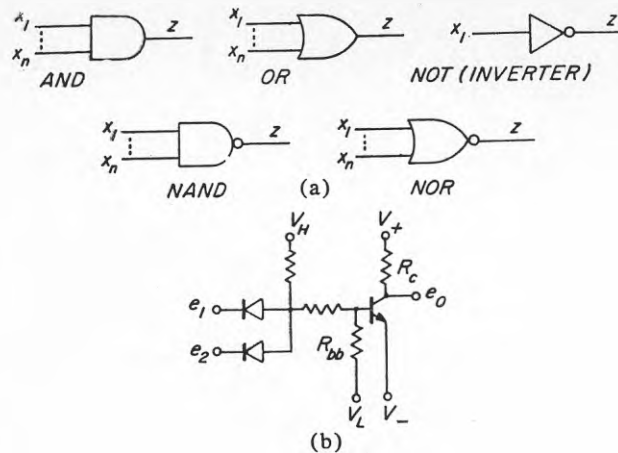


Figur 3.13:36. Inkodarmatris för att omforma decimala tal till binär kod (BCD)

Slutligen skall nämnas några andra former för logik-kretsar

- DTL = diod-transistor-logik
- RTL = resistor-transistor-logik
- RCTL = resistor-kopplad-transistor-logik
- DCTL = direkt-kopplad-transistor-logik
- ECL = emitter-kopplad-logik (emitterföljare).

Schematisk framställning av logikkretsar ger följande kopplingsfigur en uppfattning om:



Figur 3.13:37. Schemarepresentation av logiska grindar

### 3.14 MINNEN

Med hjälp av logikkretsar går, som visats, att utföra olika operationer med binära storheter. Operationerna styrs av instruktioner, också binärkodade. Dessutom kunde en FLIP-FLOP användas för lagring av binärt tal; den fungerar som "minne". Minnet spelar alltså en central roll. Olika typer av minneskretsar har utvecklats. I dessa går det att såväl skriva, tillföra information, som att läsa och hämta information. Ett system med ett stort antal logikkretsar och stor minneskapacitet jämte möjligheter för inläsning och utskrift av tal, data, och instruktioner samt försedd med synkroniseringsanordning, klocka, kan vara en grov beskrivning av vad vi kallar en "dator". Dess arbete sker efter instruktioner som datorn får via "programmeringen". Denna görs via ett sk dataprogram, som från början kan innehålla de kodade instruktionerna, källkoden. Vanligen sker dock programmering via något programspråk, antingen ett lågnivåspråk, nära källkoden, eller ett högnivåspråk, nära problemformuleringen. Programmet "kompileras" då i datorn för att anpassas till det binära språket. Vanliga högnivåspråk är som bekant FORTRAN, ALGOL, SIMULA, PASCAL, C-språken.

Data kan läggas i en "fil", en sträng av informationsbitar. Instruktioner finns för tillförelse och hämtning av information liksom öppning och stängning av filen. Den enhet som utför operationerna efter ett visst program kallas centralprocessorn, som kräver hög minneskapacitet. System som kan kodas och om-

kodas med hjälp av instruktioner från ett program för att utföra olika uppgifter (t ex problemlösning) kallas som sagt dator ("computer"). Ett system som är kodat att alltid utföra likartade uppgifter utgör en "processor" och har funnit en omfattande och mycket varierande tillämpning för styrning och reglering. Den ordlängd som används i dem karakteriserar i viss mån deras förmåga. Man kan nämna 8-bitars, 16-bitars och 32-bitars processorer som i modernt utförande också kallas "mikroprocessorer". Dessa är på sätt och vis en mikrodator. På grund av den höga integrationsgrad för elektroniska kretsar som nåtts kan ett enda chip ( $\approx 5 \times 10 \text{ mm}$ ) innehålla en dators hela centralenhet.

Minnen utgör i dag avancerade komponenter som karakteriseras genom antalet bitar för binär lagring. Man kan nämna en utvecklingsserie som 1K-bitar, 4K, 8K, 16K, 64K, 256K 1M-bit, 2M, 4M, 16M. Minnen karakteriseras också av egenskapen att kunna byta information eller ej. Provet på de senare är ROM = Read Only Memory. Med PROM förstås programmerbart minne (Programmable ROM). EPROM = Electrically Programmable ROM, som går att radera och omprogrammera. Ursprungligen tillgick programmering så, att vissa metallförbindningar smältes av.

EEPROM = Erasable EPROM. Vissa minnen kan "raderas" med hjälp av ultraviolett ljus. Ett glasfönster på locket av minnets kapsel möjliggör detta. Moderna minnen av stor betydelse är den så kallade RAM-familjen. RAM = Random Accessible Memory. Förut angavs spänningsnivån som minnesrepresentation. I RAM utgörs informationen av laddningar i cellerna, som kan jämföras med små kondensatorer ( $4 \times 5 \mu\text{m}$  och mindre). Dessa realiserar i chips (små kiselbrickor  $\approx 4 \times 5 \text{ mm}$ ) som kan innehålla 100 000-tals kretselement.

Till dessa minnen hör naturligtvis komplicerade instruktioner för läsning, skrivning och radering. Implementering sker via så kallade bit-line och word-line, som jämte avsökningstiden i hög grad karakteriserar minnets effektivitet. En så kallad "refresh cycle" återställer eventuella felaktigheter och bevarar informationen (t ex om laddningen i cellen delvis läckt bort). Dessutom krävs minnesskydd för att informationen ej skall störas av t ex felaktiga program. Man skiljer mellan centralt minne (i centralprocessorn, som används för exekvering av ett program) och yttre minnen. De senare kan vara magnetiska skrivminnen (disk), magnetband (tape). Radskrivare används för direktutskrift av resultat. Detta kan också läggas i en "fil", t ex i form av disk. Förr användes stansade hålremсор. Som centralminne används fortfarande så kallade magnetiska trumminnen, fastän som sekundärminne med utbyte endast med primärminnet. I de numera vanliga persondatorerna (PC) har man små diskar (disketter). Här kan nämnas att mikroprocessorer ingår i PC och andra datorer.

Ett sätt att ytterligare skydda informationen i centralenheten är s k dumpning, vilket innebär att all information med vissa mellanrum flyttas ut på ett yttre minne för att ej gå förlorad vid ett avbrott (bortfall av matningsspänning). Batteriuppbäckning av datorer förekommer också. En ännu ej nämnd men dock självklar enhet är s k analog-digitalomvandlare, nödvändig vid inmatning av avlästa instrumentvärden; se nedan. Med denna omvandlas analoga storheter till digitala, som datorn kan bearbeta; se nedan:



I s k smarta hus kan hela kontroll- och övervakningssystemet styras från en dator, men alla "givares" och "sensorers" operationer aktiveras direkt genom inkopplade mikroprocessorer. Dessa spelar alltså en mycket viktig roll. Efter exempel på olika minnesutföranden skall därför mikroprocessorerna behandlas närmare.

#### Komponenter som minnen

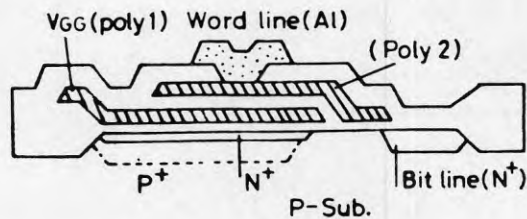
De två vanliga minnestyperna är RAM och ROM. ROM betyder som redan nämnts Read-Only-Memory. Det kan alltså avläsas men det går ej att skriva i det. Används alltså för fast informationslagring, fasta instruktioner. PROM betyder programmerbart minne. Man kan alltså ändra informationen men bara till en ny, som sedan bara kan läsas. RAM betyder Random-Access-Memory dvs minnet kan avsökas godtyckligt och det går att kontinuerligt både läsa och skriva i det. Cellerna i dessa minnen är ordnade i rader och kolumner. Minnena baseras i regel på FLIP-FLOP-kretsar (vippor) eller laddningslagring. Man säger också "flyktiga" och "icke flyktiga" minnen ("volatile" respektive "non volatile"). Informationen i de förra försvinner om matningsspänningen faller bort medan den bevaras i de senare. För realisering av icke flyktigt minne kan en MNOS-struktur användas. Tidigare har nämnts den höga minneskapaciteten hos RAM-minnen. Nu finns DRAM (dynamiskt RAM) 16 Mbit-minnen, men fram till 1994 räknas med både 64M och 256M. De högre minneskonfigurationerna kan byggas upp av lägre och genom "nedskalning" av dimensioner, som är vanlig i den integrerade tekniken (IC). Elektriska funktionerna behålls trots mindre fysikaliskt utförande. Ett 64K-minne kan alltså bestå av 4 x 16K-minnen osv. Till ett minne hör en "klocka" som ger klockpulser för att synkronisera andra parametrar som "access-time" och "refresh cycle". Dessutom finns en "sense amplifier" för avläsning av minnet. Inbyggd matarkrets kan också förekomma. Av RAM-minnena finns både dynamiska DRAM och statiska SRAM.

Tabellen nedan visar parametrarna för ett 64K-minne.

Word organization	64 K words × 1 bit
Chip size	4.3 mm × 7.3 mm
Memory cell size	20 μm × 10 μm
Processor	N-channel silicon gates
Current voltage	5 V single, base plate voltage storage
$I_{CC}$ avg operating current	30 mA (25°C, 5.5 V)
Stand-by current	2.5 mA (25°C, 5.5 V)
$\overline{RAS}$ access time	101 ns (75°C, 4.5 V)
$\overline{CAS}$ access time	54 ns (75°C, 4.5 V)
Refresh time	400 ms Typ. (75°C)
$V_{CC}$ breakdown voltage	Over 10 V

Ett exempel på utförande av en minnescell visas i figuren:

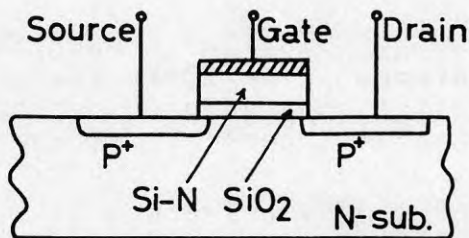
I6K-DRAM  
Minnescell



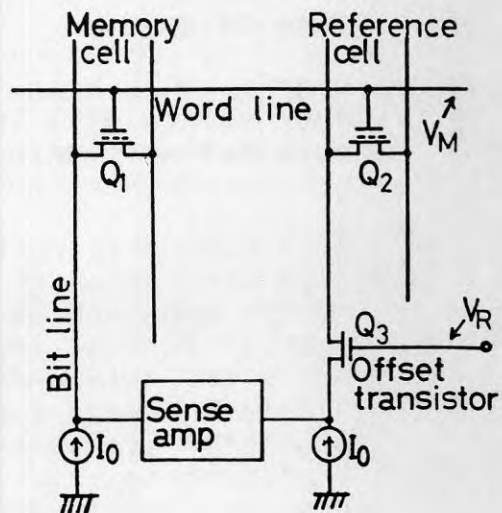
Poly = poly-  
kisel, som  
har ledande  
förmåga

Figur 3.14:1. Minnescell

Motsvarande exempel för MNOS-minnescell:

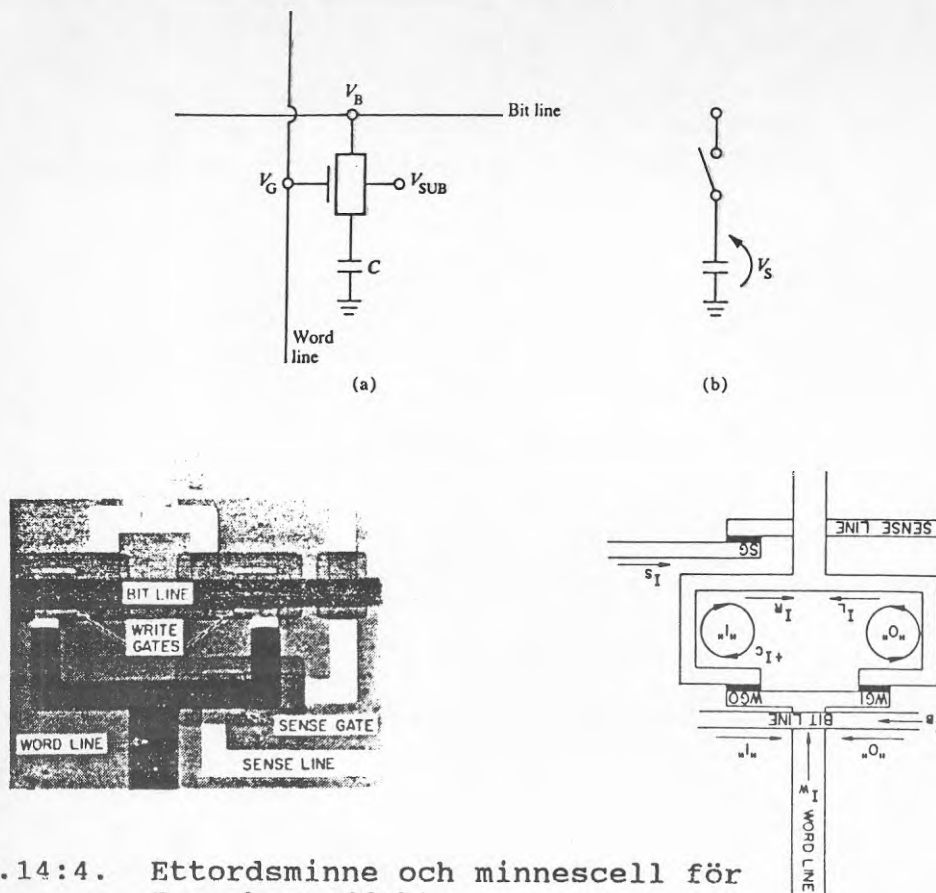


Figur 3.14:2. MNOS-minnescell



Figur 3.14:3. Del av minnesstruktur

Exempel på sk one word memory (ettordsminne) visas nedan jämte minnescell som bygger på Josephson-effekten.



Figur 3.14:4. Ettordsminne och minnescell för Josephsoneffekt

Senaste tillskottet av minnen är *ferroelektriska* minnen. Dessa bygger på att en ferroelektrisk kristall kan uppvisa två stabila magnetiska lägen. De är raderbara och ickeflyktiga och saluförs nu i storlek 4 till 64 Kbits.

Tidigare har magnetiska minnen i form av magnetiska domäner med växlande riktning på magnetiseringen provats men ej kommit till större användning. Även holografiska minnen förekommer.

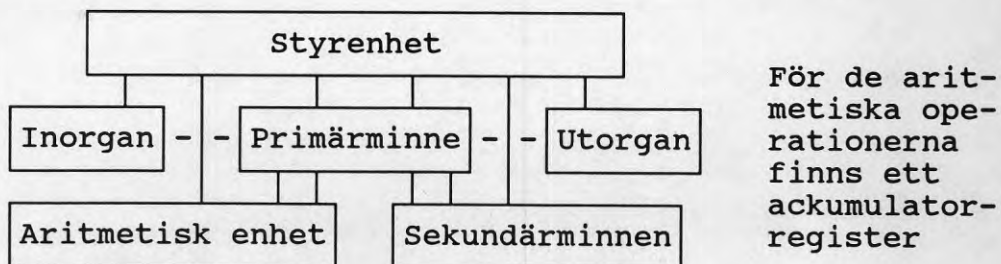
De minnen som arbetar med laddningslagring är känsliga för joniserande strålning. En oladdad cell kan laddas upp, och därmed ändras informationen. Sådana fel kallas "mjuka" till skillnad från "hårda" som beror på fysiska förändringar i själva komponenten, hårdvaran. Dataprogram räknas till mjukvaran. Minnena provas på sina elektriska parametrar och funktioner i komplicerade testutrustningar efter särskilda testprogram. Komponenterna utsätts för fysikaliska långtidstester vid förhöjd temperatur och fuktighet; 85°C och 85 RH (relativ fuktighet) är ett standardprov för elektronikkomponenter. Numera förekommer också sk trykkokarprov, utförda i tryckkammare vid förhöjt tryck och 125-130° eller högre, RH = 90% eller högre.

Detta beror mycket på att komponenterna ofta är monterade i plastkapslar. Mjukvarufelen p g a strålning kan reduceras genom lämplig utformning och läge av cellerna eller ett skyddande lager som absorberar strålningen. Denna kommer vanligen från kapselmaterialet som nästan alltid innehåller spår av uran och thorium med dotterprodukter. Det är de kraftigt joniserande  $\alpha$ -partiklarna (positiva He-kärnor) som trots sin korta räckvidd i kisel utgör största faran.

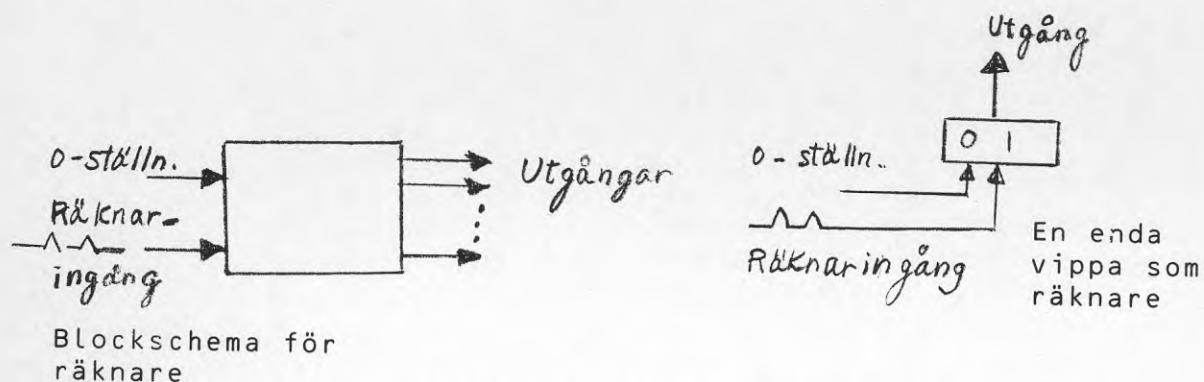
### 3.15 MIKROPROCESSORER

Mikroprocessorer kan ses som datorer i miniatyr med specifika funktioner. En variant utgör s k "micro-controllers".

Det skulle föra alltför långt att i detalj gå in på dessa kretsars uppbyggnad och verkningssätt. Av det föregående kan man få en uppfattning om hur de arbetar då de är uppbyggda av beskrivna element. Vanliga kretsar utom vippor och dylikt är ROM, PROM och RAM; in- och utorgan för att ta emot och sända ut pulser (signaler). Använd i styr- och reglersammanhang tar processorn mot pulser som representerar någon sensor eller givare. För att koppla samman alla signaler och ge rätt "utmeddelande" är processorn programmerad i överensstämmelse med önskade "tillstånd" i den miljö som skall regleras eller övervakas. Man kan säga att processorn läser den situation i miljön som insignalerna ger besked om. Den tolkar först tillståndet och utför efter "inre" databehandling nödvändig åtgärd, operationer enligt Boolesk algebra. För detta har processorn en CPU (centralenhet) och olika register, mellan dessa finns en kommunikationslinje, benämnd "bus" som överför data mellan processdelarna. En klockkrets ger synkroniseringspulser, oscillatorfrekvens av storleksordning 2 MHz tidigare har räknarfunktionen omnämnts. Nedan visas först ett förenklat datablockschema för arkitekturen av processorerna:



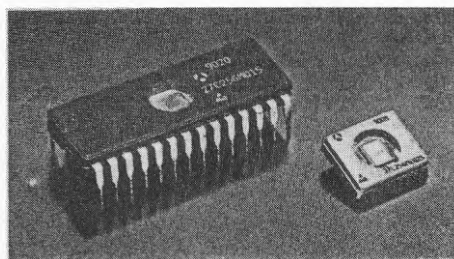
Figur 3.15:1. Organisation av en fiktiv dator



Figur 3.15:2. Räknare, blockschema och vippa

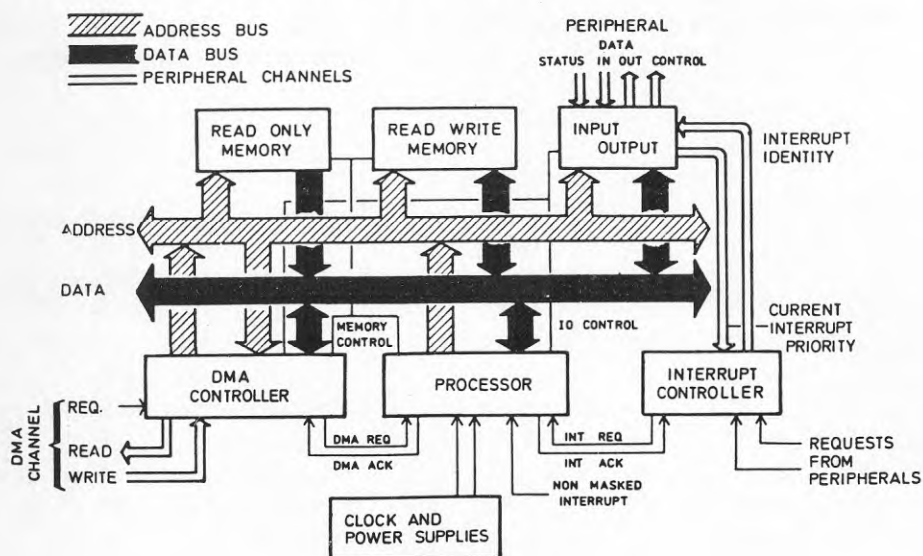
En processor innehåller såväl program- som dataminne. Leverantörernas handböcker för processorer och "controllers" innehåller detaljerad beskrivning av uppbyggnad och funktion jämte prestationsnivåer för alla kretsdelar. Minnesstorleken anges ofta i bytes, en byte = 8 bitar. ROM är det vanliga minneselementet. En 8-bits "mikro-controller" kan utföras i CMOS-teknik på ett enda chip (kretsbricka).

Olika kapslingsutföranden finns, som framgår av figuren nedan:



Figur 3.15:3. Kapslingar, EPROM

Det allra senaste bland mikroprocessorer är den s k RISC-processorn, uppkallad efter namnet på den "arkitektur" som används, RISC. Det är en 32 eller 64-bitars processor med parallella funktioner och yttre klockfrekvens, 50 MHz (75 och 100 MHz torde snart bli realiserat). RISC = Reduced Instruction Set Computer. Den kan utföras med CMOS-teknik.



Figur 3.15:4. Exempel på mikroprocessorarkitektur



### 3.16 GRINDMATRISER

Liksom på andra områden har många och olika tillämpningar och erfarenheter med LSI (Large Scale Integration), VLSI (Very Large Scale Integration), ULSI (Ultra Large Scale Integration) och VHSIC (Very Large High Speed Integration) lett till standardiserings- och rationaliseringsåtgärder. Man utgår från ofta använda grundlösningar och kombinerar dessa efter den funktion som skall realiseras. För konstruktion av kretsen i kisel används numera vanligen någon CAD-metod (Computer Aided Design). Man kan då ha grundlösningarna i form av ett mjukvarubibliotek, varifrån behövlig mjukvara hämtas för konstruktionen. I biblioteken finns såväl enstaka kretsar som block av kretsar (förstärkare t ex).

När det gäller logikkretsar kan leverantörer utföra en fördiffusion (prediffusion) av ett antal grindar. Kunden får själv utföra metalliseringen, som skall knyta samman kretsarna till önskad funktion. De fördiffunderade kretsarna kallas "grindmatriser" (gate arrays). Kunden kan också själv ge hela den integrerade kretsens (IC) utseende. Man talar om helt och delvis kundanpassade kretsar (custom and semi-custom circuits).

Grindmatriser har blivit allt vanligare. Logikkretsarna kan bygga på TTL-, ECL-, CMOS-logik osv. De olika leverantörerna erbjuder sina speciella lösningar.

En särskild form av mjukvara har utvecklats för design av grindmatriser för logik, som också kan användas för testning av funktionerna. Olika tillverkare har utvecklat sina speciella grindmatriser som saluförs under särskilda varunamn.

### 3.17 ASIC

Under senare år har kommit ett kundanpassat kretsutförande med submikronteknik, ASIC = Applied Specific Integrated Circuits. Dessa motsvarar som namnet anger specifika kundkrav. I dem ingår många olika kretselement, vilka ställer höga krav på design och utvärdering. Konkurrensen har också gjort att tillverkarna lagt ner stor möda på standardisering i de olika designstegen, fabrikationen och kvalitetsutvärdering för att uppnå tillförlitliga ASIC-produkter. Man utgår även här från grundlösningar som emellertid nog modifieras för sin specifika tillämpning och medger kunden möjlighet att bygga in sina egna tillförlitlighetsförbättringar. Särskilda testutrustningar krävs för dessa kretsar. De underkastas redan av leverantören krävande tillförlitlighetstester omfattande hela produkten även förpackningen. Kvalitetssäkringen är viktig för att kunna nå en stor marknad.

### 3.18 MOTSTÅND, KONDENSATORER, INDUKTANSER OCH RELÄER

Som omnämns i nästa kapitel spelar kapslingsformer en avgörande roll för elektronikkomponenternas utförande. Detta gäller också passiva komponenter. De äldre utförandena finns väl beskrivna och redovisade i leverantörskataloger. Dessa komponenter väljs efter fysisk storlek, spänningstålighet, effekt och temperaturkänslighet. Ibland förekommer hybridkretsar, som är en kombination av IC-chips med passiva komponenter och diskreta halvledare på samma substrat. Motstånd inom en IC-modul realiseras genom diffusion eller polykisel.

När det gäller de gamla kolskiktspotentialer är de försedda med en färgkod som anger motstånd- och effektvärde. Maxspänning brukar också vara tryckt på motståndet. Motstånd kan också realiseras med tjock- och tunnfilmsteknik. Den förra består av en flerelementmassa som sintras ihop under värme (t ex AgPd). Trimning till rätt motståndsvärde sker genom sandblästring eller laserteknik. De är relativt billiga och lätta att forma till önskat mönster. Tunnfilmsmotstånd framställs genom förångning eller sputtering. Material kan vara NiCr eller tantal. Lasertrimning eller, för de senare, oxidering: tunnfilmskondensatorn i tantal går att göra genom att på tantal-skiktet oxidera fram ett skikt av tantalpentoxid som dielektrikum. Motståndet för tunnfilmsmotstånd brukar anges i ohm/ruta, vanliga värden 20 eller 40 ohm/ruta.

Se under punkt 3.19 för utförande av motstånd vid ytmontering.

Alla passiva komponenter har undergått ungefär samma utveckling som motstånd. Kondensatorer finns fortfarande som elektrolytkondensatorer (polaritetsberoende) med hög kapacitans ( $\sim \mu\text{F}$ ). De finns nu också för ytmontering. Tantalchipkondensatorer tillverkas med kapacitanser 0,10  $\mu\text{F}$  till 68  $\mu\text{F}$ . Om små fysiska dimensioner önskas görs keramiska chipkondensatorer i dimensioner 1,6 x 0,8 mm, 2,0 x 1,25 mm och 3,2 x 1,6 mm. Ett annat exempel är plastfilmskondensatorer om 100 V, 47 nF-150 nF och för 250 V, 10 nF-100 nF, samt för god kapacitansstolerans i området  $-55^\circ\text{C}$  till  $+125^\circ\text{C}$  med 50V, 68 nF-330 nF och 100V, 22 nF-100 nF.

Induktanser finns med och utan ferritkärna. Som exempel på minityriariserat utförande för ytmontering högfrekvensdrossel i områdena 22 nH - 10  $\mu\text{H}$ , 10 nH - 100  $\mu\text{H}$ , 1  $\mu\text{H}$  - 1000  $\mu\text{H}$ . Drosslar på sk hantelkärna, 27  $\mu\text{H}$ , automatisk montering finns.

Beträffande reläer används fortfarande inom teletekniken tungelement (vibrating reed element). Ett stort antal mikroswitchar har utvecklats bl a för ytmontering. Det finns universella minieffektreläer som behöver endast 3 cm<sup>3</sup> kortyta, som klarar belastning på 2000 VA, och har effektförbrukning 250 mW.

För såväl hål- som ytmontering finns reläer med mekanisk livslängd 10<sup>9</sup> operationer och vid 6 Vdc/100 mA elektrisk livslängd 5 x 10<sup>7</sup>, respektive 24 Vdc/1A, 3 x 10<sup>6</sup> operationer. Slutligen skall nämnas förekomsten av halvledarreläer (Solid State Relays). De finns från små reläer i DIP-kapsel för 1A och upp till 40 A i andra utföranden.

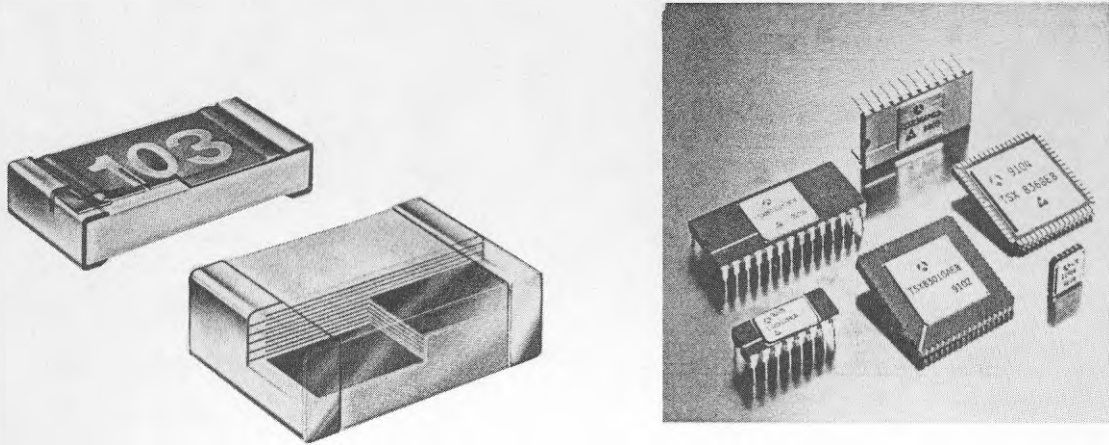
Till sist kan nämnas termistorer, dvs starkt temperaturkänsliga halvledare för temperaturreglering.

Man finner lättast de nya komponenterna i leverantörernas tidskrifter och meddelanden. Dessutom ges komponenthandböcker och produktinformation ut.

### 3.19 MONTERING OCH BYGGSÄTT

Den nya trenden i montering går mot ökad automatisering, vilket kräver särskilt utförande av såväl komponenter med kapsling som de "kort" (PCB = Printed Circuit Board) de skall fästas på. Lötningen är ett speciellt problem. Komponenterna sitter ofta på band eller remsor som matas in i monteringsmaskinen (TAB = Tape Automatic Bonding).

Automatisk montering anses ge såväl högre tillförlitlighet som bättre kvalitet på produkten. Ett sätt att bemöta problemen med montering orsakade av högre packningstäthet, kortare avstånd mellan anslutningarna på komponenterna, är den s k ytmonteringstekniken. Denna förutsätter att komponenterna är kapslade för denna teknik, ytmonterade komponenter (SMD = Surface Mounted Devices). Lötning skedde förut av tillledningarna i metalliserade hål på kortet, numera mellan s k lödpaddar på kort och komponent, ytlötning. För att öka möjligheterna i förbindningstekniken används s k flerlagerkort; metalldare finns på olika nivåer, skikt, i kortet. Detta ger också mer störningsfrihet i konstruktionen. De kapslingstyper som är lämpliga för denna teknik utgör SO = Small Outline (kapsling), PLCC = Plastic Leadless Chip Carrier med upp till 84 uttag. För komponenter som kräver fler uttag har man föreslagit PGA = Pin Grid Array, PAA = Pad Area Array, CLCC = Ceramic Leadless Chip Carrier, och PLCC med liten uttagsdelning ("fine pitch"). Exempel se nedan.



Figur 3.19:1. Exempel på kapslingar; från vänster till höger: Motstånd, keramisk flerlagerkondensator samt DIL- och Chip Carrier för IC.

För beskrivning av ytmonteringsteknik och dess problem finns ett antal rapporter från Ivf = Institutet för verkstadsteknisk forskning; se referenslistan.

I samband med monteringstekniken kan ett par tillförlitlighetsproblem nämnas. Elektrostatiska urladdningar, ESD, kan skada komponenter och system. Vid höga frekvenser kan elektroniska kretsar stråla ut elektromagnetisk strålning som stör annan elektronikutrustning respektive fånga upp sådan och själv bli störd. Dessa emissions- och immunitetsegenskaper sammanfattas i benämningen EMC = Electro Magnetic Compatibility. Det har utarbetats konstruktionsregler för att ge bästa EMC, nödvändiga på de nya stränga Europannormerna i detta hänseende. Se "elmiljö" bland referenserna. Komponenter är i regel försedda med skyddskretsar mot ESD. Dessutom finns överspänningskydd på matningsledningar i form av halvledaravledare eller gasfyllda "arrestors".

Ett särskilt kapitel utgör temperaturproblemet. Komponenters parametrar ändras med temperaturen och komponenten har en viss maximal temperaturlåmhet. Detta medför också problem för lay-out (fysisk placering) på korten. Värmeavledningsförmågan måste bestämmas. Man talar om termisk resistans för komponenter, med vars hjälp maximitemperatur vid viss effekt kan beräknas. Minsta avstånd som kan tillåtas på värmeutbredning måste också beräknas. Flera dataprogram finns för sådana beräkningar.

Överlag har den verkstadstekniska utvecklingen för komponentmontering varit omfattande de sista åren, resulterande bl a i avancerade automatiska bondnings- och monteringsmaskiner. Detsamma gäller testutrustningar för komponenter. Komponenter kan i dag testas när de är monterade på kort, liksom det finns korttestare.

## 3.20 LITTERATUR OCH REFERENSER

## LITTERATUR

- 1 Kärrberg A, 1990  
SENSORER - Nya tekniker och applikationer  
Utlandsrapport från Sveriges Tekniska  
Attachéer, USA 9003
- 2 Ahlner E, 1991  
FOTONISKA MATERIAL - en vägledning i optisk  
vågledning  
Ibid, 9109
- 3 Jarn T, Hellsten J, Andrée D, Wang M och  
Nilsson K-G, 1984  
SENSORER  
Sveriges Tekniska Attachéer, STATT 8402
- 4 STU-Konferens, 15 maj 1990  
ELEKTRONISK OCH OPTISK SENSORTEKNOLOGI  
Styrelsen för Teknisk Utveckling
- 5 Johansson S, 1988  
MICROMECHANICAL PROPERTIES OF SILICON  
Doctorial Dissertation,  
University of Uppsala
- 6 Söderkvist J, 1990  
A MATHEMATICAL ANALYSIS OF FLEURAL  
VIBRATIONS OF PIEZOELECTRIC BEAMS WITH  
APPLICATIONS TO ANGULAR RATE SENSORS  
Doctorial Dissertation, University of  
Uppsala, Electronics Dpt
- 7 Streetman B G, 1972  
SOLID STATE ELECTRONIC DEVICES  
Prentice-Hall, Electrical Engineering Series
- 8 Yang E S, 1978  
FUNDAMENTALS OF SEMICONDUCTOR DEVICES  
Mc Graw-Hill Book Company
- 9 Lynton E A, 1969  
SUPERCONDUCTIVITY  
Methuen and Co LTD
- 10 Tell R, Andersson Torbjörn och Andersson Per  
1987  
FIBEROPTISK KOMMUNIKATIONSTEKNIK - kompo-  
nenter och vågutbredning  
Studentlitteratur, Lund

## REFERENSER

- 1 IVF-RESULTAT (Institutet för verkstads-  
teknisk forskning, publikationsserie),  
Ämnesområde 41 Elektronik med datateknik:  
87614 Trender och ny teknik (1987), 87605,  
89616, 87606, 88624, 87620, 90611, Handbok  
i ytmontering 1-6 (1987-90)  
Mekanförbundets Förlag, Stockholm
- 2 Mayer G K, Offereins H L, Sandmaier H, and  
Kühl K, 1990,  
Fabrication of Non-Underetched Convex  
Corners in Anisotropic Etching of (100)-  
Silicon in Aqueous KOH with Respect to Novel  
Micromechanic Elements.  
JOURNAL OF THE ELECTROCHEMICAL SOCIETY, Vol.  
137, 1990, s 3947-51.
- 3 Beyer K D, Silvestri V J, Makris J S, and  
Guthrie W, 1990,  
Trench Isolation by Selective Epi and CVD  
Oxide Cap.  
IBID, s 3951 f.
- 4 Sadaoka Y, Matsuguchi M, and Sakai Y, 1991,  
Optical Fiber Humidity Sensor Using  
Nafion<sup>R</sup>-Tri-Phenylcarbinol Composite.  
IBID, Vol. 138, 1991, s 614 f.
- 5 Hatzakis M, Stewart K J, Shaw J M, and  
Rishton S A, 1991,  
New High-Resolution and High-Sensitivity  
Deep UV, X-Ray, and Electron-Beam Resists.  
IBID, s 1076 ff.
- 6 Esashi M, Shoji S, Wada T, and Nagata T,  
1991,  
Capacitive Absolute Pressure Sensors with  
Hybrid Structure.  
ELECTRONICS AND COMMUNICATIONS IN JAPAN,  
Part 2, Vol. 74, 1991, s 67-75.
- 7 Sudraud P, 1991,  
FIB, FOCUSED ION BEAM TECHNIQUE  
European ESD Symposium, The Koningshof,  
Eindhoven, Netherlands, Sept. 1991,  
Proceedings.
- 8 Rejdin A, Dahlman L, Hellström S och Scuka  
V, 1991,  
ELEKTRISK MILJÖ  
Byggeforskningsrådet, Rapport R17:1991

## 4 SAMMANFATTNING

### 4.1 SYSTEM

I rapportens avsnitt 1 görs ett försök att beskriva hur dagens styr- och övervakningssystem har sina rötter inom AI-forskningen och hur expertsystem och inbyggda sådana ingår i systemen ned till t o m den enskilda komponenten, t ex en sensor.

Utveckling och utbud av produkter inom IT-området har varit mycket omfattande det senaste decenniet. Detta kommer att fortsätta på 90-talet, men samtidigt kan skönjas ökade krav på konsolidering - helhetssyn och standardisering. Ovanstående gäller även styr- och övervakningsutrustningar.

En principindelning i två kategorier enligt nedan har gjorts i rapporten:

A *Hus och lägenheter för boende*

B *Byggnader där vi arbetar eller ger/får tjänster.*

Indelningen i A och B är inte helt adekvat men i stort sett accepterad. Kategorierna kan inte alltid särskiljas. I vissa avseenden kan t ex politiska beslut ha lika eller olika inverkan på dem.

Kategori A är relativt känslig för politiska beslut av typen beskattning. Den är vidare mer beroende av information om och vilja/förmåga till att använda nyheter. Detta innebär en långsammare integrering av klimat-, komfort- och larmutrustningar och deras marknadstäckning.

Ser man på resultatet från Frankrike, Sverige och övriga I-länder har marknaden för datorbaserade styr- och övervakningssystem hittills varit liten. Det blir intressant att i mitten av 90-talet se resultatet från det franska projektet i staden Metz, inklusive eventuella ändringar p g a politiska beslut.

Inom kategori B är man av konkurrensskäl mera tvingad att använda modern informationsteknologi. Detta kräver i sin tur mer styr- och övervakningsutrustning.

Valet av de tre länderna som typexempel är grundat på bl a:

**Japan** har stark ekonomi och i viss mån dominerande komponenttillverkning och ser inom detta område en betydande potential för export.

**Frankrike**, i EG:s centrum, satsar nu i ett socialtekniskt perspektiv på IT i boende och standardisering av faciliteter.

**Sverige** representeras med de exempel som ingår i rapporten:

*ELECTRUM* är ett välkänt forum för Forskning - Utbildning - Näringsliv, där olika enheter är samlade och övervakade i ett block.

*Bankhus 90* är ett exempel på en mycket modern byggnad med de extrema säkerhetskrav som bankers verksamhet kräver.

*SL:s tunnelbana* är en av dem i världen som har lägst olycksfallsfrekvens, detta tack vare bl a robusta komponenter.

Datorbaserade system för styrning och övervakning av större byggnader och hus framgår av de konfigurationer som visas i exemplen.

*Systemen för klimat- och allmänna-larm-tjänster* erbjuds i form av en familj, med varianterna valbara beroende på önskemål.

Familjen har en dator som centralenhet jämte övervakningsenhet, t ex en PC med bildskärm och skrivare. Underenheterna, som ofta utgörs av mikroprocessorer, styr en utvald mängd komponenter.

System för styrning av verksamheten inne i byggnaden, såsom datanät, processtyrning osv, är i regel separerade från klimat-, komfort- och allmänna-larm-system.

#### 4.2

#### KOMPONENTER

Komponentdelen av rapporten är omfångsrik och delvis detaljerad. Anledningen härtill är att komponenter utvecklats mycket de senaste åren och en grundläggande kännedom om dem krävs för att förstå deras verkningssätt.

En tydlig tendens är att det "intelligenta" agerandet, förmågan både att registrera och reagera, allt mer överförs till komponentnivå.

Detta gäller i hög grad sensorer och deras framställning med hjälp av olika teknologier.

Numera väl etablerade produktionsmetoder för elektronikretsar har t ex banat väg för tillverkning av mikromekaniska kretsar. Optotekniken kan sägas ha sitt genombrott för närvarande.



Mycket av förändringarna och förbättringarna i de "intelligenta" systemen beror på möjligheten att integrera allt fler funktioner i en elektronikkrets. Ett enda litet chip kan innehålla en dators alla väsentliga funktioner.

Ofta utvecklas och testas nya komponenter genom tillämpning i anslutning till styrning av tillverkningsprocesser, det må vara bilar, robotar eller något annat som produceras.

I och med praktisk användning och masstillverkning sjunker också priserna. Komponentkostnaden utgör en väsentlig del av systemkostnaden och bestämmer mycket av anläggningens kvalitetsnivå.

Det finns därför all anledning att bevaka komponentutvecklingen, så att det system man väljer eller marknadsför blir så effektivt och säkert som möjligt, till rimligt pris.

## 5 VAL AV SYSTEM OCH KOMPONENTER

### 5.1 SYNPUNKTER

Samhället utnyttjar i allt högre grad de tekniska finesser som framkommit vid lösning av olika moment inom industri och teknik.

Vi kan förutse att allt fler IT-tjänster kommer att användas såväl i hemmen som inom kontor, fabriker, offentliga byggnader och förvaltning av dessa.

Det blir allt vanligare att använda elektroniska styr- och övervakningssystem. Införandet sker först i nya moderna byggnader för att sedan etappvis överföras i hus för boende. Modernisering av befintligt husbestånd kan kräva speciella utföranden.

Byggstenarna i systemen är i första hand elektronikkomponenter. En tydlig tendens i systemen är att de övergripande funktionerna alltmer förskjuts till komponentnivå. De är som regel "embedded"; vi kan rubricera dem som inbyggda eller förprogrammerade.

Utvecklingen av nya komponenter med nya egenskaper är stor. Masstillverkning gör att priserna sjunker. Tillförlitligheten är i de flesta fall mycket god. Komponenter kan därför användas i större antal, på fler platser, för fler ändamål och i olika miljöer.

Signalerna till och från komponenterna går vidare till nästa steg i systemhierarkin, vilket kan vara en undercentral.

Denna enhet, mer eller mindre kraftfull, kan välja, fatta beslut, vara bemannad eller sända signalerna vidare till en sk huvudcentral.

Beroende på objektet väljs en lämplig systemnivå.

Som objekt innebär hus och byggnader i regel att det görs stora och långsiktiga investeringar och valet av styr- och övervakningsutrustning är väsentligt ur kostnadssynpunkt.

**Komponentval** bör ske i samråd med systemleverantörerna efter komponentens specifika roll. Korresponderande funktion, tillförlitlighet, livslängd, pris och tillgänglighet skall beaktas. Komponentvalet bör samordnas så långt möjligt, om flera system eller delsystem finns eller väljs, för att en optimal lösning ur kostnads- och funktionssäkerhetssynpunkt skall nås.

Systemen kan indelas i t ex:

- Övergripande system
- Delsystem
- Perifera system.

**Vid systemval** för stora och komplicerade byggnader eller block av sådana är det ofta nödvändigt att särskilja de övergripande systemen i delsystem. Delsystemen kan ha möjlighet att i vissa avseenden samarbeta och att i andra fungera oberoende av varandra. En förutsättning för samarbete är en gemensam kommunikationsnivå.

Det perifera systemet med kabelnät, anslutningar, skärmning mot störningar etc skall utan stora kostnader kunna omorganiseras till nya lösningar. Med andra ord: det skall finnas en inbyggd förberedelse och flexibilitet i systemet.

*Flexibilitet* innebär t ex väl tilltagna kabelutrymmen vilka är lättåtkomliga och har noggrant dokumenterade kabelnät.

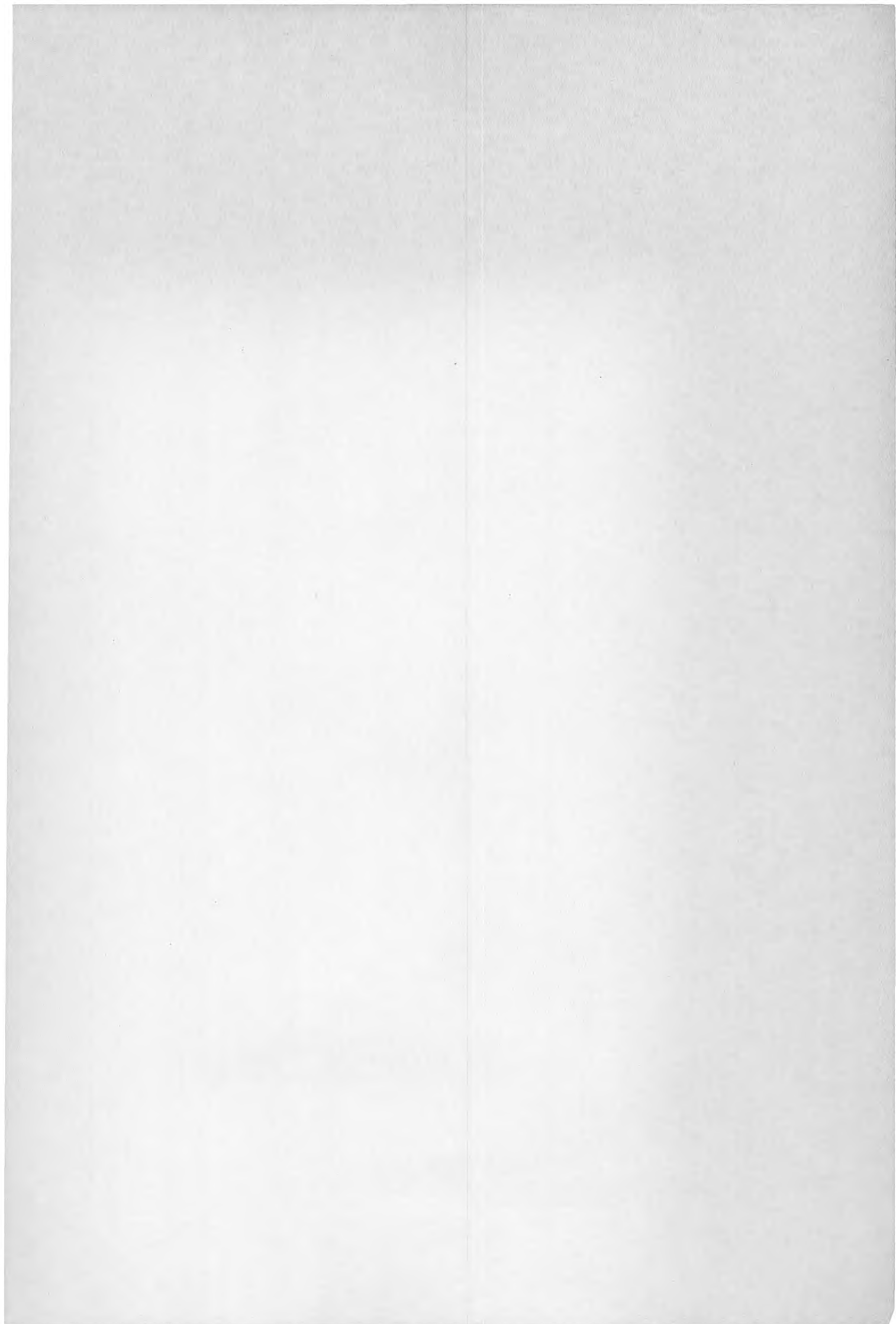
*Sårbarheten* ökar med mer elektronisk utrustning. Denna fråga bör analyseras vid val av system och komponenter. Åtgärder vid driftavbrott, larmtillförlitlighet, jourtjänst m m bör beslutas om och dokumenteras.

*Bemanning, utbildning och erforderlig kompetens* hos förvaltningen är väsentliga delar i valet av utrustning.

Föregående synpunkter leder till att en väl genomarbetad *kravspecifikation* bör utgöra grunden för val och upphandling av utrustningar.

Val av system påverkar alltmer *skissarbetet* och kräver därför *tidiga* beslut i den totala byggprocessen. Den *analyserade* skissens betydelse, funktionellt, tekniskt och ekonomiskt kommer som beslutsunderlag att få alltmer väsentlig betydelse.







R27:1992

ISBN 91-540-5470-2

Byggeforskningsrådet, Stockholm

Art.nr: 6812027

Abonnemangsgrupp:  
T. Fastighetsförvaltning  
Y. Byggnadsfunktion

Distribution:  
Svensk Byggtjänst  
171 88 Solna

Cirka pris: 125 kr exkl moms