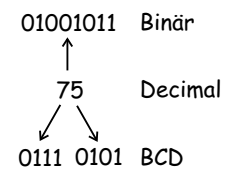
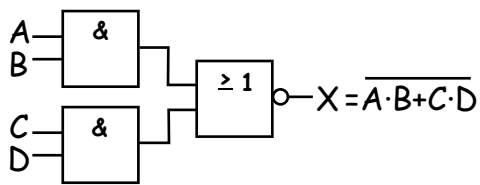
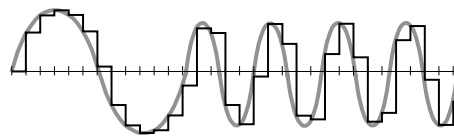
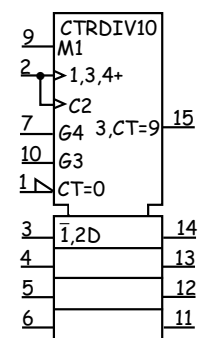
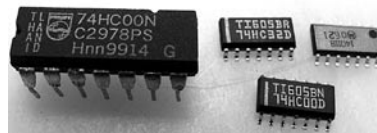
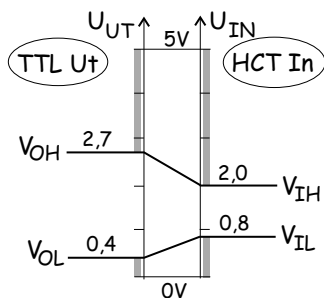


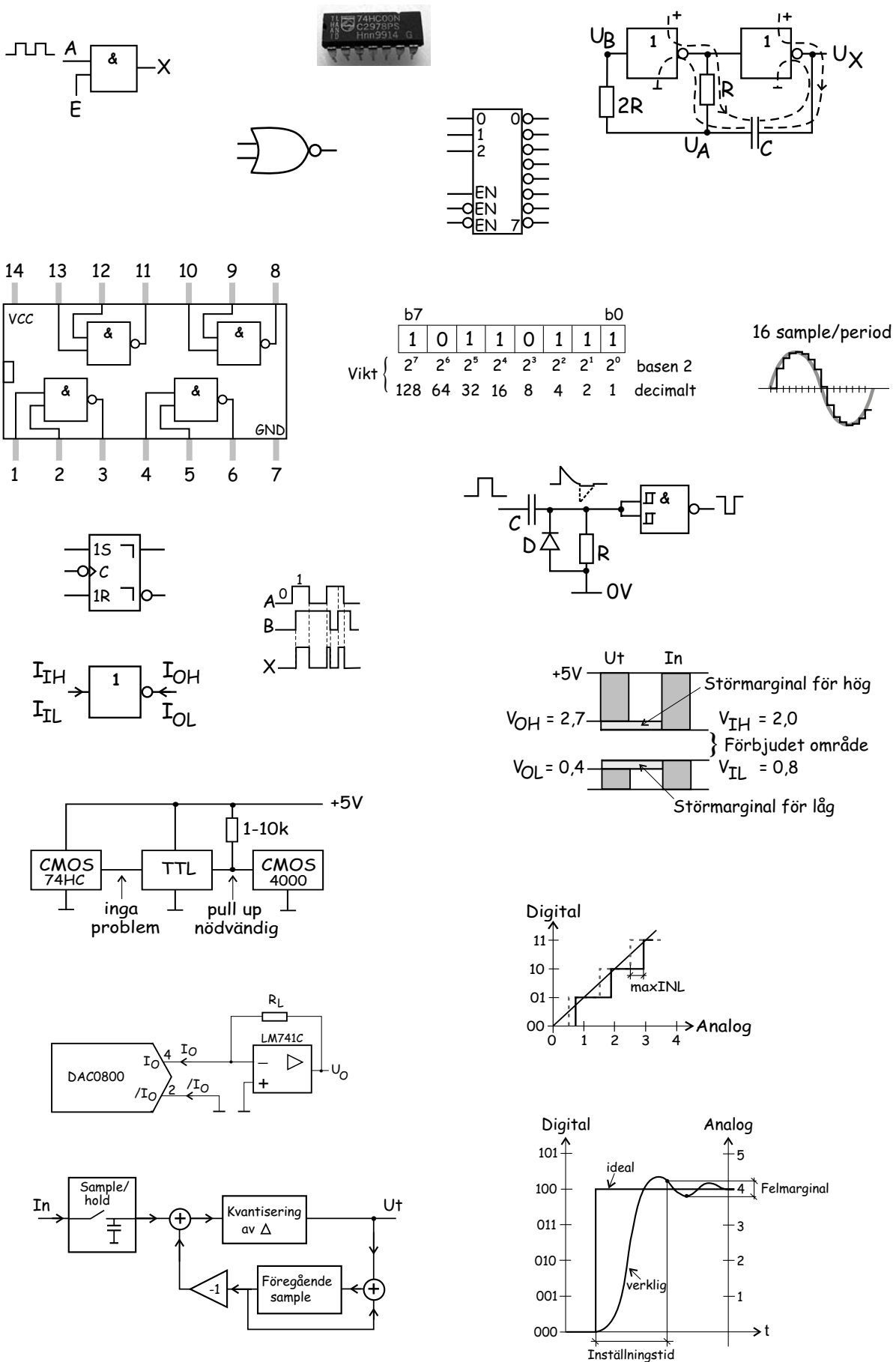
Urklipp från Digital Elektronik



1 0 1 0 0 1
0 1 1 0 0 1
1 0 1 0 0 1
1 1 1 1 0 0
0 1 1 0 0 1



Diverse bilder - hämtade från boken !



Läs detta först!

Det här häftet innehåller urklipp från boken "Digital Elektronik" (utgåva BL008:1). Originalfilen är konverterad till en pdf-fil med eBook-komprimering vilket passar för bildskärm men innebär något försämrad utskriftskvalitet (märks mest på foto).

Urvalet är gjort på detta vis:

Omslaget är samma som för boken.

"Inledning" (nedan) är okortad liksom den därefter följande Innehållsförteckningen.

Från vart och ett av de 7 kapitlen har sedan hämtats första sidan + ytterligare minst en representativ sida (inte i ordningsföljd).

Från kapitel 4 har tagits med "Variationer" (övningsuppgifter) med lösningar. I boken finns Variationer med lösningar i kapitel 2-7.

Från kapitel 7 har tagits med en sida från "Ta ett steg till ..." (överkurs). Denna avdelning finns i flera av kapitlen.

Sist i detta urklipp återges en del av Registret.

Den kompletta boken, är tryckt i svartvitt och ringbunden. Den är på 140 sidor och innehåller ca 440 bilder och illustrationer. Registret innehåller över 350 nyckelord.

Inledning

Den här boken handlar om grundläggande digital elektronik - vad digital elektronik innebär, allt ifrån den logiska algebrans ettor och nollor till den praktiska elektroniken digitala signaler.

Bokens innehåll motsvarar mer än väl gymnasieskolans läroplan i ämnet. Den passar för självstudier och i alla kurser som vill förmedla den moderna digitala elektroniken grunder.

Det analoga - digitala gränssnittet

I den analoga elektroniken förändras spänningar och strömmar kontinuerligt. De avbildar ofta fysikaliska fenomen som temperatur, tryck och ljud - delar av den i huvudsak analoga värld som omger oss!

I den digitala elektroniken avbildas samma fysikaliska fenomen med ettor och nollor representerade som "pulser" med bestämda elektriska spännings- eller strömnivåer.

För den som är bekant med ellära och analog elektronik är det inte så svårt att förstå att till exempel en temperatur på 25,3°C kan motsvaras av en spänning ut från en temperatursensor på kanske 2,53V. När temperaturen ändras så ändras också spänningen motsvarande.

Betydligt svårare kan det vara att förstå hur samma temperatur kan motsvaras av en serie ettor och nollor: 00 1111 1101 !

Hur dessa ettor och nollor hanteras i elektroniken är basen för den digitala elektroniken (kapitel 2-6).

Men lika viktigt är hur det går till när den analoga spänningen blir till digitala signaler och hur digitala signaler åter kan bli analoga. Detta ämne är

inte minst viktigt idag då allt digitaliseras! Musik lagras digitalt i MP3-spelare, på USB-minnen, CD-skivor osv. för att sedan vid uppspelningen åter omvandlas till analoga signaler innan de släpps ut från förstärkaranläggningen.

Elektroniken som hanterar omvandlingen mellan den analoga och digitala världen hamnar lätt mellan stolarna men har i den här boken fått stort utrymme (inleds i kapitel 1 och avslutas i kapitel 7)

Analog teknik är fortfarande högaktuell

Eftersom det pratas så mycket om hur allt digitaliseras är det lätt att få för sig att den analoga elektroniken spelat ut sin roll.

Men det är snarare tvärtom.! Inom den digitala elektroniken skall allt gå snabbare och snabbare.

Det gäller till exempel bredband, HDTV, lagring på hårddiskar, PC:ns klocka osv. Men ju snabbare digitala signaler desto större inverkan får de typiskt analoga fenomenen som uppstår genom induktans och kapacitanser på såväl kretskorten som inne i IC-kretsarna.

Dessutom, ju snabbare digital elektronik desto större blir den elektromagnetiska strålningen - ett genuint analogt fenomen som dessutom måste begränsas! Alla elektriska apparater måste uppfylla kravet på elektromagnetisk kompatibilitet (EMC) - de får inte störa varandra. Här finns den analoga elektroniken närvarande med sina typiskt analoga fenomen som resonanskretsar, övertoner, antenner, filter osv., inbäddade i den digitala elektroniken.

Sedan har vi det tidigare nämnda gränssnittet mellan analogt och digitalt där det vimlar av analoga kopplingar.

Den här boken är därför inte en renodlad bok om digitalteknik. Analog elektronik finns med i framställningen där kunskapen är nödvändig för den som vill bli en duktig digitaltekniker.

Den digitala kommunikationen

Vi ser en explosiv utveckling av digital kommunikation - det räcker att nämna digital-TV och mobiltelefonen!

Digital kommunikation är ett svårt ämne där återigen analog och digital teknik blandas. Men att idag jobba sig igenom en kurs, i visserligen grundläggande men i alla fall digitalteknik, utan att få ett hum om hur den digitala kommunikationen går till! Det skulle inte vara snällt!

Därför finns en introduktion i ämnet medtaget i boken (kapitel 1).

Läsanvisning

Kunskaper i grundläggande ellära är nödvändigt för att få behållning av den här boken. Kunskaper i analog elektronik, främst om transistorn och operationsförstärkaren, är en stor fördel.

Boken är skriven för att läsas i kapitelordning.

Den avdelning i varje kapitel som kallas "Variationer" är en viktig del av ordinarie kurs.

Däremot finns det i flera kapitel en avdelning med rubriken "Ta ett steg till.." Denna del är avsedd för de mest vetgiriga och kan betraktas som överkurs.

Datablad m.m. finns på nätet

Att lära sig använda datablad på logikkretsar är en viktig del av den här boken. De aktuella databladet finns som en bilaga att ladda ner från bokens hemsida.



På hemsidan finns även laborationer och eventuellt annat material som rör den här boken.

Gå till: www.bde.se och vidare:

-Elektronikens värld - Elektronikskolan - Digitalteknik.

Du kan också komma till böckerna direkt.

Gå till www.bde.se och vidare:

- Produkter - Litteratur.

Synpunkter är välkomna

Alla synpunkter, kritik och förslag som rör den här boken välkomnas.

Boken trycks i små upplagor. Korrigeringar och rättelser kommer att införas löpande.

Eventuella faktafel eller motsvarande allvarliga fel listas på bokens hemsida.

Skicka gärna dina synpunkter till denna adress: nilsake@bde.se.

Det är bra om du anger vilken upplaga det gäller (står på sid.4).

Belgnet 2009-10-05
Nils-Åke Pettersson

Hastighet - stig- och falltid	52	Anpassning - externa in- och utsignaler	75
74LS/74HC/4011: hastighet	52	Skyddskretsar med dioder	75
Jämförelse av fördröjning samt stig- och falltider	52	Nivåanpassning med transistor	75
EMC-problemet	53	Anpassa till långsamma insignaler	75
Problemet med snabba anker	53	Anpassa till mekaniska kontakter	75
Effektförbrukning	54	Galvanisk isolering med optokopplare	76
Statisk effekt	54	Externa enheter ofta digitala	76
Transient effekt	54	Optisk isolering av utsignal	76
Lasteffekt	54	Användning av drivkretsar	76
Total effektförbrukning	54	Styrning genom relä	77
74LS00: effektförbrukning	54	Styrning med triac	77
74HC00/4011: effektförbrukning	54	IEC-symboler	78
Jämförelse av effektförbrukning	55	Variationer	78
Temperaturområde	55	Laborationer och experiment	79
Se upp med statisk elektricitet!	56	Svar till variationer	79
Vi laddar upp oss	56		
CMOS är speciellt känsligt	56	5. Kombinatoriska kretsar	80
Det gäller alla moderna komponenter	56	Grundfunktionerna är kombinatoriska	80
Kretsarna måste skyddas	56	Alltid föutsägbara	80
Allt är känsligt	57	Grundläggande grindar som IC	80
Vad du kan tänka på	57	Från två till flera ingångar	81
Numrering och kapslingstyper	58	Sammansatta kombinationer	82
Olika typer av kapsling	58	Kombinationer som försvunnit...	82
Hålmonterat och ytmonterat	59	...och överlevt	82
Variationer	60	Programmerbara kretsar	82
Laborationer och experiment	60	Limlogik	82
Svar till variationer	61	Egna kombinationer	82
		Digital komparator	83
4. Digitala gränssnitt	62	Logik för paritetsbit	83
74-serien - sätter standard	62	Kontroll av paritetsbit	83
Kretsfamiljernas kännetecken	63	Generering av paritetsbit	83
Bipolära familjerna - TTL	63	Kodomvandlare	84
CMOS-familjer	64	Kodare	84
BiCMOS-familjer	66	Avkodare	84
Varianter på utgångar	67	Avkodare för display	86
Totempole-utgången	67	Multiplexer och demultiplexer	87
OC-utgången	67	Multiplexerkretsar	87
Buffrad utgång	69	Demultiplexern	88
Ingång med Schmitttrigger	69	Tidsmultiplex	88
Gränssnittsproblem inom familjen	70	Variationer	89
CMOS ihop med TTL	71	Laborationer och experiment	90
CMOS driver TTL utan problem	71	Ta ett steg till ...	91
Om TTL skall driva CMOS	71	IEC-symboler	91
Olika matningsspänning	72	Fler kombinatoriska kretsar	92
Övergång från 5V till 3,3V	72	Svar till variationer	93
Övergång från 5V till 15V	72		
Övergång från 15V till 5V	72		
Analog switchar	73		
Höga datahastigheter	74		
Impedansanpassning	74		
Bus Hold	74		

6. Sekvenskretsar	94
Vippor	94
<i>Astabila vippan - oscillatorn</i>	94
<i>Monostabila vippan - en puls</i>	95
<i>Bistabila vippan - har minne</i>	95
Räknare	101
<i>Den binära räknaren</i>	101
<i>Binär- till dekadräknare</i>	102
<i>Synkrona räknare</i>	102
<i>Johnsonräknaren</i>	103
<i>Ett urval räknare</i>	103
Register	104
<i>Register med D-vippor</i>	104
<i>Skiftregister</i>	104
Variationer	105
Laborationer och experiment	105
Ta ett steg till ...	106
<i>IEC-symboler</i>	106
Svar till variationer	107
 7. Mellan analog och digital	 108
Digitalt till analogt - D/A	108
<i>Pulsbreddmodulering</i>	109
<i>Omvandlare med viktade resistorer</i>	110
<i>R-2R-stege med spänningsutgång</i>	110
<i>R-2R-omvandlare - enkel matningsspänning</i>	111
<i>R-2R-omvandlare - dubbel matningsspänning</i>	112
<i>Integrerade D/A-omvandlare - strömutgång</i>	112
<i>Utgjänningsfilter</i>	113
Analogt till digitalt - A/D	114
<i>Grundläggande om samplingstekniken</i>	115
<i>Gränsvärdesomvandlaren</i>	117
<i>Räknande A/D-omvandlare</i>	117
<i>SAR-omvandlaren</i>	118
<i>Dubbelramp A/D - omvandlare</i>	120
<i>Spänning till frekvensomvandlare</i>	121
<i>Flash-omvandlaren</i>	122
<i>Pipeline-omvandlaren</i>	122
<i>Sigma-Delta omvandlaren</i>	123
<i>Tidsmultiplexad A/D-omvandlare</i>	125
<i>Val av A/D-omvandlare</i>	126
Variationer	128
Laborationer och experiment	128
Ta ett steg till...	129
<i>Undersampling i radiotekniken</i>	129
<i>Prestanda för D/A- och A/D-omvandlare</i>	130
Svar till variationer	135
 Register	 136

1. Digital elektronik tar över!

Digitalboxen och DVD:n (bilden) är exempel på hur digital teknik erövrar elektroniken inte minst på kommunikationens område. Här några fler exempel:

Digital radio finns redan via internet och digitalt radiomarknät (DAB) står på tur.

Det tidigare helt analoga ledningsbundna telefonnätet utnyttjas alltmer för överföring av data och digitaliserat ljud genom ADSL eller annan bredbandsteknik. Det mobila telefonnätet är digitaliserat.

Ljud och bild som förr lagrades och spelades upp analogt från magnetband och vinylskivor lagras idag digitalt på till exempel hårddiskar, flashminnen, CD-, DVD- och BlueRay-skivor.

Praktiskt taget all modern vardagselektronik bygger på digital teknik: PC:n, CD-, MP3-



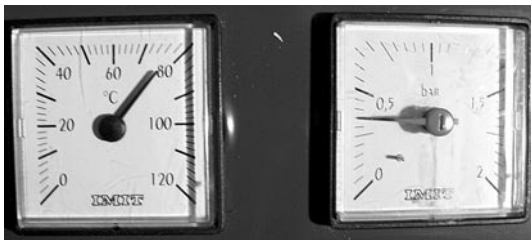
och DVD-spelaren, kameran, mobiltelefonen och GPS:n. Det samma gäller elektroniken i våra köksredskap, hus, fordon samt i industrin.

Digitalt kontra analogt

Det analoga ursprunget

De flesta fysikaliska storheter som vi uppfattar med våra sinnen är analoga till sin natur. Det gäller temperatur, tryck, hastighet, massa, ljud, frekvens, ström, spänning, resistans, tid m.m.

Vi mäter ofta analoga företeelser med någon typ av visarinstrument. På bilden nedan instrument för panntemperatur och tryck.



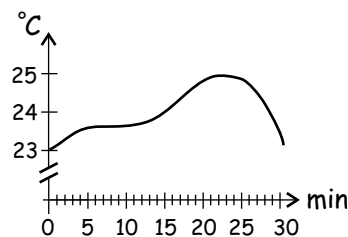
Vi säger att dessa instrument är **analog** eftersom de kan anta alla värden - åtminstone ner till energimängder på kvantnivå.



Ett annat exempel på ett analogt instrument är en vanlig vätsketermometer.

Det finns en **analogi** (motsvarighet) mellan varje temperaturvärde och det som visas vilket innebär **kontinuerlig** visning (ett oändligt antal kontinuerliga värden inom ett intervall).

En motsvarande grafisk representation visar en kurva som är kontinuerlig såväl i tid som storlek.



Om vi bara har en tillräckligt noggrann termometer kan vi i teorin läsa av temperatur med nästan hur många decimaler som helst. Men, i praktiken är det oftast svårt att läsa av värdet med någon högre grad av säkerhet. Även om det råkar vara så att temperaturen i ett visst ögonblick faktiskt är till exempel 19,2 °C så är det långt ifrån säkert att det är detta värde som läses av!

Digitalt betyder siffror

För analoga instrument måste vi själva läsa av, bedöma och fastställa ett mätvärde.

För ett digitalt visande mätinstrument behöver vi inte tveka om värdet. Den digitala termometern visar temperaturen i klartext - i siffror - dvs. digitalt (digital betyder just siffra). Här finns ingen tvekan om vilken temperatur instrumentet visar. Det digitalt presenterade mätvärdet är **entydigt**.

Modulationstekniker

När digital information skall överföras längre sträckor, vid telekommunikation, i nätverk etc., antingen på ledare eller via radio, "lägger" man informationen på en eller flera bärvågor.

Även i den vanliga analoga radion bärs information fram av den radiovåg som vi rattar in på radion. På de lägre frekvensbanden är det radiovågens amplitud som moduleras (ändras) i takt med musiken, talet etc. - AM (amplitudmodulation). På FM-bandet är det radiovågens frekvens som moduleras - FM.

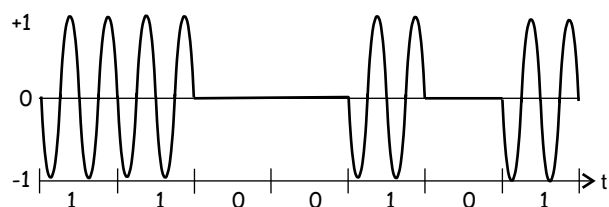
Den första radiobaserade digitala kommunikationen - Morsekodade - baserades på extrem amplitudmodulation där själva bärvågen skickas i korta eller långa intervall.



(sms)

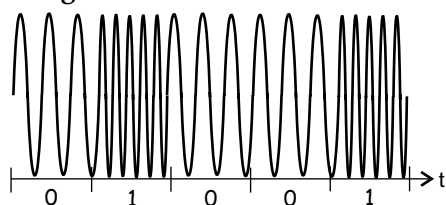
Grundläggande digital modulation innebär (minst) två tillstånd (1/0) och det finns i huvudsak tre sätt att modulera bärvågen: **ASK** (Amplitude Shift Keying), **FSK** (Frequency Shift Keying) samt **PSK** (Phase Shift Keying). Man ändrar (modulerar) alltså amplituden, frekvensen eller fasan i takt med den digitala bitströmmen.

En ASK-signal kan se ut så här:



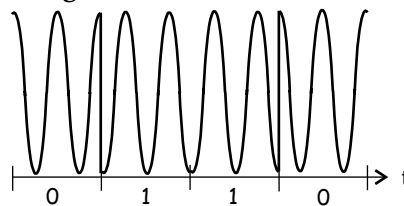
Vid ASK-modulering är bärvågens frekvens konstant medan amplituden varierar. I detta exempel är 1:or bärvåg och 0:or strypt bärvåg. (extrem ASK). Det behöver inte vara så stor skillnad i amplitud!

En FSK signal kan se ut så här:



Bärvågens amplitud är konstant medan frekvensen avviker uppåt och nedåt. I exemplet motsvarar 0:or något lägre och 1:or en något högre frekvens. FSK används till exempel i Bluetooth.

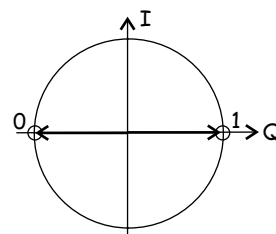
En PSK signal kan se ut så här:



Bärvågen har konstant frekvens och amplitud. 1:an och 0:an motsvarar båda sinusvågor som dock är fasförskjutna 180 grader reellt varandra. Signalen skiftar alltså fas vid byte av tillstånd.

PSK enligt ovan benämns även BPSK (Binär PSK) och är väldigt populär bland annat på grund av bra immunitet mot störningar. Den används bland annat för GPS.

Man kan illustrera en BPSK-signal genom ett visardiagram (konstellationsdiagram).

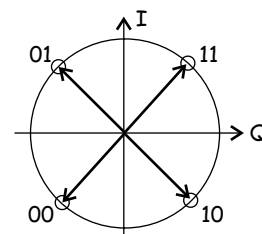


I diagrammet utläses att 0 och 1 ligger 180 grader åtskilda. De ligger på samma avstånd från origo vilket betyder att de har samma amplitud.

Flerbitsrepresentation - fler faser

Med BPSK-modulation låter man alltså bärvågen byta fas 180 grader för 1:a och 0:a. Om man istället ordnar så att bärvågen kan ha fyra olika faslägen, kan signalen i varje ögonblick representera en av fyra olika kombinationer. Modulationen kallas för QPSK (Quadrature Phase Shift Keying).

Principen för QPSK kan illustreras med hjälp av ett konstellationsdiagram.



De olika tillstånden representeras av fyra olika faslägen hos bärvågen medan amplituden är konstant.

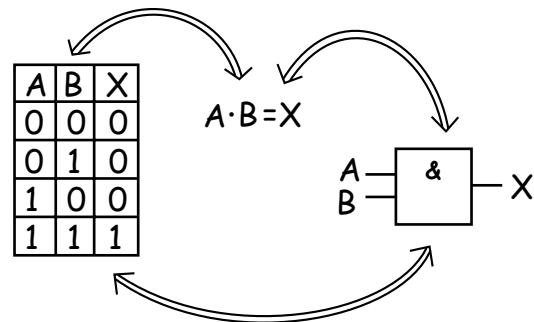
Trots att mottagaren nu måste känna av fyra istället för två faslägen har QPSK bra immunitet mot störningar: För att minska sannolikheten för bitfel används dessutom ofta Graykodning på indatat. Vid felaktig mottagen symbol är det mest sannolikt att den riktiga ligger närmast vid sidan om. Med Graykodning blir bitfelet då endast en bit.

2. Logik och Boolesk algebra

I den digitala världen hanteras informationen som långa rader av 1:or och 0:or.

I elektronikens värld förvandlas visserligen dessa enkla symboler till spänningar och det blir lite mer komplicerat. Men grunden är de enkla binära talen och de räknesätt (operationer) som kan användas på dessa.

I detta kapitel börjar vi med 1:or och 0:or, formell logik och den speciella matematik som gäller här - den Booleska algebran.



Logiska tillstånd

Logik till vardags

I vardagslivet tänker eller hanterar vi ofta företeelser på ett "digitalt" sätt.

En lampa är inkopplad (lyser) eller inte inkopplad (lyser ej). En temperatur kan överstiga en fastställd nivå eller inte göra detta. Antingen är en person hemma eller inte, har ätit eller inte ätit osv.

Detta är exempel på **logiska tillstånd** som antar två olika värden. De kan vara **sanna** eller **falska**.

George Boole utvecklade på 1800-talet en algebra (regler) för hantering av påståenden som gavs två variabelvärden **sann** eller **falsk**. I digitaltekniken använder vi i allmänhet värdet **1** för sann och värdet **0** för falsk. De gamla booleska begreppen sann och falsk används fortfarande i texter och resonemang.

Sanningstabellen

Man kan använda en **sanningstabell** för att beskriva sambandet mellan signaler och entydiga utsignaler i värdena 0 och 1.

En sanningstabell kan se ut så här:

A	B	X
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Sanningstabellen visar vilka logiska tillstånd för A och B som ger sant tillstånd (= 1:a) för X.

I elektroniken använder vi begreppen **insignaler** och **utsignaler**. I sanningstabellen ovan är A och B insignaler medan X är utsignal dvs. resultatet av insignalerna. Bokstäverna är godtyckligt valda.

Om man sammanfattar den logiska funktion som sanningstabellen ovan beskriver kan man säga att utsignalen X är sann (1) endast om insignal A är sann (1) **och** insignal B är sann (1).

En sanningstabell beskriver på så sätt entydigt en **logisk funktion** men det är inte det enda sättet.

Boolesk algebra

Samma logiska funktion kan beskrivas genom en **ekvation**!

I boolesk algebra beskrivs samma funktion, som tabellen ovan, så här:

$$X = A \cdot B$$

A gånger B kan också utläsas som A OCH B. "Gångertecknet" används alltså för att beteckna en logisk funktion - OCH-funktionen (se nedan).

Traditionellt har boolesk algebra spelat en viktig roll inom digitaltekniken. Logiska funktioner kan översättas till booleska ekvationer och med hjälp av "logisk matematik" kan komplicerade logiska funktioner beskrivas och ofta förenklas. För digitaltekniker som sysslar med programmerbara kretsar är boolesk algebra viktigt. I det här kapitlet kommer de vanliga logiska funktionerna att illustreras även med boolesk algebra och i slutet av kapitlet finns en mera utförlig genomgång av de regler som man behöver kunna för att tillämpa boolesk algebra.

Schemasymbolen

I digitalteknikens kopplingsschema finns det grafiska symboler som motsvarar den logiska funktionen och sanningstabellen.

För OCH-funktionen ovan ser den grafiska symbolen ut så här:



Till vänster symbolen enligt IEC-standard, till höger enligt amerikansk standard.

IEC betyder International Electrical Commission.

IEC-symbolerna är den standard som tillämpas i de flesta länder. Den stora fördelen med IEC-symboler är att den logiska funktionen i allmänhet framgår av symbolen.

&-tecknet innanför symbolens konturlinjer anger

den generella funktionen. Variablerna A och B betraktas som **insignaler** och finns på vänstersidan medan resultatet X som är **utsignal** finns på högersidan.

Amerikanska symboler är fortfarande vanliga och man måste därför känna till även dessa.

Sanningstabellen, den booleska ekvationen och den grafiska symbolen beskriver entydigt var för sig samma logiska funktion.

De är tre former för en logisk funktion som är användbara i olika sammanhang.

De tre logiska grundfunktionerna

I logiken finns det tre grundläggande funktioner OCH (AND), ELLER (OR) och ICKE (NOT).

Såväl de svenska som de engelska termerna används i svensk litteratur.

OCH-funktionen (AND)

Du känner redan till OCH-funktionen och vet att denna kan uttryckas genom en sanningstabell, en boolesk ekvation och en grafisk symbol.

A	B	X
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Minnesregel : Endast två 1:or ger 1:a ut.

Funktionen är: $X = A \cdot B$

Gångertecknet ($\cdot$) används för OCH-operatör.

Symbolerna är dessa:



ELLER-funktionen (OR)

En andra grundfunktion är ELLER-funktionen. För denna gäller:

A	B	X
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

Minnesregel: Endast två 0:or ger 0:a ut.

Funktionen är : $A + B = X$

Symbolerna: IEC-symbolen t.v. och den amerikanska t.h.



Lägg märke till att ELLER-funktionen (ELLER-grinden) inte exakt motsvarar innebörden av ordet "eller" i normalt språkbruk. Ofta är ordet "eller" synonymt med "antingen eller" dvs. det ena eller det andra men inte båda! Av sanningstabellen framgår att X är sann om A är sann **eller** B är sann **eller** både A och B är sanna – härav uttrycket ≥ 1 i symbolen. Som funktionsbeteckning används + som symbol för ELLER-operatör.

ICKE-funktionen (NOT)

ICKE-funktionen är den tredje grundläggande funktionen.

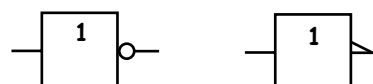
Denna logiska funktion förvandlar sant till falskt och tvärtom. Att exempelvis "äga en bil" förvandlas av funktionen till att "icke äga en bil". I digitaltekniken förvandlar ICKE-funktionen 1 till 0 och 0 till 1. Funktionen kallas även **inverterare** (eng. Inverter)

Sanningstabellen ser ut så här:

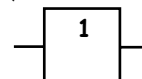
A	X
0	1
1	0

och funktionen: $X = \bar{A}$

Dessa symboler används (IEC):



Symbolen byggs upp av symbolen för en icke-invertering (kallas buffer):



3. Logik blir elektronik

I det här kapitlet tar vi steget från 1:or och 0:or och logiska grundfunktioner till digitala elektriska signaler på ett kretskort.

Vi undersöker viktiga egenskaper hos logikkretsar genom att bland annat jämföra data och egenskaper hos tre standardkretsar: 74LS00, 74HC00 samt 4011. Det är dags att plocka fram databladet (om du inte har dessa: se sid 6).



Från 1:or och 0:or till spänning

Från tillstånd till nivå

Hantering av ettor och nollor och realiseringen av logiska funktioner är en viktig del av digitaltekniken.

Men, i den praktiska tillämpningen av digitalteknik, på chip- eller kretskorts-nivå måste de logiska tillstånden omvandlas till **logiska nivåer**. Detta innebär att de logiska tillstånden representeras av olika **spänningsnivåer**.

A	B	X
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

A	B	X
L	L	H
L	H	H
H	L	H
H	H	L

Funktionstabellen (t.h) visar alltså spänningsnivåer på ingångarna (A och B) och utgången (X).

Positiv eller negativ logik

Det vanligaste är att man låter en 1:a representeras av hög spänningsnivå (H) och en 0:a av låg spänningsnivå (L). Detta kallas **positiv logik**.

Tillstånd	Nivå
0	L
1	H

I vissa fall förekommer även den motsatta representationen, vilken kallas **negativ logik**.

Tillstånd	Nivå
0	H
1	L

I den här boken används positiv logik såvida inte annat påpekas.

Funktionstabellen

I databladet uppger tillverkaren kretsens logiska funktion.

Till exempel för en NAND-grind: $X = \overline{A \cdot B}$
som refererar till symbolerna :



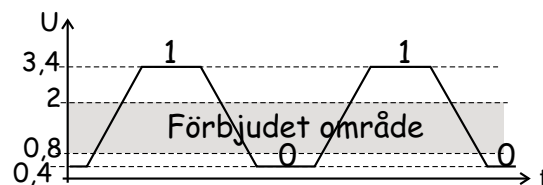
För att undvika missförstånd använder tillverkarna normalt **funktionstabeller** istället för sanningstabeller.

Sanningstabellen (t.v) och funktionstabellen (t.h) för en NAND-grind ser ut så här :

Elektronik - mer än H och L !

Så länge man studerar logiken i ett kopplingsschema är logiska nivåer praktiskt. Man slipper fundera på vilka spänningar det gäller!

När de logiska funktionerna skall förverkligas med hjälp av IC-kretsar blir det mera besvärligt. Här uppträder 1:or och 0:or som specifika spänningsnivåer och mellan dessa finns spänningsnivåer som inte är tillåtna - det förbjudna området!



I tillverkarnas datablad hittar vi funktionstabeller (se ovan) och de logiska nivåerna **H** och **L** ersätts med lämpliga spänningar, till exempel 0V för låg (L) och 5V för hög (H).

Dessutom: verkliga digitala kretsar drar ström, de klarar inte hur höga datahastigheter som helst, utsignalerna är ofta långt ifrån "rena och fina" logiska nivåer, IC-kretsarna kan vara fysiskt olika stora (olika kapsling) osv.

Vid övergången från logiska nivåer till elektronik måste man ta i beräkning en rad elektriska egenskaper. De tre kretsarna vi undersöker 74LS00, 74HC00 samt 4011 innehåller samma logik. Alla innehåller 4 NAND-grindar men i övrigt är det en hel del som skiljer.

Strömmar och drivförmåga

Utspanning beror på strömuttag

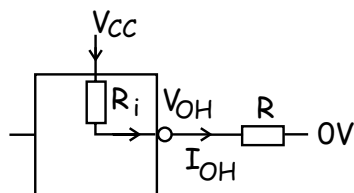
Iföregående avsnitt har vi gått igenom de spänningsnivåer som krävs på in- och utgångar samt vilka störmarginaler detta ger, dock lite förenklat.

För att data på utnivåerna V_{OH} och V_{OL} skall vara meningsfulla måste de specificeras i förhållande till strömmarna I_{OH} (Current Output High) och I_{OL} (Current Output Low).

Mata ut ström

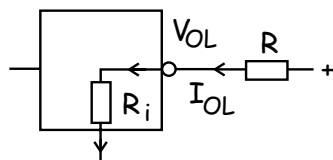
Vid hög ut (V_{OH}) kommer strömmen från matningsspänningen (V_{CC}). Inne i kretsen finns alltid en viss resistans R_i . Ju större strömuttaget är desto lägre blir därför utspänningen V_{OH} .

Hur bra en krets är på att "ge ifrån sig ström" med tillräckligt hög nivå för hög (V_{OH}) brukar man benämna kretsens förmåga att **mata ut** ström.



Sänka ström

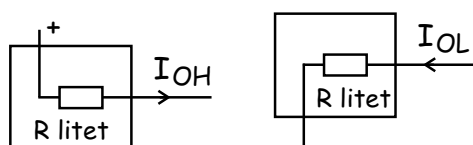
Vid låg ut (V_{OL}) går strömmen i verkligheten in i kretsen och vidare mot 0V (GND). Även i det här fallet möter givetvis strömmen en viss resistans R_i . Ju större ström desto högre blir därför utspänningen V_{OL} .



Hur bra en krets är på att "ta in ström" med bibehållen tillräckligt låg nivå (V_{OL}) brukar man benämna som kretsens förmåga att **sänka** ström.

Utimpedans

Förmågan att mata ut och sänka ström är direkt kopplad till vad man brukar kalla kretsens utimpedans vilken (lite förenklat) motsvarar storleken på det inre motståndet.



Det är oftast en fördel om utimpedansen är så låg som möjligt både när kretsen matar ström

(I_{OH}) och när den sänker ström (I_{OL}). **Låg utimpedans** innebär att kretsen kan mata och sänka stor ström.

Det är dock inte odelat positivt med låg utimpedans eftersom detta kräver motsvarande kraftiga drivsteg. Detta innebär i sin tur högre effektförbrukning och långsammare krets (se nedan).

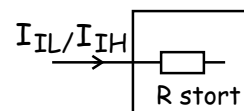
Behovet av drivförmåga

Hur stor ström en krets behöver mata eller sänka beror på hur den används. Om den, till exempel, skall tända lysdioder (se exempel nedan) behövs mer ström än om kretsen skall kopplas till ingångarna på andra logikkretsar.

Ett mått på **drivförmågan** är hur många ingångar tillhörande en krets av samma familj som en utgång klarar av att driva. Detta mått kallas för kretsens **fan-out** och ligger i allmänhet på 10-20.

Inimpedans

Det ideala är att kretsarna inte drar ström på sina ingångar (I_{IH} och I_{IL}) dvs. har **hög inimpedans**.

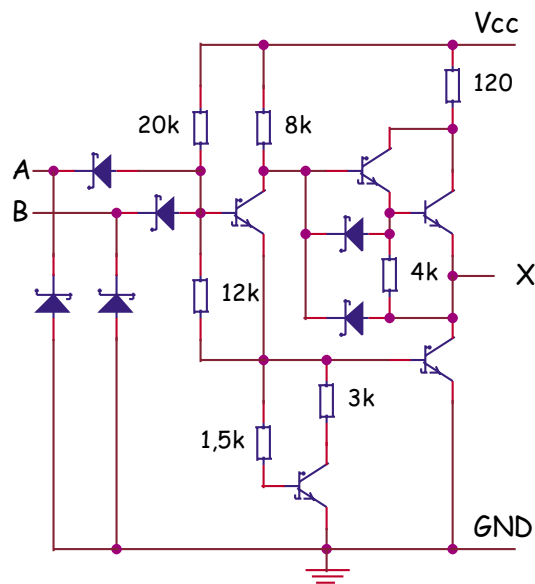


Här är skillnaden stor mellan olika kretsfamiljer.

74LS00: strömmar och inre resistans

Sänker bra - matar dåligt

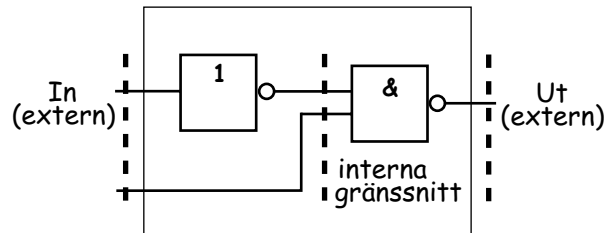
Eftersom 74LS00 (liksom alla bipolära kretsar) har osymmetriska utgångar har den olika drivförmåga för hög respektive låg utsignal.



4. Digitala gränssnitt

Ett gränssnitt (eng. *interface*) är det område där signaler från olika kopplingselement som antenner, kablage, IC-kretsar, kretskort osv. möts.

I det här kapitlet skall vi lära känna de vanligaste kretsfamiljerna och deras specifikationer. Därefter skall vi undersöka de problem som kan uppstå när digitala signaler kopplas mellan kretsar från olika familjer eller in/ut från kretskort.



74-serien - sätter standard

Du har redan bekantat dig med 74LS00 och 74HC00 och känner till att dessa har olika egenskaper. Båda tillhör den s.k. 74-serien.

Denna serie introducerades 1964 av Texas Instruments. Det var från början en ren bipolär kretsfamilj men rymmer nu även CMOS-familjer som till exempel 74HC! Det är nödvändigt att känna till hur denna nummerserie är uppbyggd.

Numret motsvarar en logisk funktion

Kretsarna har löpande nummerföljd 7400, 7401 osv. där varje nummer i serien står för en logisk funktion. Kretsar med samma nummer är med andra ord **logiskt kompatibla**. En 74-krets med nummer 00 (till exempel 7400) innehåller alltid 4 st 2-ingångars NAND-grindar (QUAD 2-Input NAND Gate).

Numret innebär samma pinout

Dessutom gäller att anslutningen av såväl matningsspänning som in- och utgångar till grindarna är samma på alla kretsar, i 74-serien, med samma nummer oavsett familjetillhörighet (stiftkompatibla, se nedan).

Prefix ger tillverkaren

Framför det egentliga serienumret förekommer ibland bokstäver som kan hänföras till tillverkaren. Här är några exempel:

Beteckning	Tillverkare
SN74LS00	Texas Instrument (TI)
MM74HC00	Fairchild (Fch)
DM74LS00	Fairchild (Fch)
CD74HC00	Harris (H) - tidigare stor tillv.
PH74HC00	Philips - idag NXP
MC74LVX00	On Semiconductor (On)
TC74LVX00	Toshiba (Tosh)
HD74HC00	Renesas (Re) /Hitachi (Hi)
IDT74LVC00	IDT Integrated Device Technology Inc - special logikkretsar
PI74FCT132	Pericom (Per) - special logikkretsar

Tillverkare kan ha egna specialkretsar men logikkretsar från standardserier, som det handlar om här, har i huvudsak samma egenskaper oavsett vem som står som tillverkare.

Olika tillverkare - inga problem

Det finns i allmänhet inga gränssnittsproblem på grund av olika tillverkare.

Mellanbokstäver ger familj

Efterhand som nya kretsfamiljer utvecklats har dessa fått beteckningar som till exempel 74LS00, 74HC00 eller 74LVC00 där LS, HC och LVC betecknar kretsfamiljen.

Suffix ger kapslingstyp m.m.

Efter själva serienumret (suffix) förekommer bokstäver som i allmänhet står för typen av kapsling. Här är några exempel för 74HC00:

Beteckning	Kapslingstyp
MM74HC00N	Plastkapsling, DIL14 hålmonterad
MM74HC00M	SOIC (ytmonterad)
MM74HC00MTC	TSSOP (ytmonterad med mindre benavstånd)

Olika tillverkare använder olika beteckningar (ovan Fairchild). Det är säkrast att gå till tillverkarens egna datablad för att utläsa innebörden.

Övrig märkning

På kretsen kan det även stå datumkod och ibland revision, tillverkningsland m.m. Här finns inga generella regler.

Anpassning till externa in- och utsignaler

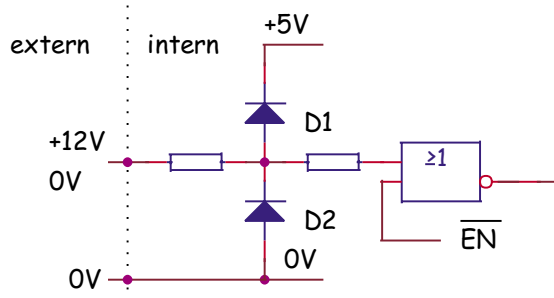
Många enkla externa inkopplingar till digitala kretskort är digitala till sin natur. De behöver inte passa ihop för det! En 1:a är alltid en 1:a men ibland är en 1:a 12V, ibland är den 3,3V och ibland ser den alltför bedräglig ut! Vi skall se hur man löser denna typ av digitala gränssnittproblem i några typiska fall.

Skyddskretsar med dioder

De flesta digitala kretsar tål varken överspänning eller negativ spänning på sin ingång. (se Absolute Maximum Ratings - i databladet)

Vi tänker oss att den externa signalen normalt är 0V eller 5V men att risk för felinkoppling finns, till exempel med 12V.

Dioder kan då användas för att skydda mot överspänning.

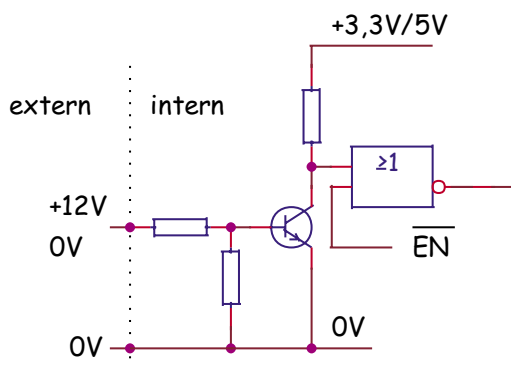


D1 begränsar positiv inspänning till 5,6V och D2 begränsar negativ inspänning till -0,6V. På detta sätt skyddas IC-kretsen mot såväl positiv överspänning som negativ underspänning.

Nivåanpassning med transistor

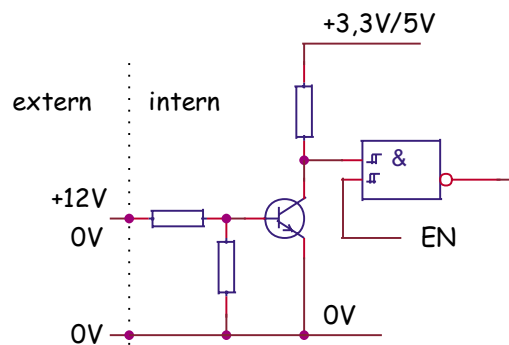
Många gånger har externa signaler fel nivå för den kretsfamilj som används. Inspänningen kanske är 0V eller 12V medan kretsarna arbetar med 3,3V.

I detta fall kan anpassning göras till exempel med hjälp av en transistor. (Jämför anpassningstekniken med kretsar med öppna kollektor).



Anpassa till långsamma signaler

Om insignalerna har obestämda nivåer eller långsamma flanker är det lämpligt att använda kretsar med schmitttriggeringång.



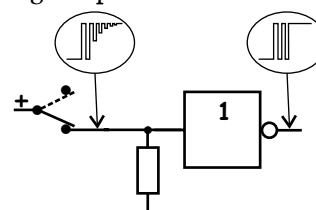
Kopplingen är samma som visats ovan men den första grinden har en schmitttriggeringång.

Som visats i föregående kapitel är en schmitttrigger bra mot såväl långsamma flanker som signaler med överlagrat brus eller störningar.

Anpassa till mekaniska kontakter

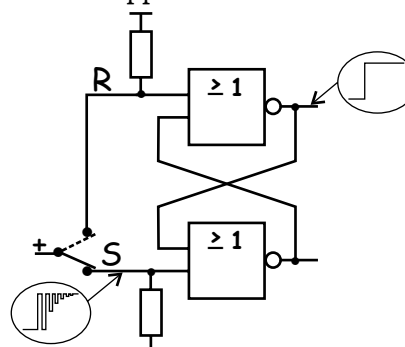
Om den yttre digitala nivån skall styras med en mekanisk omkopplare måste man vidtaga åtgärder mot kontaktstuds. (Detta kan också göras i programvaran, om mottagaren är en mikroprocessor.)

Utsignalen från en vanlig mekanisk omkopplare ser ut ungefär på det här sättet.



När omkopplaren slås till tar det i själva verket ett antal millisekunder innan det verkligen är en ren, i detta fall hög, insignal till kretsen. På utgången blir det ett motsvarande pulståg vilket vanligtvis inte är önskvärt.

För att ta hand om kontaktstuds kan man använda en SR-vippa:

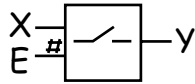


IEC-symboler

I det här kapitlet har du blivit bekant med några nya schemasymboler.

Analoga switchar

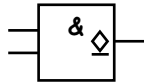
En digital styringång på en i övrigt analog krets markeras som # i exemplet med den analoga switchen.



Öppen utgång

Utgångar som avviker från standard, som till exempel öppen kollektor visas med en särskild tilläggsymbol för denna utgång.

Så här ser symbolen ut för en AND-grind med öppen kollektor (eller open drain):



Strecket under symbolen visar att det är en öppen utgång av L-typ (NPN- öppen kollektor)

Om strecket istället finns på ovansidan visar detta en öppen utgång av H-typ (PNP- öppen kollektor)

3-tillståndsutgång

Three-state utgången markeras i en schema-symbol med en triangel. I detta exempel en Three-state grind med enable ingång (amerikansk symbol till höger):

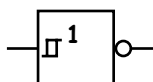


Enableingång

En enableingång (friingång) markeras med EN - se exempel ovan. Den "kopplar in" utgångarna. Om denna ingång har inre 1-tillstånd aktiveras alla utgångar i enlighet med sina inre tillstånd. Om EN-ingången har inre 0-tillstånd får utgångarna Three-state-tillstånd eller motsvarande.

Schmitttriggeringången

En schmitttriggeringång visas med ett hysteressecken.



Variationer

4.1. Funderingar runt ULN-kretsar

a) Du tänker använda en ULN2003A för att tända en 24V-glödlampa. Beräkna effektförlusten i drivaren om lampan drar 350mA (använd databladet som finns i databladsbilagan).

b) Antag att du har ett kretskort som arbetar med 5V:s logik (74HC-kretsar). Du har också ett litet kretskort där det sitter en ULN2004A vars utgångar är kopplade till några fläktar (12V/125mA). Kan du ta utsignalerna från logikkortet och driva ULN2004 direkt? (använd databladet)

4.2 Omslagspunkter för en schmitttrigger

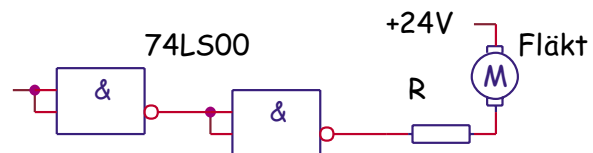
Ta reda på vilka omslagspunkter V_{T+} och V_{T-} samt garanterad minsta hystereses som gäller för NAND-grinden med schmitttriggeringångar 74HC132 (använd databladet).

4.3 Störmarginaler 74HC132-74HC00

Kan man säga att störmarginalerna i alla avseenden (alla tänkbara fall i enlighet med databladen) är bättre för 74HC132 jämfört med 74HC00 - vid 4,5V/4mA ?

4.4 Inkoppling av en fläkt

a) I schemat nedan är tanken att styra en liten fläkt till/från med en 74LS00. Motståndet är tänkt att skydda logikkretsen som inte tål 24V. Reläet är på 24V/6mA. Varför fungerar inte kopplingen? (konsultera vid behov databladet för 74LS00)



b) Visa hur en fungerande koppling skulle kunna se ut om du dessutom har tillgång till en enkel standard NPN-transistor och ett motstånd av valfri storlek att lägga in i schemat.

4.5 Totempole-utgången

Förklara kort varför totempoleutgången är bättre på att sänka än att mata ström (se schema sid 77).

Laborationer och experiment

Laborationer som anknyter till detta kapitel:

- Experiment med schmitttrigger - DIGLAB004.
- Interface för temperaturstyrd fläkt - DIGLAB100.
- Experiment med analog switch (Förslag)

Svar till variationer

4.1 a) I databladet finns angivet det maximala spänningsfallet över transistorerna $V_{CE(sat)}$ till 1,6V. Effektförlusten blir $1,6 \times 0,35 = 0,56 \text{ W}$.

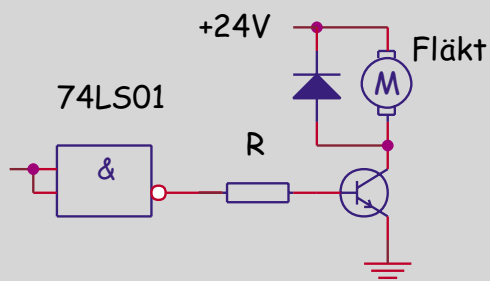
b) ULN2004 kommer inte att fungera eftersom den kräver en inspanning som är minst 5V (vid 125mA).

4.2 V_{T+} : 2-3,15V, V_{T-} : 0,9-2,2, hystereses 0,4 - 1,4V.

4.3. Nej! Vid 4,5V (4mA) kan det inträffa att 74HC132 har sämre störmarignal för V_{OL} - $V_{IL} = 0,26-0,9 = 0,76$ jämfört med 74HC00: $V_{OL}-V_{IL} = 0,26-1,35 = 1,09 \text{ V}$.

4.4. a) Vid LÅG (0V) ut drar reläet och vid HÖG (3,8V) ut förblir troligtvis reläet draget alternativt kommer kretsen att gå sönder.

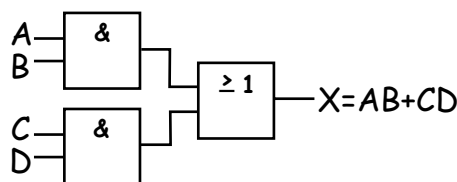
b) Den ena logikretsen kan ersättas med en transistor och problemet är löst:



4.5. Det finns ingen resistans i serie, endast en bottnad transistor, vid låg ut dvs. då den sänker ström.

5. Kombinatoriska kretsar

Standard logikkretsar kan delas in i kombinatoriska kretsar och sekvenskretsar. De kretsar vi hittills kommit i kontakt med tillhör de enklaste kombinatoriska kretsarna. I det här kapitlet går vi från enkla till sammansatta, större kombinatoriska kretsar. Sekvenskretsar behandlas i nästa kapitel.



Grundfunktionerna är kombinatoriska

Alltid förutsägbara

De grundläggande grindarna som behandlades i kapitel 2 dvs. AND, OR och ICKE samt utvecklingen av dessa: NAND, NOR och EXOR, är alla kombinatoriska kretsar.

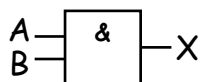
Kombinatoriska kretsar kännetecknas av entydiga utdata och avsaknad av minnesfunktion.

• Entydiga utdata

Kombinatoriska kretsar uppvisar alltid samma utsignal för en och samma kombination av insignaler. Kretsens funktion kan entydigt beskrivas med en sanningstabell, en ekvation eller en grafisk symbol, precis som vi visade i kapitel 2. Exempel med NAND-grind:

A	B	X
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

$$X = A \cdot B$$



• Utan minnesfunktion

Kombinatoriska kretsar saknar minnesfunktion.

Ett specificerat ingångsvärde (kombination av insignaler) ger alltid samma utsignaler. Tidigare data lämnar inga spår!

Detta skiljer dem från sekvenskretsar (nästa kapitel)

Grundläggande grindar som IC

Även om utvecklingen i digitalteknik går rasande fort har de grundläggande grindarna i 74-serien överlevt. Den ursprungliga 74-familjen har utvecklats till 74HC, 74ALS, 74LVC osv. Inom denna ram har de flesta ursprungliga konfigurationerna hängt med och tillverkas alltså fortfarande.

Standard grundfunktioner

Beteckning	Innehåll
74xx00	2-input NAND x 4
74xx02	2-input NOR x 4
74xx04	NOT x 6
74xx08	2-input AND x 4
74xx14	NOT (schmitttrigger) x 6
74xx32	2-input OR x 4
74xx86	2-input EXOR x 4
74xx132	2-input NAND (schmitt-trigger) x 4
4001	2-input NOR x 4
4011	2-input NAND x 4
4071	2-input OR x 4
4081	2-input AND x 4
4069	NOT x 4

Samtliga dessa är 14-bens IC och finns för såväl hålmontering som ytmontering och genom flera tillverkare.

Få eller många grindar

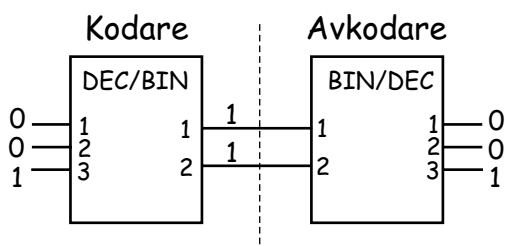
Ju mer invecklad en logisk funktion är desto fler grindar behövs för att förverkliga funktionen.

I det här sammanhanget brukar man skilja på dessa typer:

Typ		Antal grindar
SSI	Small	1-10
MSI	Medium	10-100
LSI	Large	100-1000
VLSI	Very large	1000-10 000
SLSI	Super large	10 000-100 000

Kodomvandlare

Kodomvandlare arbetar i princip åt två håll. En kodare (eng. encoder) omvandlar (kodar) en viktad ingång (värdeingång) till ett binärt tal. En avkodare (eng. decoder) omvandlar (avkodar) ett binärt tal (data) till en viktad utgång.



I exemplet ovan aktiveras ingång 3 i kodaren vilket ger binära datat 11 ut. När detta data är indatat till avkodaren aktiveras avkodarens utgång 3.

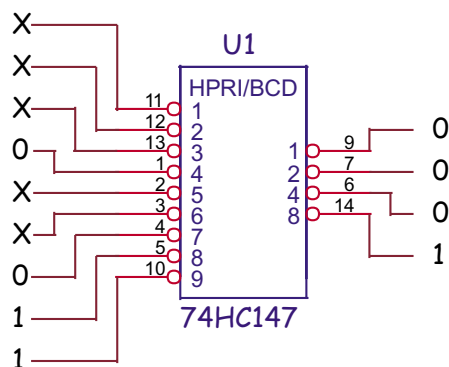
Vi skall undersöka hur dessa funktioner realiseras i verkliga IC-kretsar.

Kodare

En typ av kodare (encoder) omvandlar decimalt viktade ingångar (värdeingångar) till binära utdata.

En sådan krets är 74xx147 som benämns **10-to-4 line priority encoder**.

Den här inkopplingen med en 74HC147 visar hur kretsen fungerar:



Som framgår av symbolen är såväl ingångar som utgångar aktivt låga.

Funktionen är denna: Om ingen ingång är aktiverad dvs. alla ingångarna är höga är alla utgångar höga. Om en eller flera ingångar aktiveras, i exemplet ovan ingång 4 och 7, kodas ingången med högsta värdet till motsvarande binärt data. I detta fall 1000 (obs. aktivt låga).

"Priority encoder" innebär just att om flera ingångar aktiveras har den med största värdet prioritet. (A9 har störst prioritet). I exemplet påverkas inte utdata av ingångarna med värden lägre än 7. (X = saknar betydelse)

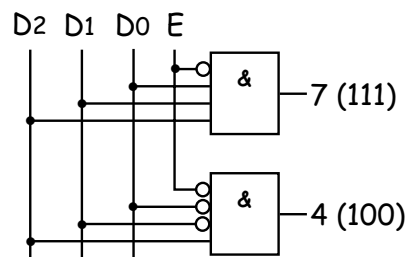
Några vanliga kodare (priority encoder)

Beteckning	Innehåll
74xx147	10-to-4 line
74xx148	8-to-3 line
74xx348	8-to-3 line (3-state ut)
4532	8-to-3 line

Avkodare

Det finns flera olika typer av avkodare (decoder). Vi skall titta närmare på binäravkodare, binär till decimalavkodare, Grayavkodare samt avkodare för 7-segment display.

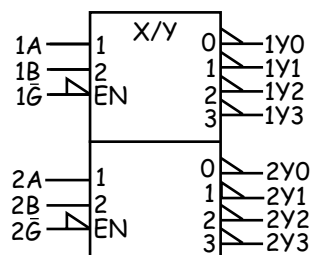
Här är först ett enkelt exempel på hur en binäravkodare kan vara uppbyggd. Denna avkodare ger hög ut för data=7 och data=4.



Denna avkodare har också försetts med en enable ingång (aktivt låg).

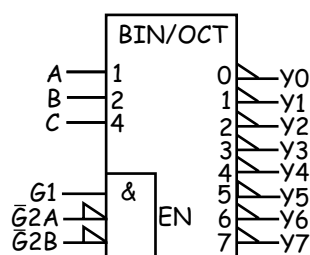
Binäravkodare

Avkodaren 74XX139 innehåller två 2-4 avkodare med enable-ingång (EN)



Med data in på ingångarna 1A och 1B adresseras en av utgångarna 1Y0-1Y3. Observera att ingångarna är viktade. Som symbolen visar är utgången aktivt låg.

74XX138 är en annan populär avkodare som innehåller en 3-8 (BIN/OCT) avkodare med tre enable ingångar. Ingångarna A-C är viktade.



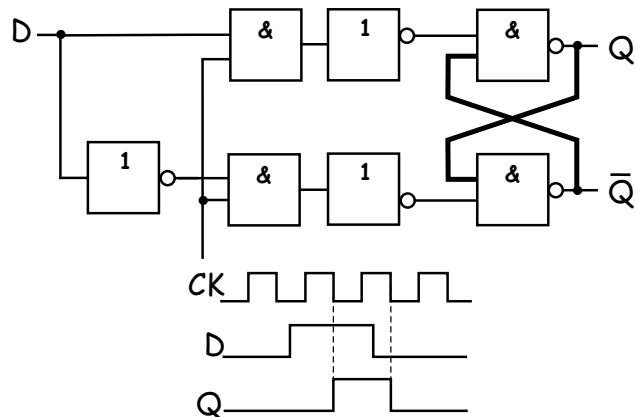
6. Sekvenskretsar

För kombinatoriska kretsar ger en uppsättning indata alltid samma utdata. För sekvenskretsar är detta inte självklart eftersom dessa kretsar har en minnesfunktion. Det sparade värdet kan påverka kretsens fortsatta funktion och ett ingångsvärde kan därför ge olika utgångsvärde.

Sekvenskretsar har alltid någon typ av återkoppling (eng. feedback) - markerad i schemat på en s.k. D-vippa i bilden t.h.

När man undersöker en koppling med sekvenskretsar har man ofta nytta av pulsdigram. Bilden t.h. visar hur utsignalen beror på insignalerna hos en D-vippa.

Vi skall titta närmare på tre typer av sekvenskretsar: vippor, räknare och register.



Vippor

Vippor är kretsar vars utgång växelvis kan sättas 1 eller 0 från samma ingång.

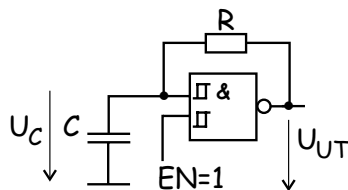
Det finns tre grundläggande typer av vippor: astabil, monostabil och bistabil.

Astabila vippan - oscillatoren

Astabila vippor har inget stabilt läge. Utsignalen växlar själv, hela tiden, mellan 0 och 1.

Oscillator med Schmitttrigger

En astabil vippa är det samma som en pulsooscillator. Denna kan byggas med en schmitttrigger.

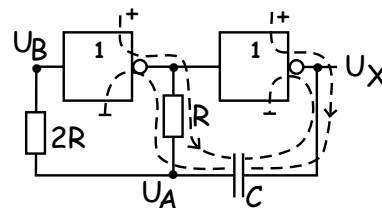


Kopplingen utnyttjar schmitttriggerens hysteres. När utgången slår om till hög laddas kondensatorn upp via R. När insignalen når V_{T+} blir utsignalen låg och kondensatorn börjar laddas ur. När kondensatorn laddats ur till V_{T-} tas den som låg och utgången blir åter hög osv. Med EN kopplas oscillatoren in (EN=1) och ur (EN=0) (se även kapitel 4 om Schmitttriggeren).

Med två inverterare

Enkla astabila vippor kan också byggas med vanliga inverterare, till exempel från kretsen 74HC04.

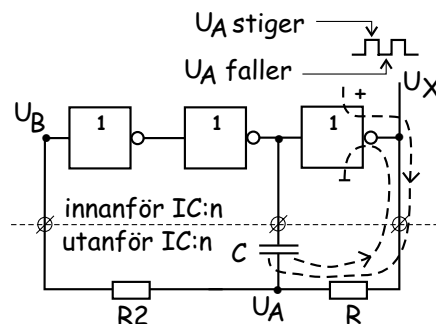
Här är ett exempel på en astabil vippa med två inverterare:



Antag att utgången (U_X) blir låg. Kondensatorn C laddas nu upp från utgången på den första inverteraren vars utgång ligger hög. Potentialen i U_A stiger och därmed även i U_B . När den kommer upp till c:a $50\% \cdot V_{DD}$ blir den första inverterarens utgång låg, U_X blir hög och kondensatorn börjar nu laddas ur. När U_A och därmed också U_B blir låga blir den första inverterarens utgång åter hög, U_X låg och förloppet börjar om från början.

Med tre inverterare

En ännu bättre konstruktion, ofta integrerad, är med tre inverterare:



Här är det den siste inverteraren som sköter upp- och urladdningen av kondensatorn C. Potentialen i U_A och därmed U_B påverkas vilket ger

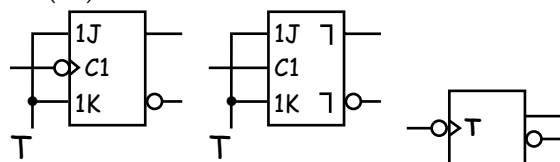
Några vanliga D-vippor

Beteckning	Innehåll
74xx75	4 bit
74xx175	4bit with clear
74xx375	4 bit
74xx373	8 bit transparent, 3-state
74xx534	8 bit 3-state
74xx573	8 bit transparent, 3-state
4042	4 bit
4076	4 bit 3-state
4508	2 x 4 bit

T-vippan och frekvensdelaren

Om J- och K-ingångarna båda kopplas till 1 ($J = K = 1$) får man en funktion som ibland kallas T-vippa (T från eng. toggle - se nedan).

Den kan realiseras med en master-slave eller flanktriggad JK-vippa. Även den förenklade symbolen (t.h.) förekommer.

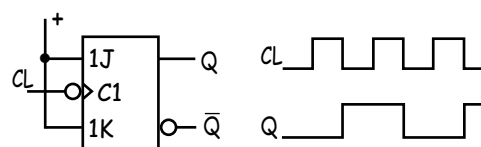


Funktionen framgår ur JK-vippans sanningstbell nedan t.v.: Endast de markerade tillstånden är aktuella vilket ger den förenklade sanningstabellen t.h.:

J	K	Q+
0	0	Q
0	1	0
1	0	1
1	1	/Q

T	Q+
0	Q
1	/Q

Vippan kommer således att ändra sitt tillstånd en gång för varje klockpuls (vippan "togglar"). Om insignalen har en fyrkantsvåg med en bestämd frekvens kommer utsignalen att ha halva infrekvensen.

T-vippans pulsdigram

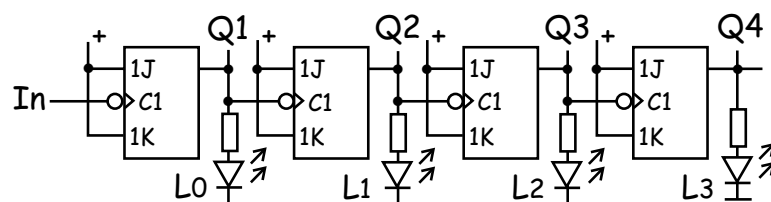
T-vippan kan styras genom att T-ingången (Joch K) sätts 0 då vippan inte påverkas av klockpulser.

Räknare**Den binära räknaren**

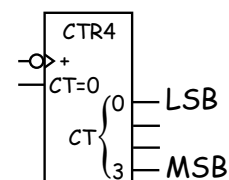
Den binära räknaren kan byggas med JK-vippor kopplade som T-vippor med $T = 1$ dvs. $JK = 11$). En fyra bitars binär räknare kräver fyra vippor. En förenklad koppling med lysdioder på utgångarna visas nedan.

Denna vippa fungerar som en frekvensdelare vilket framgår av tidsdiagrammet.

För uppräknig är utgången Q kopplad till efterföljande klockingång. För nedräkning kopplas $\bar{Q}$ (ej inritad) till efterföljande klockingång. Nollställning sker asynkront genom en reset (R-ingång - ej inritad) till samtliga vippor.



Motsvarande symbol för denna vippa (integrerad) skulle se ut på det här sättet:



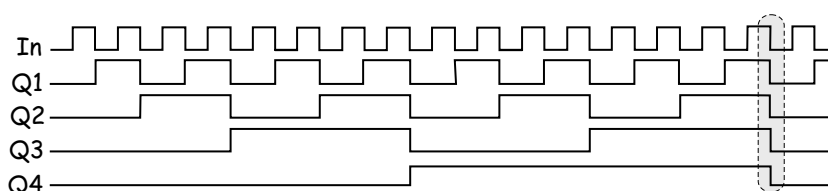
Beteckningen CTR i symbolen skvallrar om att det är en räknare och +-tecknet säger att den räknar upp ett steg för varje negativ flank på denna ingång.

CT (eng. content) anger räknarens aktuella innehåll där utgångarna är viktade från 2^0 till 2^3 .

Ingången $CT = 0$ nollställer räknaren (motsv. reset).

Ofta har räknare även asynkron förinställning genom preset (S-ingång) på valda ingångar.

En nackdel med denna räknare är dess stegfördröjning. En närmare analys av detta - det markerade området i bilden - kommer nedan.

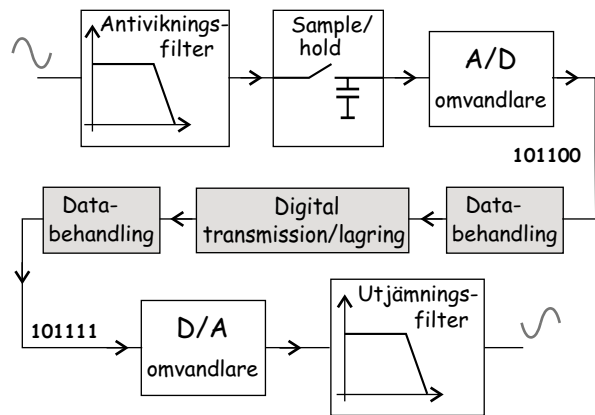


7. Mellan analog och digital

Analoga signaler omvandlas till digitala och ofta tillbaka till analoga. Dessa omvandlingsprocesser känner du till, i stort, från kapitel 1.

I det här kapitlet skall vi titta närmare på hur själva elektroniken kan se ut i gränsområdet där omvandlingen sker från analog till digital (A/D) och från digital till analog (D/A).

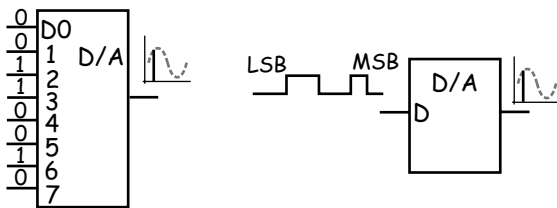
Vi börjar med D/A-omvandlingen eftersom D/A-omvandling ofta är en integrerad del av en A/D-omvandling.



Digitalt till analogt - D/A-omvandling

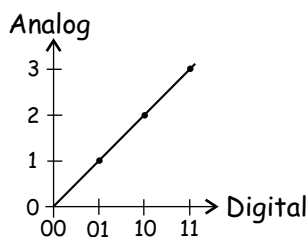
Från parallell eller seriell

Datat anländer till D/A-omvandlaren i parallell eller seriell form.



Omvandlingen

För den ideala D/A-omvandlaren gäller att varje digital kod in ger ett bestämt analogt värde ut.



Mer eller mindre komplexa

D/A-omvandlare kan vara komplicerade eller enkla.

Långsamma förändringar och låga krav på upplösning ger relativt enkel elektronik.

Exempel på enkla D/A-omvandlingar är hastighetsstyrning av en vanlig DC-motor eller en digitalt styrd volymkontroll.

Ett annat exempel är den 1-bitsomvandlare som används som del i avancerade A/D-omvandlare för bland annat audio (Sigma-Delta omvandlaren).

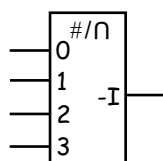
I många fall skall dataströmmar med 8- upp till kanske 24-bitars data konverteras i hög hastighet. Krav på snabb omvandling och hög upplösning ger mer komplicerad elektronik.

Vi kommer att ta upp dessa fem typer av D/A-omvandling:

- Pulsbreddmodulering
- Viktade resistorer
- R2R-stege med spänningsutgång (VDAC)
- Multiplicerande (MDAC)
- Integrerad DAC med strömutgång (IDAC)

I IEC-symbolen används #/n tecknet för digital och n för analog.

I symbolen t.h. en 3-bitars D/A-omvandlare med strömutgång.



D/A-omvandlaren kallas även DAC (eng. Digital to Analog Converter).

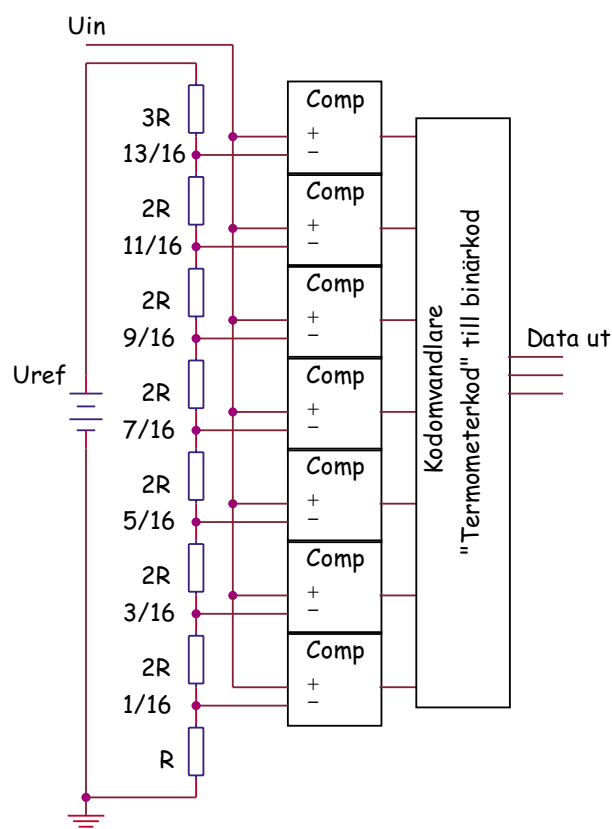
I amerikansk litteratur används ofta denna symbol:



Flash-omvandlaren

Flashomvandlaren kallas även parallellomvandlare.

Principen för en 3-bitars flash-omvandlare är denna:



Inspänningen U_{in} kopplas till ett antal komparatorer och en spänningsdelare ger viktade referensspänningar till komparatorerna.

De komparatorer vars referensspänning är lägre än inspänningen kommer att ge en hög ut-signal. Det digitala datat ut (s.k. termometerkod) från komparatorerna omvandlas i en snabb avkodare till ett motsvarande binärt tal.

Flashomvandlarens egenskaper

Detta är den i särklass snabbaste A/D-omvandlaren. Det finns flashomvandlare med omvandlingshastigheter på 1,5Gs/s för 8-bitar och 100-200Ms/s för 12-bitars (pipeline - se nedan). En SAR-omvandlare kan inte komma ens i närheten!

Nackdelen med flash-omvandlaren är att den kräver så många komparatorer: $2^n - 1$ där n är antalet bitar. 4 bitar kräver således 15 st, 8 bitar kräver 255 st komparatorer. En 16-bitars omvandlare skulle kräva 65535 komparatorer! Över 10 bitar (1023 komparatorer) är i praktiken svårt att integrera.

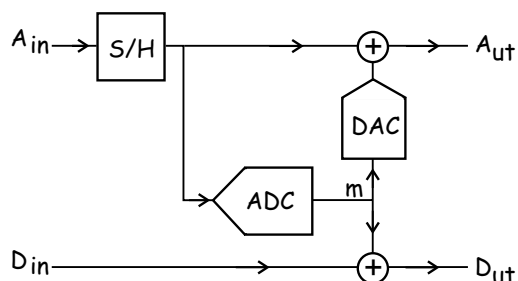
Spänningsdelaren måste vara noggrann så att till exempel omslagspunkten för 13/16 verkligen är 13 ggr större än omslagspunkten för 1/16 - med tillräcklig noggrannhet! Om bitarna efter omkodning till binärkod är olika stora leder detta till brus och distortion (Linearitetsfel - se Ta ett steg till...).

Flashomvandlare är generellt sett dyra komponenter.

Pipeline-omvandlaren

I en pipeline-omvandlare görs omvandlingen i flera steg (delsteg - eng. sub-ranging ADC). Den byggs oftast, men inte nödvändigtvis, av ett antal flash-omvandlare. (Pipeline-Flash)

Varje steg består av en Sample/hold-krets (se ovan), en m -bitars ADC (till exempel en Flash) samt en m -bitars DAC - bilden här visar ett steg.



Sample/hold-kretsen (S/H) låser det data som skall omvandlas. I ADC:n omvandlas till m bitar - de mest signifikanta bitarna - vilka skickas ut på "D-linan" (D_{ut}). Samtidigt återomvandlas dessa m bitar i DAC:en vilket ger en spänning som dras från den inkommande A_{in} . Restspänningen kommer ut på A-linan (A_{ut}) där den går in till nästa

likadant steg som ger ytterligare m bitars upplösning på D-linan.

Vi tar ett exempel med en 2x4-bitars omvandlare där $U_{in_{max}} = 16V$ och $U_{in} = 14,438V$.

Upplösning i första steget $16V/16 = 1V/bit$ ger $D_{ut} = 1110_2$ (motsvarande 14V) och en restspänning på A-linan $= 14,438 - 14,000 = 0,438V$. Denna spänning går in i nästa steg där $U_{in_{max}} = 1V$ dvs. upplösningen $1/16 = 0,0625V/bit$.

Restspänningen 0,438V ger då data 0111_2 (motsvande 0,4375V). Utdatat från andra steget blir de minst signifikanta bitarna som läggs till de föregående och som nu kommer ut på D-linan som 11100111 - ett 8-bitars data.

Inspänningen max 16V har därmed omvandlats med 8 bitars upplösning: $16V/256 = 0,0625V$. För inspänningen 14,437V blir detta just 11100111₂ (kontrollera själv).

Omvandlingen har skett i endast två steg med två snabba Flash-omvandlare byggd med totalt endast 30 komparatorer.

Ta ett steg till...

Här kan du läsa mer om

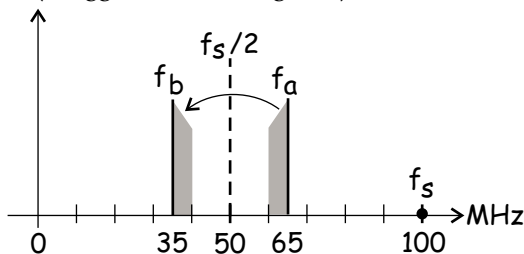
- Undersampling inom radiotekniken
- Prestanda/data för A/D- och D/A-omvandlare

Undersampling i radiotekniken

Hand i hand med den snabba utvecklingen av trådlös digital kommunikation har A/D-omvandlaren blivit en nyckelkomponent. Undersampling är en mycket använd teknik idag.

Vi undersöker speglingsfenomenet genom att jämföra tre olika fall som visar hur ett frekvensband speglas och speglingsfrekvensen beräknas.

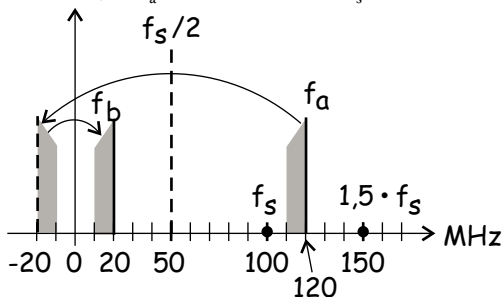
I detta första exempel har den önskade signalen a frekvensen $f_s/2 < f_a < f_s$. I exemplet är $f_s = 100\text{MHz}$ och $f_a = 65\text{MHz}$. Vi tänker oss att det under f_a ligger signalkomponenter med lägre amplitud (skuggat område i figuren).



Spegling sker i $f_s/2$ med resultatet $f_b = 35\text{MHz}$.

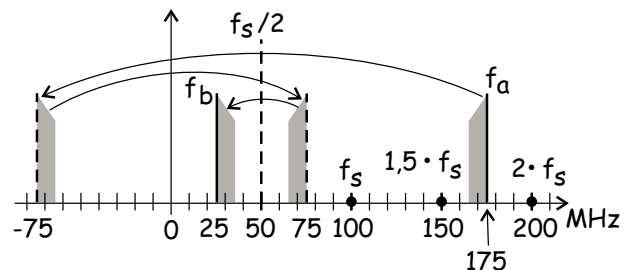
Lägg märke till att f_a och f_b är fasvridna 180° . Frekvenskomponenterna är omkastade 180° (flip-ped).

I nästa exempel gäller $f_s < f_a < 1,5 \cdot f_s$. Vi väljer $f_a = 120\text{MHz}$ och $f_s = 100\text{MHz}$.



Spegling sker här först i $f_s/2$ vilket ger en negativ frekvens därefter spegling runt $f=0$ vilket ger $f_b = 20\text{MHz}$. Det framgår av bilden att f_a och f_b är i fas (frekvenskomponenterna ligger i rätt ordning).

Slutligen ett exempel där $1,5 \cdot f_s < f_a < 2 \cdot f_s$. Vi väljer $f_s = 100\text{MHz}$ och $f_a = 175\text{MHz}$.



Spegling sker först i $f_s/2$, sedan i $f=0$ och slutligen åter i $f_s/2$.

Resultatet blir $f_b = 25\text{MHz}$. f_a och f_b är även här fasvridna 180° . Frekvenskomponenterna är omkastade 180° .

Man kan formulera en generell formel för var aliassignalen hamnar:

Beräkna först f_a/f_s . Detta ger ett heltal $0,1,2$ + en rest $r < 1$.

Det gäller nu:

$f_b = r \cdot f_s$ om $r \leq 0,5$ och

$f_b = f_s - r \cdot f_s$ om $r > 0,5$ där f_b alltså är aliassignalen.

Generella villkor för intakta frekvensband:

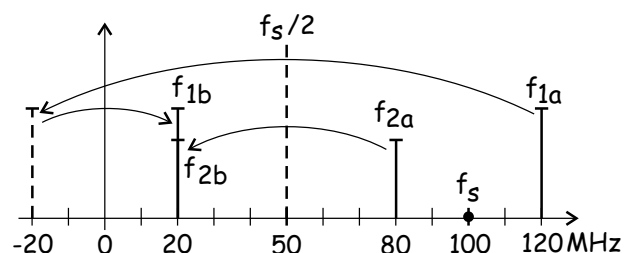
$N \cdot f_s < f_a < (N+0,5) \cdot f_s$ där $N=1,2,3\dots$

Generella villkor för omkastade frekvensband:

$(N-0,5) \cdot f_s < f_a < N \cdot f_s$ där $N=1,2,3\dots$

Observera att varje sample speglas beroende på frekvens. Om f_a i själva verket är ett band av frekvenskomponenter måste villkoret vara uppfyllt för samtliga komponenter i passbandet för att detta skall speglas intakt.

Exemplet nedan visar två komponenter $f_{1a} = 120\text{MHz}$ och $f_{2a} = 80\text{MHz}$ på var sin sida om $f_s = 100\text{MHz}$. De speglade signalerna f_{1b} och f_{2b} hamnar båda på 20MHz .



Register

Symboler

2-komplementmetoden 17
 4-ingångars larm 82
 7-segments display 86
 74-serien 62,63

A

A/D-omvandlare 114
 A/D-omvandling 18
 Absolute Maximum Ratings 47
 Absorbtion 37
 ADC 114
 Alfanumeriska koder 19
 Aliasing 115
 analoga 10
 analoga insignalen 126
 Analoga switchar 73
 analogt instrument 10
 Analogt till digitalt 114
 AND 29
 Antalet kanaler 126
 Antivikningsfilter 115
 AOI-kretsen 92
 Aperturfel 117
 ASCII 19
 ASK 23
 Association 37
 Astabila vippor 94
 asynkrona 96
 asynkrona räknare 102
 Avkodare 84
 Avkopplingskondensatorer 53
 Axiom 35

B

Basbandsmodulation 22
 basen 16
 BCD-kod 20
 BGA 59
 BiCMOS-familjer 66
 Binäravkodare 84
 binära räknaren 101
 binära talsystemet 16
 Binär till decimalavkodare 85
 Bipolära familjer 63
 Bipolär utsignal 111
 bitar 16
 bitgruppering 91
 Boolesk algebra 26,28,35
 BPSK 23
 Buffrad utgång 69
 Bus Hold 74

C

C-beroende 106
 CDAC 118
 Claude Shannon 35
 clear 96

CMOS-familjer 64
 Consensus 38

D

D-latch 97
 D-vippa 97
 D/A-omvandling 24,108
 D/A inställningstid 134
 DAC 108
 DAC0800 113
 Data-lockout 98
 databladen 45
 databuss 68
 dataväljare 87
 decimala talsystemet 16
 Decimator 124
 dekadräknare 102
 demultiplex 87
 Demultiplexern 88
 De Morgans teorem 38
 Differential nonlinearity 131
 Differentiell A/D-omvandling 123
 Digitala gränssnitt 62
 Digitalt larm 32
 digital 10
 DIP 59
 direktverkande 96
 diskreta värden. 11
 Displayavkodare 85,86
 Distribution 36
 DNL 131
 drivförmåga 50
 drivkretsar 76
 Dubbelramp 120
 Dubbel invertering 36
 dynamisk strömförbrukning 55

E

Effektförbrukning 54,55
 Effektiva bitar 134
 ekvation 28
 ELLER-funktionen 29
 ELLER-grind 30
 EMC 53
 EMI 53
 enabel-ingång 68
 encoder 84
 Engrindslogik 58
 ENOB 134
 Entydiga utdata 80
 EXOR 31

F

falltid 52
 falsk 28
 Faskodad 22
 flanker 52
 Flanktriggad 97
 Flanktriggad vippa 106
 Flash-omvandlare 122
 FPBW 134