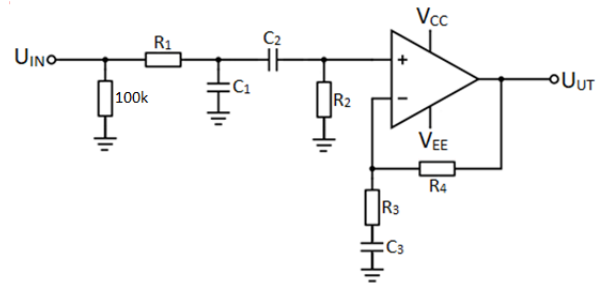


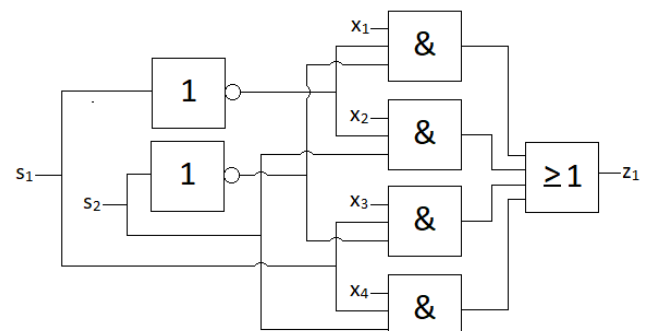
1.1 - Introduktion till digitalteknik

1.1.1 – Skillnaden mellan analoga och digitala signaler

- Inom elektroniken så förekommer två olika tekniker för att beskriva elektriska signaler, analog elektronik och digitalteknik.
- Inom analog elektronik så används kretsar där signalerna kan variera mellan ett minvärde och ett maxvärde, exempelvis mellan 0 - 5 V, där 0 V utgör minvärdet och 5 V utgör maxvärdet.
- Dessa signaler kan då anta samtliga värden mellan 0 - 5 V, exempelvis 2,2 V, 3,7 V eller 1,2 V. Sådana signaler kallas analoga, eller kontinuerliga, signaler.
- Inom digitalteknik används kretsar där signalerna endast kan anta två värden, logisk etta (1) eller logisk nolla (0), vilket ibland uttrycks i form av hög (HIGH) respektive låg signal (LOW).
- De digitala signalernas minimumvärden brukar betecknas som nolla (0) och betecknar vanligtvis en spänning på 0 V. Maximumvärden brukar betecknas som etta (1) och betecknar vanligtvis en spänning på 5 V, ibland lägre, såsom 3,3 V eller 1,8 V. För att koppla till exemplet med den analoga signaler mellan 0 – 5 V, så motsvarar en logisk etta maxvärdet 5 V, samtidigt som en logisk nolla motsvarar minvärdet 0 V.
- Generellt sett skall digitala signaler inte kunna anta något annat värdet än 0 eller 1. Ibland sker dock detta på grund av brus, som enkelt elimineras med en slags digital krets, som kallas buffer.
- Kretsar som använder sig utav digitala signaler kallas digitala kretsar. In- och utsignalerna ur digitala kretsar utgörs alltså av logiska nollor eller ettor, 0 eller 1. Sådana tal kallas binära tal, eftersom de endast kan anta två olika värden (0 eller 1). Som nämndes tidigare förekommer värden mellan 0 – 1 i undantagsfall, exempelvis på grund av brus.
- Dagens elektriska utrustning består till ca 80 % främst av digitala kretsar, medan resterande 20 % är analoga kretsar. Digitala kretsar används till det mesta, exempelvis lagring och överföring av information, medan analoga kretsar används till gränssnittet mellan människan och utrustningen, exempelvis mikrofoner, förstärkare eller högtalare.
- De två främsta fördelarna med digitala kretsar är att brus kan elimineras mycket enkelt med en slags digital krets som kallas buffer. Dessutom så kan digital information kopieras utan förluster, medan analog information alltid förloras vid kopiering.



Ett aktivt bandpass RC-filter är ett bra exempel på en vanlig analog elektronikkomponent. Bandpassfiltret släpper igenom signaler inom ett visst frekvensintervall och dämpar övriga, medan den efterföljande OP-förstärkarkopplingen förstärker de signaler som passerade filtret.



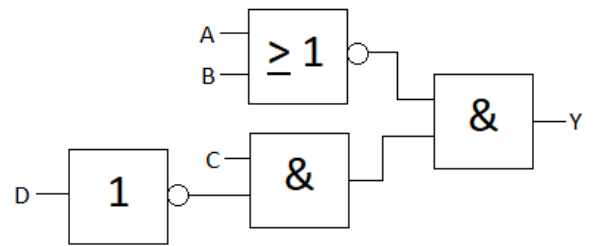
Logiskt grindnät för en 4:1 multiplexer, vilket är en digital krets, som fungerar som dataväljare. Via två selektorsignal s_1 samt s_2 finns möjlighet att välja vilken av insignalerna $x_1 - x_4$ som skall överföras till multiplexerns utport z_1 . Samtliga signaler i kretsen kan enbart anta värdet 0 eller 1.

Större delen av alla elektriska kretsar är digitala. Ungefär 80 % av de elektriska kretsarna i en dator, exempelvis CPU:n, moderkortet, grafikkortet och minneskretsarna, består utav digitala kretsar.

Omkring 20 % av de elektriska kretsarna i din dator är analoga. Det är i gränssnittet mellan dig och datorn som analoga kretsar används exempelvis för mikrofoner, förstärkare och högtalare.

1.1.2 - Introduktion till logiska grindar

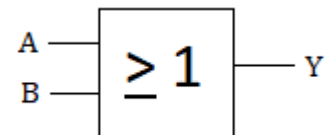
- Kretsarna inom digitalteknik byggs upp med så kallade logiska grindar. Dessa grindar är uppbyggda av så kallade CMOS-transistorer.
- Dagens elektriska komponenter är uppbyggda med miljarder logiska grindar. Logiska grindar brukar används till att bygga upp samtliga digitala komponenter, allt från vippor till mikroprocessorer. I nutid utgörs ca 80 % av alla elektriska kretsar av digitala sådana.



Logiskt grindnät uppbyggt av ett flertal olika logiska grindar.

- Vanligtvis är det endast gränssnittet mellan människan och utrustningen som är analog, exempelvis mikrofoner, förstärkare eller högtalare. Resten är digitalt.
- Logiska grindar är digitala kretsar, där utgångarna är logiska funktioner av en eller flera ingångar. De logiska funktionerna kan beräknas med så kallad boolesk algebra. Vanligtvis ritas logiska grind ut med någon typ av, antingen rektangulära, såsom vi ser här, eller amerikanska symboler. Grindarnas beteckningar följer deras logiska funktioner.

- Figuren till höger visar en så kallad OR-grind, som innehar två insignaler A & B samt en utsignal Y.



OR-grind.

- Nedanför OR-grinden visas motsvarande sanningstabell, som visar sambandet mellan utsignalen Y och insignaler A och B. Vi ser då att så länge en av insignalerna A och B är 1, så blir också utsignalen Y lika med 1, annars blir Y lika med 0.

A	B	Y
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

OR-grindens sanningstabell, som indikerar sambandet mellan insignaler A och B samt utsignalen Y.

- Detta samband kan uttryckas med formeln

$$Y = A + B,$$

där A samt B är insignaler och Y är utsignal.

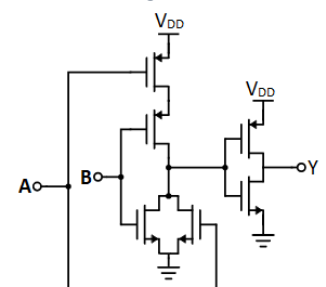
- Andra vanliga notationer för OR-grindens logiska funktion är

$$Y = A \mid B$$

samt

$$Y = A \vee B$$

- Figuren till höger visar hur OR-grinden ser ut på transistornivå, där ett antal CMOS-transistorer används som OR-grindens byggstenar.
- Som synes, så krävs sex CMOS-transistorer för att konstruera en enda OR-grind. Ett logiskt nät med ett stort antal logiska grindar kräver därmed ett mycket stort antal transistorer, vilket medför att kretsschemat fort blir oöverskådligt.
- Därför används motsvarande grindssymboler istället för att rita logiska kretsscheman inom digitalteknik, vilket även är fallet i detta kapitel.
- Det är också vanligt med programmerbara digitala kretsar, PLD (*Programmable Logic Device*), där man kan programmera hur grindarna skall kopplas med ett hårdvarubeskrivande språk, vanligtvis Verilog/SystemVerilog eller VHDL. SystemVerilog behandlas i kurserna Digitalteknik samt Digital konstruktion.
- Logiska grindar kommer behandlas i djupare detalj i senare avsnitt, men först så skall vi gå igenom de talsystem som används inom digitalteknik, vilket är det binära samt det hexadecimala talsystemet.



En OR-grind konstruerad med CMOS-transistorer. Utsignalen Y blir hög (1) om någon av insignalerna A eller B är höga (1). Annars blir utsignalen låg.

OR är en så kallade logisk funktion, som betyder att antingen A ELLER B måste vara ha värdet 1 för att X skall anta värdet 1. Annars antar Y värdet 0.

1.1.3 - Eliminering av brus i digitala kretsar

- En av de stora anledningarna till att digitala system har fått sådant genomslag är att digitala signaler, till skillnad mot analoga system, inte blir förvrängda av brus.
- Anledningen till detta är att man enkelt kan eliminera eventuellt brus på en digital signal genom att återställa signalen med en så kallade buffer, se figuren till höger.
- En digital signal är som bekant lika med 0 eller 1. Om brus uppstår så kan signalerna förvrängas, så att exempelvis en signal med värdet 1 får värdet 0,9. En signal som har värdet 0 som blir utsatt för brus kan få värdet 0,1.
- Så länge en signal som är lika med 1 utan brus har ett värde mellan 0,6–1 så kommer vi inte förlora någon information. Vi kommer inte förlora någon information förrän bruset blir så stort att signalen trycks ut ur 1-området, exempelvis om signalen får värdet 0,4. Då hade vi förlorat informationen. Om signalen däremot hade fått värde 0,5 så är det osäkert om vi hade förlorat informationen eller inte. Det varierar från grind till grind.
- Det viktigare är att återställa signalen så fort som möjligt, innan vi förlorar informationen. Därför så används så kallade buffrar i digitala kretsar.
- Buffern består två kaskadkopplade NOT-grindar, se figuren ovan, som båda inverterar signalen på deras ingång, på så sätt att en logisk etta (1) på ingången medför en logisk nolla (0) på utgången. På samma sätt gäller att en logisk nolla (0) på ingången medför en logisk etta (1) på utgången.
- Därmed inverteras bufferns insignal X till X' av den första NOT-grinden. Detta värde inverteras sedan tillbaka till X, vilket medför att bufferns utsignal Y logiskt sett är lika med X.
- Signaler som har blivit påverkade av brus kan alltså innehålla ett värde som inte är exakt 0 eller 1. Dock inverterar NOT-grindar inte bara signaler som är exakt 0 eller 1. Det finns ett tröskelvärde, som vanligtvis ligger mellan 0 och 1, beroende på vilken tröskelspänning U_T som CMOS-transistorerna som bygger upp NOT-grindarna har.
- Som regel kan vi dock anta att detta tröskelvärde ligger runt 0,5. Därmed kan alla signaler som innehåller ett värde mellan 0 upp till 0,5 antas inverteras till 1, samtidigt som signaler från 0,5 upp till 1 kan antas inverteras till 0. Signaler som är exakt 0,5 är dock svåra att förutsäga och kan bli vilket som.
- Vi kan därmed anta att alla insignaler X som överstiger 0,5 blir inverterade till 0 av den första NOT-grinden ovan, vilket medför att den första NOT-grindens utsignal X' är lika med 0:

$$X > 0,5 \rightarrow X' = 0$$

- Samtidigt kan vi anta att alla insignaler X som understiger 0,5 blir inverterade till 1 av den första NOT-grinden, vilket medför att den första NOT-grindens utsignal X' då blir 1:

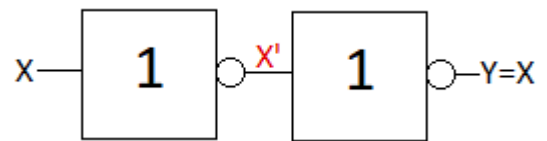
$$X < 0,5 \rightarrow X' = 1$$

- Den andra NOT-grindens insignal utgörs av den första NOT-grindens utsignal X' . Denna signal kommer sedan inverteras tillbaka till X, vilket medför att den andra NOT-grindens utsignal Y, som också är bufferns utsignal, är lika med X, då

$$Y = (X')' = X$$

- Som exempel, anta en signal vars originalvärde är 0, på grund av brus har ökat till 0,2. Antag att denna signal utgör insignalen X på buffern ovan:

$$X = 0,2$$



Buffern, som används för att eliminera brus, konstruerad med två kaskadkopplade NOT-grindar.

Digitalteknik

- Eftersom 0,2 överstiger 0,5, så kan den första NOT-grinden antas invertera detta värde till 1, vilket medför att dess utsignal X' är lika med 1:

$$X' = 1$$

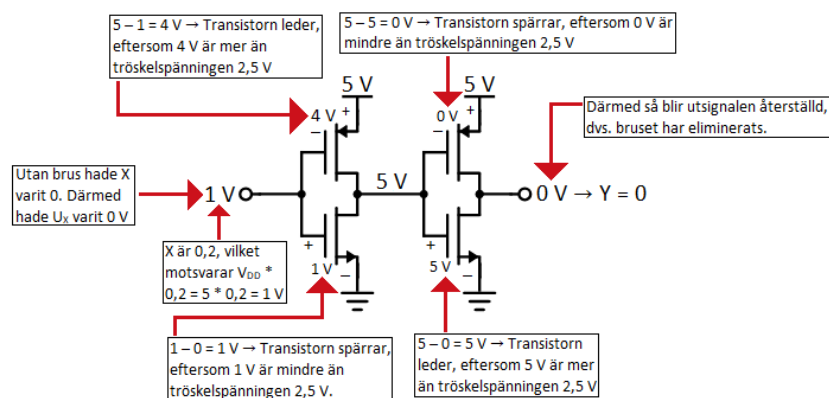
- Därefter inverterar den andra NOT-grinden detta värde till 0, vilket medför att bufferns utsignal Y är lika med 0:

$$Y = 0$$

- Vi ser därmed att en insignal X som har blivit påverkad av brus, vilket medfört att dess värde har ökat från 0 till 0,2, blir återställd till 0 av buffern, då bufferns utsignal Y blir 0:

$$X = 0,2 \rightarrow Y = 0$$

- Efter att ha passerat buffern, så har alltså signalen blivit återställd till dess originalvärde 0, vilket innebär att bruset har eliminerats.
- Därmed återställer buffern signaler som har blivit påverkade av brus till dess originalvärde.



Buffern ritad på transistornivå. De två NOT-grindarna utgörs därmed av var sin CMOS-switch, även kallat inverterare.

Insignalen X var från början 0, men har blivit 0,2 på grund av brus. Buffern återställer denna signal till 0 och eliminerar därmed brus.

- Som nämndes tidigare, så finns en tröskel runt 0,5, där värden över 0,5 kan antas inverteras till 0. Antag att signalen i det tidigare exemplet inte hade passerat buffern ovan. Istället passerar signalen genom ett stort antal logiska grindar och brus tillkommer kontinuerligt, till den grad att signalens värde ökar från 0 upp till 0,7 innan den når ingången på en buffer. Bufferns insignal X blir då 0,7:

$$X = 0,7$$

- Eftersom insignalen X överstiger 0,5, så kan bufferns första NOT-grind i detta fall antas omvandla insignalen X till $X' = 0$:

$$X' = 0$$

- Därefter kommer bufferns andra NOT-grind invertera detta värde till 1, så att bufferns utsignal Y hamnar på 1:

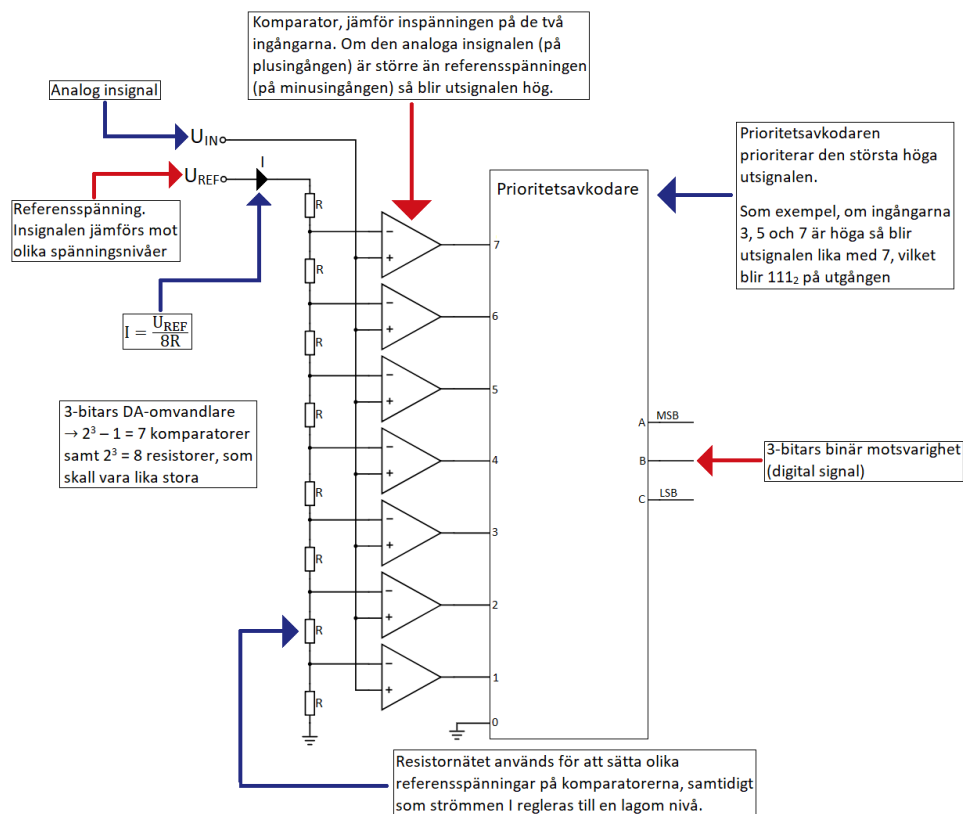
$$Y = 1,$$

vilket medför en signalförlust, då signaler från början var 0.

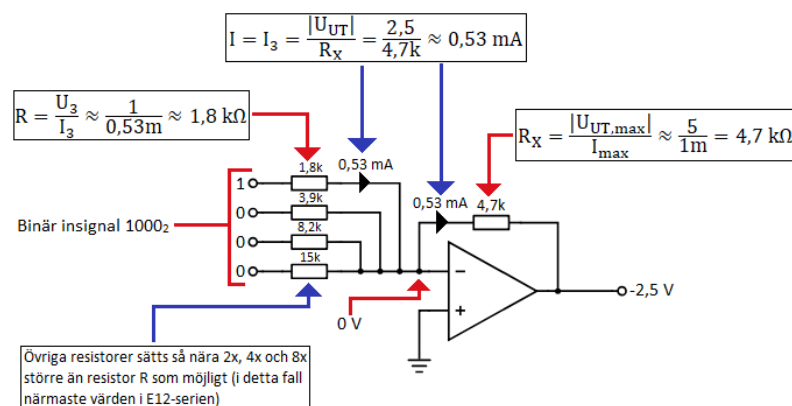
- För att inte denna situation skall uppstå, så måste buffrar placeras relativt tätt i digitala kretsar, exempelvis efter varje steg i en transmission, för att minska brus utan signalförluster.

1.1.4 - Dataomvandlare för omvandling mellan analoga och digitala signaler

- För att omvandla signaler från analoga till digitala och vice-versa så används elektriska komponenter som kallas AD-omvandlare samt DA-omvandlare.
- Om man vill spara stora mängder data på exempelvis en CD eller DVD så kan man omvandla analoga signaler till digitala sådana med en AD-omvandlare (AD = Analog till Digital). Den analoga signalen omvandlas från en analog signal till en digital motsvarighet bestående av nollor och ettor med hjälp av en AD-omvandlare.
- Om man sedan vill spela ljud från CD:n så måste signalerna omvandlas från digitala till analoga innan de når högtalaren, vilket sker med en DA-omvandlare (DA = Digital till Analog).
- Eftersom både analoga och digitala signaler används i samma IC-kretsar så kallas dessa kretsar Mixed Signal-kretsar.



3-bitars AD-omvandlare, som omvandlar analoga signaler till motsvarande digitala signaler bestående av tre bitar (000 – 111, vilket motsvarar 0–15 i det decimala talsystemet).



4-bitars DA-omvandlare, som omvandlar digitala signaler till analoga sådana. Triangelsymbolen är en OP-förstärkare, kopplas till en så kallade summatorkoppling; strömmarna från de fyra bitarna summeras till strömmen på utgången. Ju fler bitar som är höga, desto högre blir utsignalen (fast inverterad).