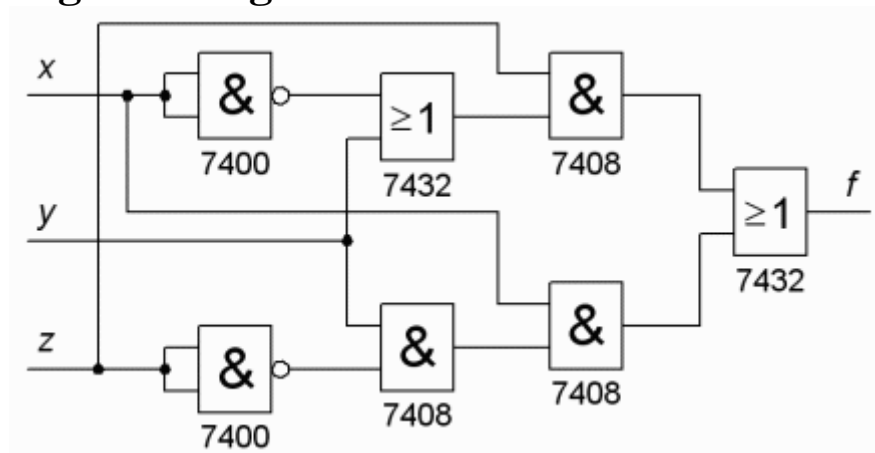


# Laboration Kombinatoriska kretsar



## Digital Design IE1204/5



### Observera! För att få laborera måste Du ha:

- bokat en laborationstid i bokningssystemet (Daisy).
- löst ditt personliga web-häfte med förkunskapsuppgifter som hör till laborationen.
- gjort alla förberedelser och förberedelseuppgifter som nämns i labhäftet.



Om en förberedelseuppgift har denna "märkning" måste Du dessutom vara beredd att kunna presentera lösningen muntligt för dina kamrater vid laborationstillfället.

Vid laborationen arbetar ni i grupper om två studenter, men båda studenterna ansvarar var för sig för förberedelserna och för genomförandet.

Ha med er var sitt labhäfte till laborationen. Framsidan används som ditt **kvitto** på att laborationen är genomförd. Spara kvittot tills Du fått hela kursen bokförd i Ladok.

*Eftersom detta är ditt labkvitto måste Du fylla i tabellen med bläck.*

Namn:			
Personnummer:			
<b>• Förkunskapstest (Web-frågehäfte)</b>			
Häfte nr:		Datum:	
Lab-lärarens kvittens:			
<b>• Förberedelseuppgifter i labhäftet</b>			
Lab-lärarens kvittens:			
<b>• Laborationens genomförande</b>			
Laborationen utförd den:			
Lab-lärarens kvittens:			



# Inledning

## Kopplingsdäck, 74-serien

Under denna laboration kommer Du att arbeta med kopplingsdäck, för att enkelt kunna bygga upp, och prova olika digitala nät. De komponenter vi använder är standardkretsar, elementära grindar från den så kallade 74-serien. 74-seriens kretsar används sällan vid nykonstruktioner utan är numera mest att betrakta som "reservdelar" för äldre styrsystem. Tanken här är att de enkla grindarna skall ge dig en konkret bild av vad digitaltekniken är för något. Vi använder kretsar i "strömsnål" CMOS-teknik, de förbrukar bara ström vid omslag av logiknivån.

Kopplingsdäck lämpar sig väl till att göra enklare tillfälliga uppkopplingar, för att pröva konstruktionsidéer och att göra funktionsprototyper till tex. skolprojekt eller examensarbeten. Sist i labhäftet finns en materialförteckning över utrustningen, till hjälp om Du någon gång själv skulle få behov av att använda enklare logiska funktioner.

## Kopplingsdäcksimulator

För att lära sig hur man arbetar med kopplingsdäck är en kopplingsdäcksimulator ett utmärkt hjälpmedel. Detta är ett enkelt datorprogram där man virtuellt kan ansluta digitala komponenter till varandra, för att därefter kunna simulera deras funktion tillsammans.

Programmet används främst som ett utbildningshjälpmedel.

Studenterna i kursen IE1204 kommer senare i labkursen att använda några av industrins "state of the art" programvaror för digital konstruktion och simulering: QuartusII och ModelSim.

Studenterna i kursen IE1205 får i stället de programmen demonstrerade i föreläsningkursen.

Många av laborationens förberedelseuppgifter skall utföras med **kopplingsdäcksimulatorn**.

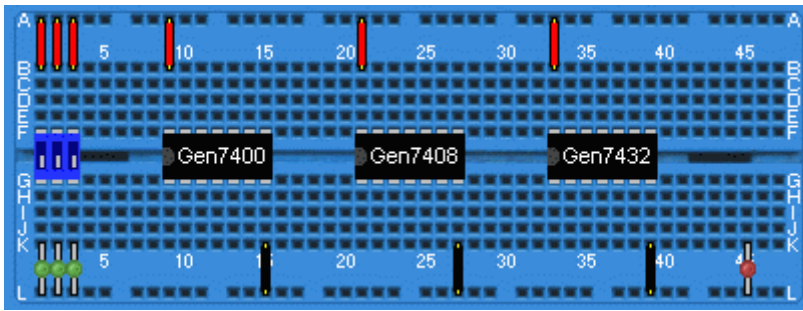
På kurssidorna finns länkar till tutorial's som visar hur man gör.

## Målet med laborationen

- Lära dig att arbeta med kopplingsdäck.
- Orientera dig om logiska funktioner och kretsar.
- Visa hur man går in med signaler, och hur man indikerar resultaten.
- Praktisera minimering av logiska nät.
- Orientera dig om kombinatoriska funktionsblock som hel-adderaren, multiplexorn och avkodaren.
- Praktisera addition och subtraktion med hel-adderare.

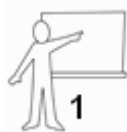
Observera! Det kan hända att din laborationstid ligger före det att alla kursmoment som kan behövas för laborationen har förelästs. Du måste i så fall själv läsa på i förväg - det finns länkar till alla föreläsningar och övningar.

# Sanningstabell och boolskt uttryck



Kopplingsdäck med logikgrindar. En bild av labutrustningen ritad med hjälp av kopplingsdäcksimulatorn

## • Förberedelseuppgift 1 (görs innan lab)



Vid laborationen måste Du kunna visa att Du kan använda kopplingsdäcksimulatorn.

Börja med att ladda ner **BreadBoardSimulator** (kopplingsdäcksimulatorn) till din egen dator. Följ tutorial's på kurswebben. Simulera sanningstabellerna för de tre grindarna och fyll i simuleringsresultaten i labhäftet,  $f_{SIM}$ . Amerikansk litteratur, och amerikanska symboler är mycket vanliga. I figuren används europeiska symboler, men rita dit även det motsvarande amerikanska symbolerna!

Euro-symbol	USA-symbol	Euro-symbol	USA-symbol	Euro-symbol	USA-symbol
7400	7400	7408	7408	7432	7432

$a$	$b$	$f_{SIM}$	$f_{MÄT}$
0	0		
0	1		
1	0		
1	1		

$a$	$b$	$f_{SIM}$	$f_{MÄT}$
0	0		
0	1		
1	0		
1	1		

$a$	$b$	$f_{SIM}$	$f_{MÄT}$
0	0		
0	1		
1	0		
1	1		

Boolskt uttryck  $f =$

Boolskt uttryck  $f =$

Boolskt uttryck  $f =$

## • Labuppgift 1

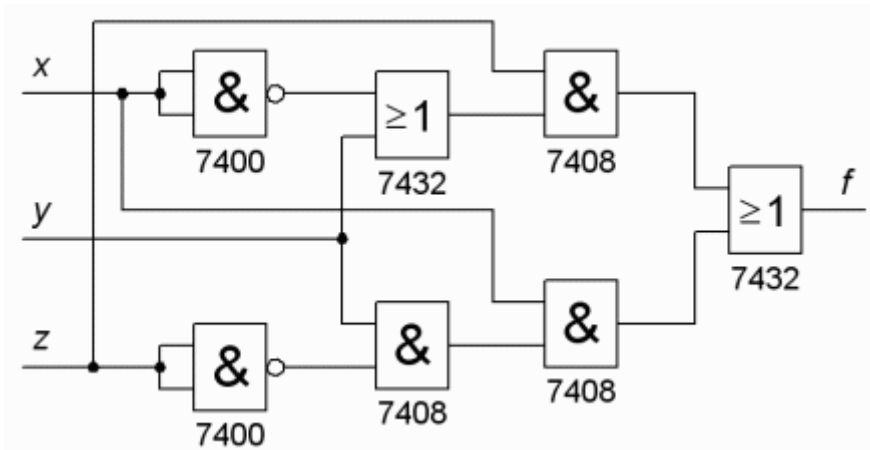
Koppla med hjälp av de mjuka sladdarna på "liknande sätt" som vid simuleringen. Manövrera DIL-switcharna med en skruvmejselspets för att erhålla de fyra ingångskombinationerna. Mät en grind av varje typ. Skriv upp resultaten i sanningstabellerna,  $f_{MÄT}$ , och skriv sedan upp det boolska uttrycken.

- Observera! Ha inte batteriet inkopplat i onödan. Dåligt batteri kan göra att dina mätvärden blir osäkra även om Du kopplat helt rätt!

- Observera! Du skall aldrig "riva" de grundkopplingar som vi gjort i förväg på kopplingsdäcken. Du skall bara "riva" de kopplingar Du själv gör.

- Du skall nu ha förstått hur labutrustningen hanteras - gå inte vidare om *inte* mätvärdena stämmer överens med de simulerade värdena!

## Mätning på en kombinatorisk krets



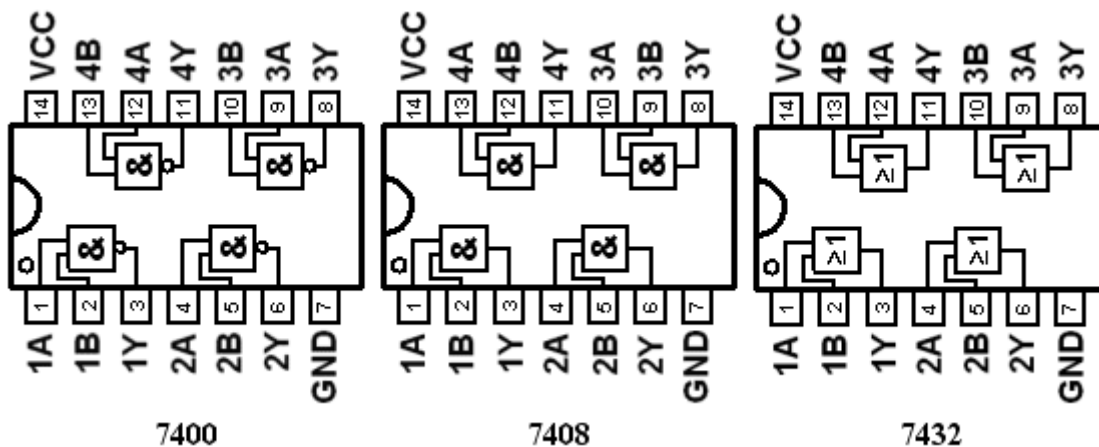
### Förberedelseuppgift 2 (gör innan lab)



Studera det kombinatoriska nätet, följ signalerna och ange den boolska ekvationen!

• Booleskt uttryck  $f(x, y, z) =$

- Ange funktionens alla mintermer och fyll i sanningstabellen, i kolumnen  $f$ .
- Koppla därefter upp kretsen i simulatoren efter schemat.
- Skriv upp ben-numren i schemat i labhäftet på de grindar Du använder (Du väljer själv vilka grindar som blir oanvända).
- Simulera kretsen för de 8 möjliga ingångskombinationerna och fyll i simuleringsvärdena,  $f_{SIM}$ , i sanningstabellen.



• Försök att förklara vilken logisk funktion  $f$  realiserar?

- **Labuppgift 2**

Koppla upp den kombinatoriska kretsen enligt schemat på ett kopplingsdäck, och på ett liknande sätt som vid simuleringen. Du har nu nytta av att Du skrivit upp bennumren. Manövrera DIL-switcharna med en skruvmejselspets för de 8 olika ingångskombinationerna. Fyll i mätvärdena,  $f_{\text{MÄT}}$ , i tabellen.

- Gå inte vidare om *inte* mätvärdena stämmer överens med de övriga värdena!

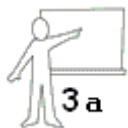
- **Förberedelseuppgift 3 (gör innan lab)**

	x	y	z	f	$f_{\text{SIM}}$	$f_{\text{MÄT}}$	$f_{\text{MIN}}$
0	0	0	0				
1	0	0	1				
2	0	1	0				
3	0	1	1				
4	1	0	0				
5	1	0	1				
6	1	1	0				
7	1	1	1				

Kolumnen  $f$  är för sanningstabellens teoretiska värden, och kolumnen  $f_{\text{SIM}}$  är för värdena från simuleringen i förberedelseuppgift 2.

Kolumnen  $f_{\text{MÄT}}$  för mätvärden från labuppgift 2.

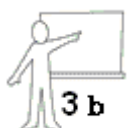
Kolumnen  $f_{\text{MIN}}$  för mätvärden från det minimerade nätet i labuppgift 3.



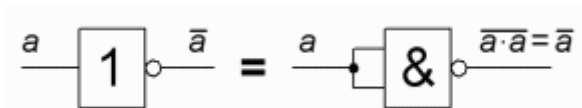
- För över sanningstabellens värden i Karnaughdiagrammet nedan. Gör bästa hoptagningar och ta fram funktionen på minimerad SP-form (summa av produkter form).

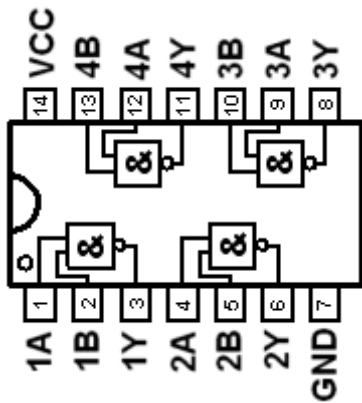
		yz			
		00	01	11	10
x	0	0	1	3	2
	1	4	5	7	6

- Minimerat Boolskt uttryck  $f(x, y, z) =$

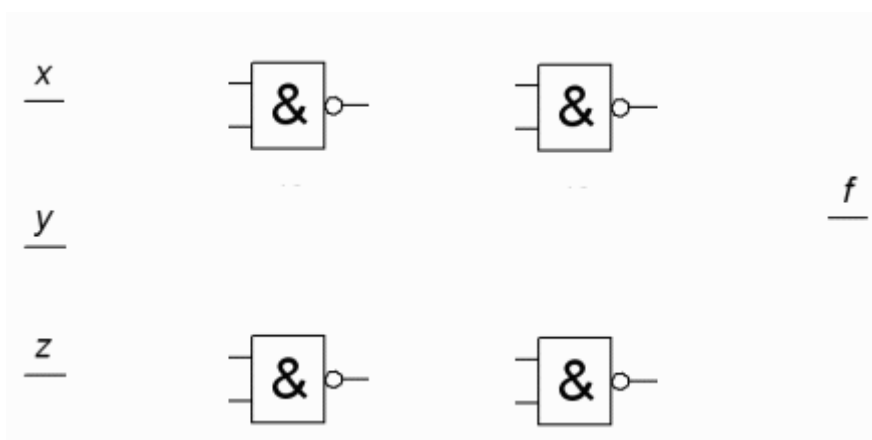


NAND-grindar är fullständig logik. Realisera den minimerade funktionen med hjälp av enbart 2-ingångars NAND-grindar. (Se nedan hur man kan skapa en inverterad variabel med en NAND-grind.)





- Rita logik-diagrammet för den minimerade funktionen. Numrera samtliga använda grindars in- och utgångar som underlag för uppkoppling av det minimerade nätet.



### • Labuppgift 3

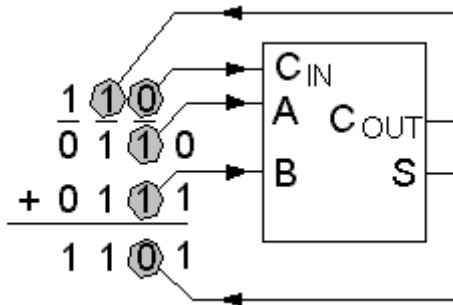
Koppla upp den minimerade kombinatoriska kretsen realiserad som ett NAND-NAND nät. Manövrera DIL-switcharna med en skruvmejselspets för de 8 olika ingångskombinationerna. Fyll i mätvärdena,  $f_{\text{MIN}}$ , i tabellen.

- Gå inte vidare om *inte* den uppmätta sanningstabellen för den minimerade kretsen stämmer överens med sanningstabellen för den icke minimerade kombinatoriska kretsen!

# Heladderaren

- **Förberedelseuppgift 4 (gör innan lab)**

Addition av binära tal kan ske "bit för bit". Vi kallar de båda bitar som ska adderas för A och B. Resultatet, summan, kallar vi för S. Om  $A=B=1$  blir summan (1)0 och för det fallet blir det således en minnessiffra. Minnessiffran kallar vi för  $C_{OUT}$ .



Additionskrets som adderar två av bitarna i talen  $6+7=13$ .

Som framgår av figuren kan det också finnas en minnessiffra  $C_{IN}$  från en föregående position, den skall i så fall också tas med i additionen. Additionskretsen måste därför kunna addera tre bitar, och en sådan krets brukar kallas för en **heladderare**.

- Resonera dig fram till heladderarens sanningstabell. Fyll i kolumnerna S och  $C_{OUT}$  i tabellen.

	$C_{IN}$	A	B	S	S4	$C_{OUT}$	C4
0	0	0	0				
1	0	0	1				
2	0	1	0				
3	0	1	1				
4	1	0	0				
5	1	0	1				
6	1	1	0				
7	1	1	1				

		S			
		AB			
$C_{IN}$	AB	00	01	11	10
0	0	0	1	3	2
1	0	4	5	7	6
0	1	0	1	3	2
1	1	4	5	7	6

		$C_{OUT}$			
		AB			
$C_{IN}$	AB	00	01	11	10
0	0	0	1	3	2
1	0	4	5	7	6
0	1	0	1	3	2
1	1	4	5	7	6

Kolumnerna S och  $C_{OUT}$  är för ditt "resonemang" i förberedelseuppgift 4.

Kolumnerna S4 och C4 är för mätningen på 1-bits heladderaren i labuppgift 4.



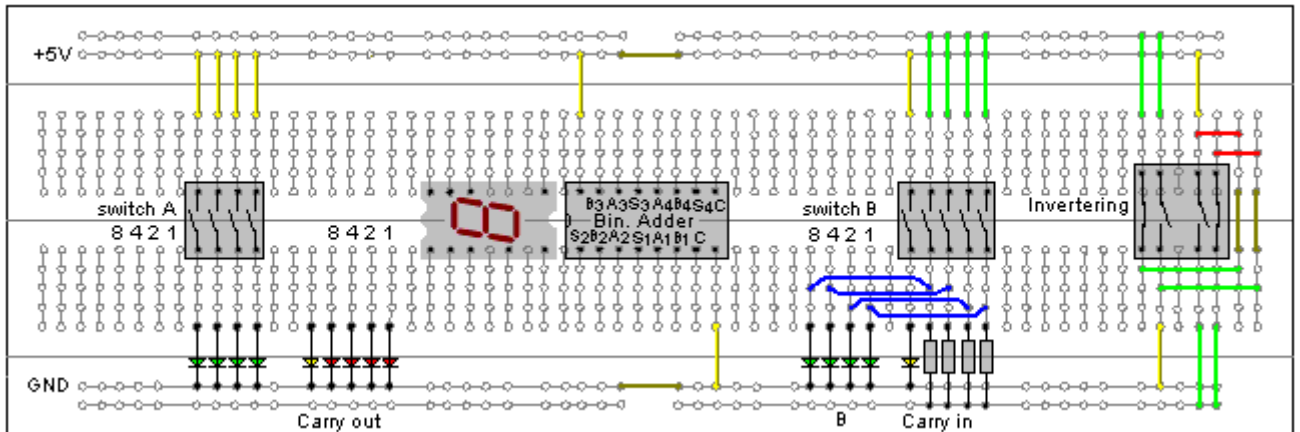
- Ange de boolska uttrycken för summabiten S och minnesbiten  $C_{OUT}$ .
- Går dom att förenkla med hjälp av Karnaugh-diagrammen?

$S(A, B, C_{IN}) =$

$C_{OUT}(A, B, C_{IN}) =$



## • Labuppgift 4

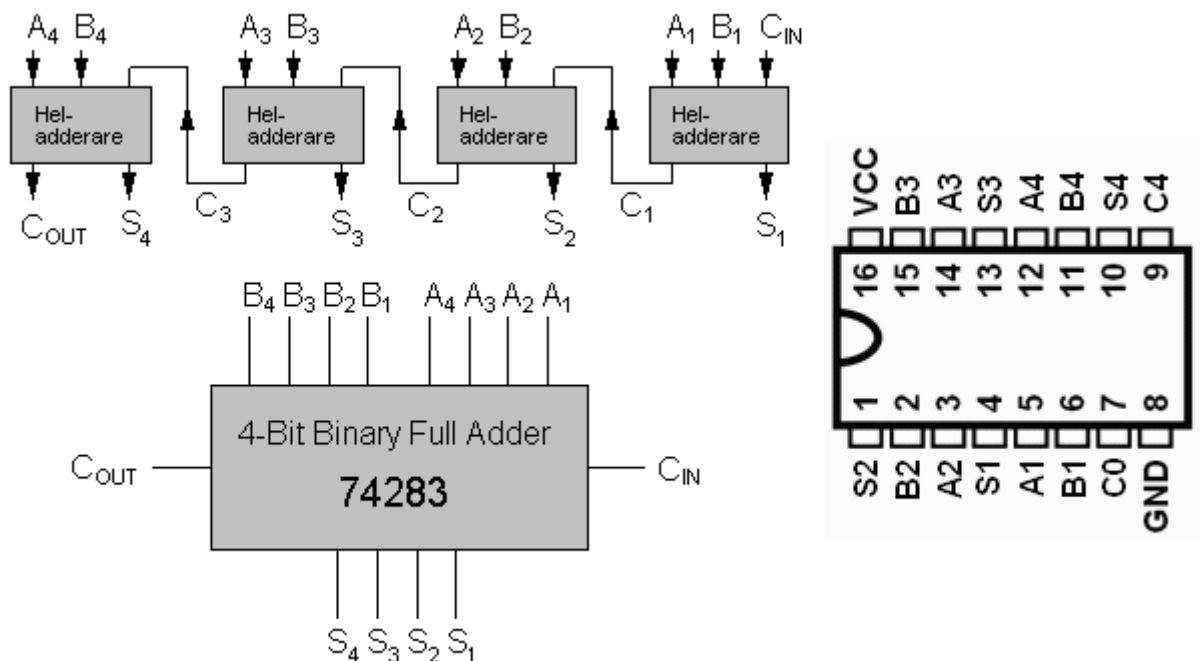


Kopplingsdäck med 4-bitsadderarkrets 74283.

### Uppkoppling

Kretsen 74283 är en fyra bitars adderarkrets. På kopplingsdäcket finns två grupper DIL-switchar, switch A och switch B. Från dessa tas adderarens insignaler. Anslut insignalerna från de gröna lysdioderna till adderarens A4 A3 A2 A1 respektive B4 B3 B2 B1. Adderarens C0 ( $C_{IN}$ ) ansluts till en "femte" switch B (med gul lysdiod).

Adderarens utsignaler S4 S3 S2 S1 ansluts till de röda lysdioderna och utsignalen C4 ( $C_{OUT}$ ) till den närliggande gula lysdioden. Eventuellt finns det en HEX-display inkopplad till adderarens utgångar (i så fall redan ansluten). Den kan vara till hjälp när Du tolkar de binära talen med lysdioderna.



### Mätning på 1-bits heladderare

Adderarkretsen består internt av fyra stycken heladderare och Du skall mäta på heladderaren nummer 4, med C4 S4 A4 B4. Eftersom man *inte* kan komma åt de Carry-bitar som går mellan heladderarna, så måste man styra "C3" indirekt med värden på A3 och B3.

- Om A3 och B3 båda är "1" så kommer C3 att bli "1" oavsett vad de mindre signifikanta bitarna A2 B2 A1 B1 C0 har för värden.
- Om A3 och B3 båda är "0" så kommer C3 att bli "0" oavsett vad de mindre signifikanta bitarna A2 B2 A1 B1 C0 har för värden.

Manövrera DIL-switcharna med en skruvmejselspets. För in dina mätvärden i sannings-tabellens kolumner S4 och C4. Tanken är att mätvärdena ska överensstämja med förberedelseuppgiftens S och C<sub>OUT</sub>.

## Registeraritmetik, addition och subtraktion

Den första mikroprocessorkretsen Intel 4004 år 1971 var en fyrabitars processor, med en inbyggd fyrabitars adderarkrets liknande den 74283 vi använder vid laborationen. Fyra bitars ordlängd brukar kallas för en **nibble**. Med fyra bitar kan man uttrycka totalt 16 tal, en hexadecimal siffra. Talsystemet är en ring, efter 15 börjar man om från 0 igen. Se figuren.

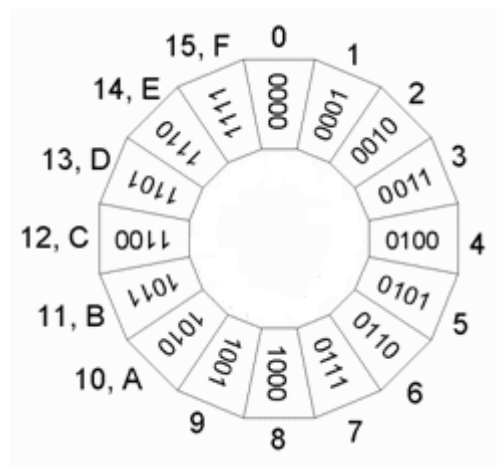


Bild på den första mikroprocessorn.

### • Förberedelseuppgift 5 (gör innan lab)



- Trots den begränsade ordlängden kan man ändå addera mycket stora tal genom upprepade additioner!
- Följ detta additionsexempel med de hexadecimala siffrorna steg för steg (använd "talringen" i figuren). Uppkommer det en utgående Carry, tas denna med som ingående Carry till nästa steg.

	(1)	(1)	(1)		<b>Decimaltal?</b>
		F	E	C	
+		1	D	B	
=	1	1	C	7	

$$C + B = (1)7, 1+E+D = F+D = (1)C, 1+F+1 = 2 + F = (1)1$$

- Vilka decimaltal står hexalen för? Omvandla hexalen till decimaltal och fyll i dessa i tabellen.

- Kontrollera därefter att additionen stämmer tex. med hjälp av en miniräknare.

- **Labuppgift 5**

Fortsätt med adderarkretsen och behåll samma uppkoppling.

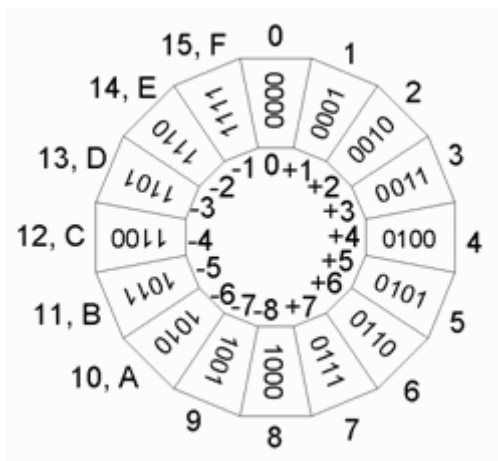
- Prova adderaren med  $3 + 3 = ?$  (0011+0011)
- Vad händer med  $8 + 8 = ?$   $C4 = ?$  (1000+1000)  
Vilken information ger således  $C4$ ?

Den utgående biten  $C_{OUT}$  från en adderare brukar kallas för **Carry**.

- Använd adderarkretsen för att addera två flersiffriga hextal som Du kommer att få av labassistenten. Kontrollera resultatet med tex. en miniräknare.

+					
=					

- **Förberedelseuppgift 6 (gör innan lab)**

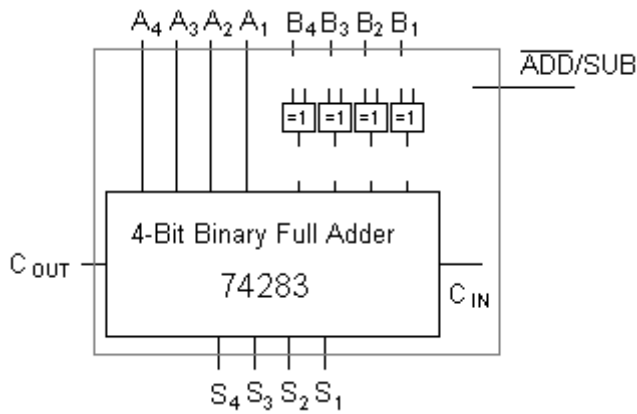


**Tal med tecken**

Man kan antingen räkna med "teckenlösa tal" (unsigned integer), eller med "tal med tecken" (signed integer). När man räknar med tecken så delas talområdet i två delar, en del för de positiva talen och en del för de negativa. Om man backar ett steg från 0 i talcirkeln hamnar man på  $F_{16}=15_{10}=1111_2$  som således är talet -1. Gränsen mellan de positiva och de negativa talen går mellan 8 (-8) och 7 (+7). Den mest signifikanta biten kan ses som "teckenbit". Är den 1 är talet negativt, är den 0 är talet positivt.

Man negerar ett tal genom att ta 2-komplementet av det, vilket innebär att alla bitar inverteras och en etta adderas till talet.

En adderarkrets kan även användas för subtraktion om man kan ta 2-komplementet av subtrahenden. Man har då en styrsignal ADD/SUB som ställer om kretsen för subtraktion. Detta brukar ske med exor-grindar som kan invertera talet, och med adderarens  $C_{IN}$  som kan lägga till 1.



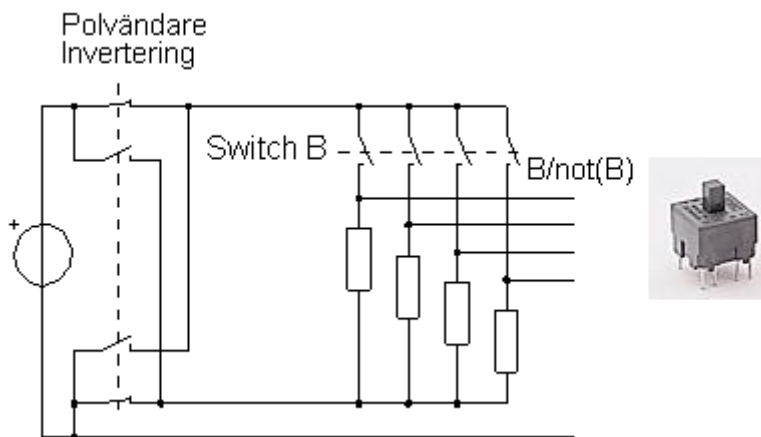
- Fundera ut hur schemat för en sådan ser ut. Rita färdig figuren.
- Negera talet  $+3_{10} = 0011_2$ .  $-3_{10} =$

### • Labuppgift 6

Fortsätt med adderarkretsen och behåll samma uppkoppling.

På kopplingsdäcket finns en "polvändande" kontakt, trycker man in den knappen så byts  $1 \rightarrow 0$  och  $0 \rightarrow 1$  från switchgrupp B. C0 manövrerar man separat med den femte switchen (med gul lysdiod).

På så sätt kan man negera det tal man ställt in med switchgrupp B.



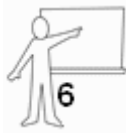
- Prova adderaren/subtraheraren med  $+3 + -3 = ?$
- Vad händer med  $+4 + +4 = ?$  Om vi tolkar svaret som ett "tal med tecken".

Vid operationer med tal med tecken kan resultatet hamna på fel sida om "teckengränsen". Detta kallas för **overflow**.

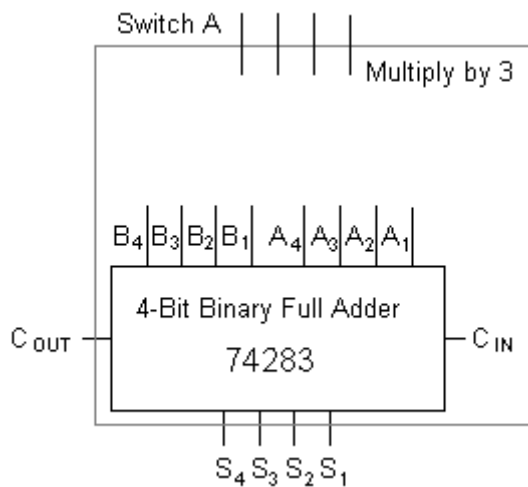
## Förberedelseuppgift 7 (gör innan lab)

### Multiplikation med konstant

Antag att vi behöver multiplicera ett tal  $x$  med 3. Det kan man göra som  $2 \cdot x + 1 \cdot x = 3 \cdot x$ . Multiplikation med den jämna 2-potensen 2, sker genom att man "skiftar" anslutningarna för talets inbitar *ett* steg åt vänster.



Fundera ut hur en adderare kan användas som en "multiplicera med tre" krets. Rita färdigt schemat. ( Någon bit blir över, någon ingång blir tom och ansluts till "0", jord ).



### • Labuppgift 7

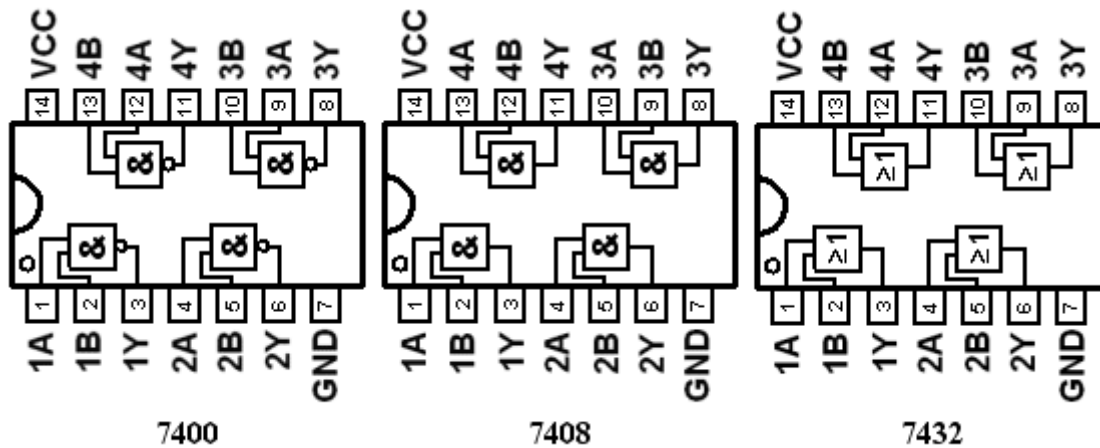
Koppla upp adderarkretsen så att den multiplicerar det tal som ställts in på switchgrupp A med konstanten "3". ( Vi räknar nu med teckenlösa tal ).  
( Enklast? Behåll ledningarna från switchgrupp A, men koppla om ledningarna från switchgrupp B. )

- Kommer Du ihåg 3:ans multiplikationstabell? Ställ in 0·3, 1·3, 2·3, 3·3, 4·3, 5·3 ( 6·3? 7·3? 8·3? ).
- Vår krets 74283 innehåller fyra heladderare. Hur många heladderare skulle det behövas för att kunna multiplicera alla 4-bitarstalen med tre?

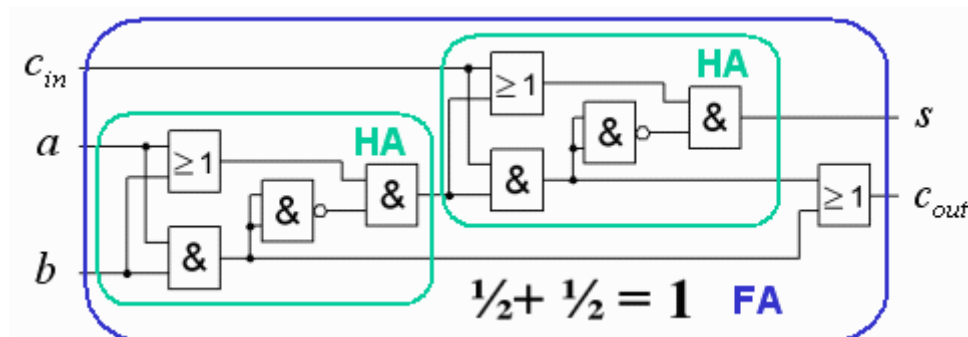
## Har Du tid över?

Om Du är väl förberedd inför laborationen, och om Du inte drabbats av glappande sladdar eller tomma batterier, så har Du förmodligen nu tid över för en "frivillig" uppgift.

### Bygga ett heladdersteg med grindar.



Vid multiplikation med konstanten 3 så klarar inte kretsen alla tal upp till 15. Det skulle behövas ytterligare ett femte **heladderar-steg** för detta. Grindarna på logik-kopplingsdäcket räcker faktiskt till för att göra en sådan heladderare - fast kopplingen hör nog inte till de vanligare!



*Två halvadderare bildar en heladderare (HA+HA=FA). - just denna koppling är ovanlig, men passar till de komponenter vi har.*

Koppla upp en heladderare på logik-kopplingsdäcket. Prova att heladderaren fungerar (se förberedelseuppgift 4 för sanningstabell). Koppla ihop spänning och jord med motsvarande på adderar-kopplingsdäcket (labassistenten kan visa hur), och koppla in den extra halvadderaren till multiplikationskretsen. Nu ska alla multiplikationer upp till 3·15 fungera!

## Indikera när overflow inträffar.

En annan frivillig uppgift kan vara att göra en indikator som "larmar" när overflow skett.

Som Du märkt så kan adderarkretsen ge fel resultat vid addition av tal med tecken. Summan av två positiva tal kan vid addition felaktigt hamna inom negativa talområdet ( $A_4=0, B_4=0, S_4=1$ ), liksom att summan av två negativa tal felaktigt kan hamna i positiva talområdet ( $A_4=1, B_4=1, S_4=0$ ). En **Overflow-flagga** är en bit som "varnar" när detta skett.

$$overflow = A_4 B_4 \bar{S}_4 + \bar{A}_4 \bar{B}_4 S_4$$

Är man lite fiffig så räcker grindarna på laborationens logik-kopplingsdäck till för att koppla upp en sådan overflow-krets!

Overflow-kretsen kan testas med DIL-switcharna och den röda lysdioden (men man kan också koppla ihop laborationens båda kopplingsdäck - fråga labassistenten om hur?).

## Lycka till!

**När Du är klar. Tag bort alla anslutningar Du gjort med de mjuka sladdarna, men inga andra, och städa labplatsen.**

## Material-lista

Om Du någon gång skulle behöva bygga en liknande experimentutrustning, kan Du här se vilka komponenter vi använt.

Kopplingsdäck GL-12F ELFA 48-427-04  
Batterikontakt ELFA 42-043-01  
DIL-switch 3P ELFA 35-395-25  
DIL-switch 4P ELFA 35-395-33  
DIL-switch 5P ELFA 35-395-41  
Lysdiod med seriemotstånd 5V grön ELFA 75-014-99  
Lysdiod med seriemotstånd 5V röd ELFA 75-012-59  
Lysdiod med seriemotstånd 5V gul ELFA 75-015-11  
NAND grindar 74HC0 ELFA 73-500-10  
AND grindar 74HC08 ELFA 73-503-17  
OR grindar 74HC32 ELFA 73-510-18  
4-bitsadderararkrets 74HC283 ELFA 73-537-82  
Kretskortsströmställare Dubbeltryck ELFA 35-650-25  
Batterihållare 6V ELFA 4xR6 ELFA 69-506-61

Laborationen är sammanställd av *William Sandqvist* [william@kth.se](mailto:william@kth.se)