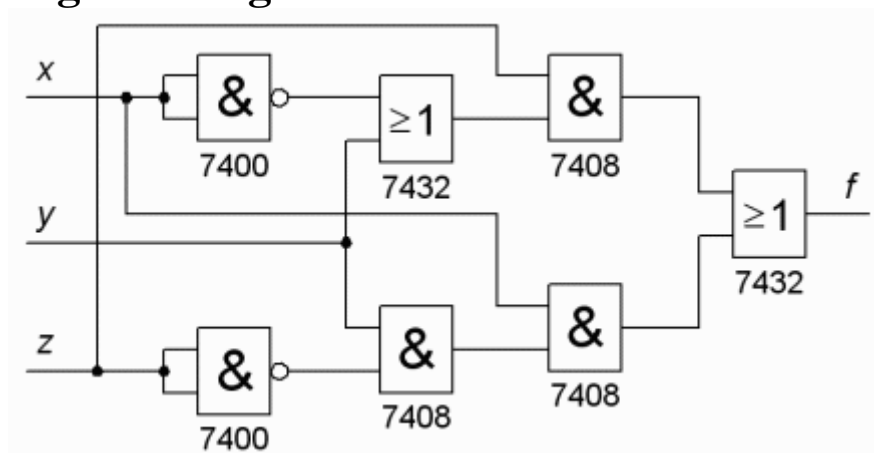


Laboration Kombinatoriska kretsar



Digital Design IE1204/5



Observera! För att få laborera måste Du ha:

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



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 labbhäfte 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 labbkvitto **måste** Du fylla i tabellen med bläck.*

Namn:			
Personnummer:			
• Förkunskapstest (Web-frågehäfte)			
Häfte nr:		Datum:	
Labblärarens kvittens:			
• Förberedelseuppgifter i labbhäftet			
Labblärarens kvittens:			
• Laborationens genomförande			
Laborationen utförd den:			
Labblärarens kvittens:			

Laboration Kombinatoriska kretsar

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 labbhäftet finns en materialförteckning över utrustningen, till hjälp om Du någon gång själv skulle få behov av att använda enklare logiska funktioner.

Simulering av digitala kretsar

För att arbeta med och studera enkla digitala kretsar är kopplingsdäck och simulatorprogram utmärkta hjälpmedel. Det klassiska simuleringsprogrammet Spice används fortfarande allmänt av elektronikkonstruktörer och vi använder därför en modern variant av detta, **LTSpice**, inför laborationerna.

Studenterna i kursen IE1204 kommer senare i labbkursen 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 föreläsningskursen.

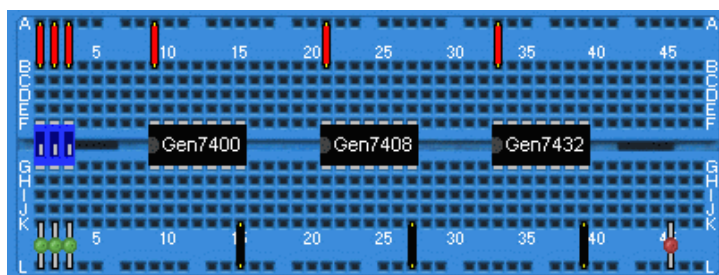
Många av laborationens förberedelseuppgifter skall utföras som simuleringar med **LTSpice**. På kurswikin finns tutorial's som visar hur man gör.

Målet med laborationen

- Lära dig att arbeta med kopplingsdäck.
- Orientera dig om logiska funktioner och kretsar.
- Orientera dig om program för simulering av elektronikkretsar.
- 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 en 4-bits hel-adderare.
- Praktisera multiplikation med konstant med adderaren.

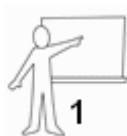
Observera! Det kan hända att din laborationstid ligger före det att alla kursmoment som kan behövas för laborationen har förelästs. Du måste i så fall själv läsa på i förväg – till din hjälp finns det länkar till alla föreläsningar och övningar.

Sanningstabell och boolskt uttryck



Kopplingsdäck med logikgrindar. En bild av labbtrrustningen.

Förberedelseuppgift 1 (görs innan labb)



Vid laborationen måste Du kunna visa att Du kan använda programmet **LTSpice** för digital simulering. Börja med att ladda hem och installera simulatorprogrammet **LTSpice** till din egen dator. Följ tutorial's på kurswebben.

- Simuleringsresultat. Här kan Du skriva upp vilket värde Du funnit att den inbyggda resistorn i våra lysdioder bör ha: $R=? \quad [\Omega]$

Simulera sedan sanningstabellerna för de tre grindarna och fyll i simuleringsresultaten, f_{SIM} , i labbhäftet. Amerikansk litteratur, och amerikanska symboler är mycket vanliga. I figuren används europeiska symboler (som är den internationella standarden), men Du ska även rita dit de motsvarande amerikanska symbolerna – det är de som vi använder till simulatorprogrammet!

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

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

Boolskt uttryck $f =$

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

Boolskt uttryck $f =$

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

Boolskt uttryck $f =$

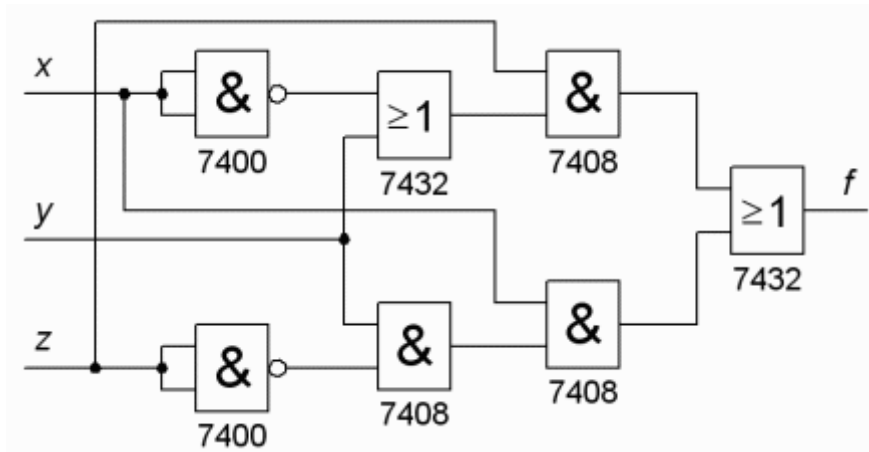
Labbuppgift 1

Koppla med hjälp av de mjuka sladdarna på kopplingsdäcket. Manövrera DIL-switcharna med en skruvmejselspets för att erhålla de fyra ingångskombinationerna. Mät en grind av varje typ. Skriv upp resultaten, $f_{MÄT}$, i sanningstabellerna och skriv sedan också upp de boolska uttryckena.

– 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 labbtrrustningen hanteras - gå inte vidare om *inte* mätvärdena stämmer överens med de simulerade värdena!

Mätning på en kombinatorisk krets

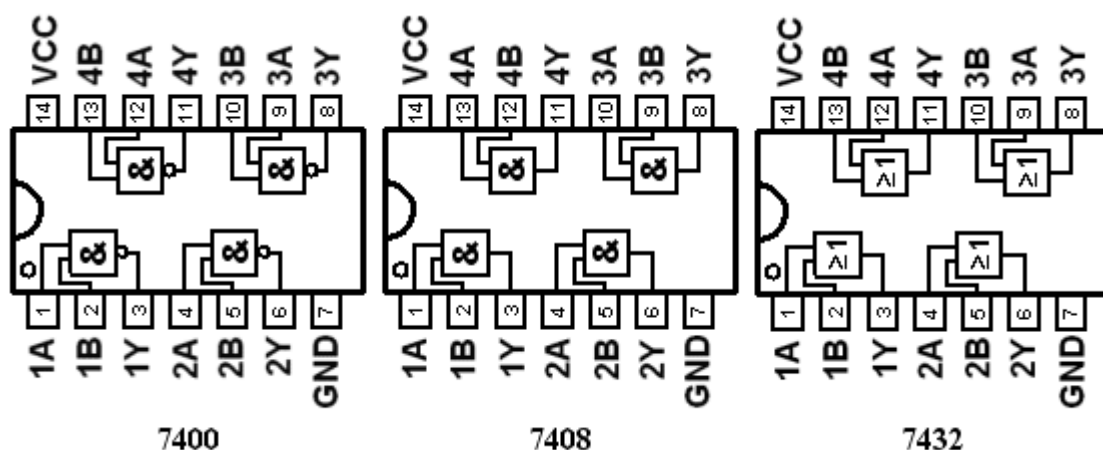


Förberedelseuppgift 2 (gör innan labb)



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

- Boolskt uttryck $f(x, y, z) =$
- Ange funktionens alla mintermer och fyll sedan i kolumnen f i sanningstabellen.
- Rita därefter upp kretsen i simulatorn efter schemat.
- Skriv upp ben-numren i schemat här i labbhäftet på de grindar Du använder (Du väljer själv vilka grindar som blir oanvända).
- Simulera kretsen för alla möjliga ingångskombinationer och fyll i simuleringsvärdena, f_{SIM} , i sanningstabellen.



- Försök att förklara vilken logisk funktion som f realiserar? Antag att x är en styrsignal för kretsen. Ser Du något mönster/samband?

• Labbuppgift 2

Tips! Om Du vet med dig att Du har svårt för detta - gör Då i stället Labbuppgift 3, som har färre ledningar, före det Du gör denna uppgift. Med de erfarenheterna blir denna uppgift sedan enklare.

Koppla upp den kombinatoriska kretsen enligt schemat på kopplingsdäcket. Du har nu nytta av att Du skrivit upp bennumren till grindarna.

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!

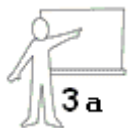
	x	y	z	f	f_{SIM}	$f_{\text{MÄT}}$	f_{MIN}
0	0	0	0				
1	0	0	1				
2	0	1	0				
3	0	1	1				
4	1	0	0				
5	1	0	1				
6	1	1	0				
7	1	1	1				

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

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

Kolumnen f_{MIN} för mätvärden från det minimerade nätet i labbuppgift 3.

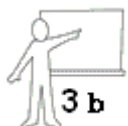
• Förberedelseuppgift 3 (gör innan labb)



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

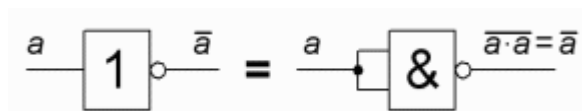
		yz			
		00	01	11	10
x	0	0	1	3	2
	1	4	5	7	6

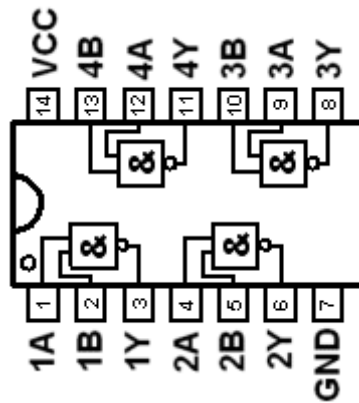
- Minimerat Boolskt uttryck $f(x, y, z) =$



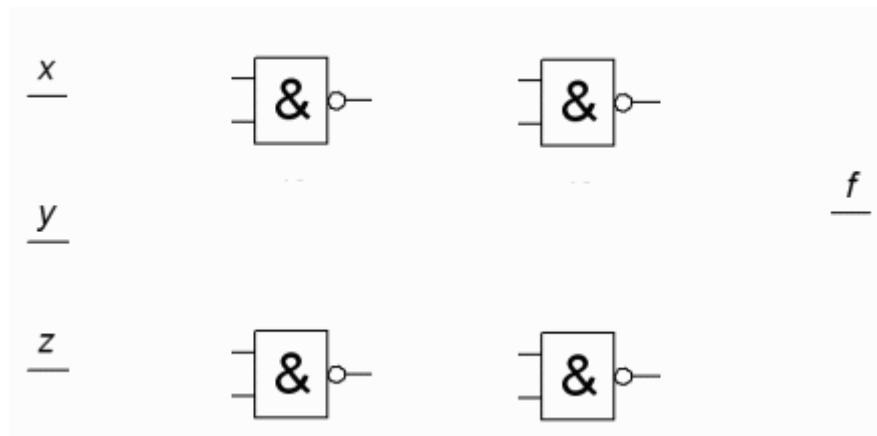
NAND-grindar är fullständig logik (alla funktioner kan göras med bara NAND-grindar). Realisera den minimerade funktionen med hjälp av enbart 2-ingångars NAND-grindar.

(Se nedan hur man gör en inverterare utav 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.



• Labbuppgift 3

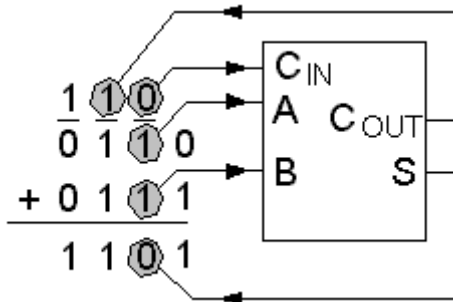
Koppla upp den minimerade kombinatoriska kretsen realiserad som ett NAND-NAND nät. Manövrera DIL-switcharna med en skruvmejselspets för de 8 olika ingångskombinationerna. Fyll i mätvärdena, f_{MIN} , i tabellen.

- 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 labb)**

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 $1+1=2$ (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	S_M	C_{OUT}	C_M
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}		00	01	11	10
0		0	1	3	2
1		4	5	7	6

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

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

Kolumnerna S_M och C_M är för mätningen på 1-bits heladderaren i labbuppgift 4.

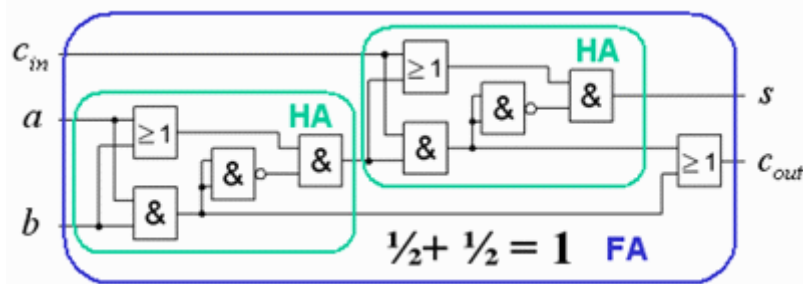


- Ange de boolska uttrycken för summa-biten S och minnes-biten C_{OUT} .
- Går det att förenkla med hjälp av Karnaugh-diagrammen?

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

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

Några simuleringar med färdiga simuleringsfiler



Två halvadderare bildar en heladderare ($HA+HA=FA$). - just denna koppling är ovanlig, men passar till de komponenter vi råkar ha framme vid laborationen.

Du ska simulera heladderarkretsen enligt schemat ovan. (Färdig simuleringsfil finns tillgänglig).

- Stämmer S och C_{OUT} med din sanningstabell?

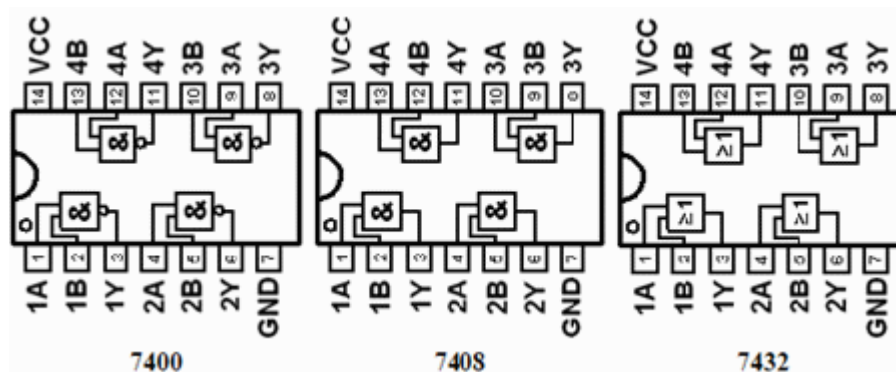
Simulera den heladderarkretsen tillsammans med det sista heladderarsteget inuti 4-bits-adderarkretsen 74283. "Jämför" utsignalerna från de två kretsarna med xor-grindar (en färdig simuleringsfil finns tillgänglig).

- Är båda kretsarna exakt lika? Passa på att diskutera eventuella avvikelser med labbassistenten senare under laborationen.

Simulera de två heladderarkretsarna tillsammans, men med ingångarna till ena heladderarkretsen omkastade! (en färdig simuleringsfil finns).

- Blir det någon skillnad? Vad drar Du för slutsats? Vilka "symmetriegenskaper" har således heladderaren?

Hur tänker Du koppla upp heladderarkretsen vid laborationen? Skriv upp ben-numren för alla grindar Du använder här i schemat i labbhäftet. Det kommer att underlätta kopplingsarbetet.



• Labbuppgift 4

Se till att Du har visat dina uppkopplingar med den kombinatoriska kretsen på logik-kopplingsdäcket för labbassistenten! Därefter kan Du riva kopplingen, ta bort alla anslutningar Du gjort med de mjuka sladdarna.

Bygg nu om kopplingsdäcket till heladderarkretsen enligt ovan.

Manövrera DIL-switcharna med en skruvmejselspets. För in dina mätvärden i sanningstabellens kolumner S_M och C_M .

Tanken är att mätvärdena ska överensstämma med förberedelseuppgiftens S och C_{OUT} .

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.

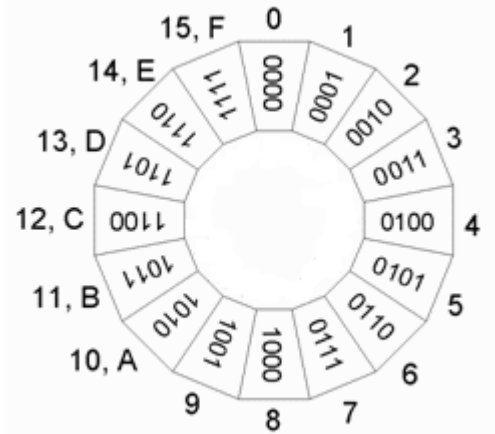


Bild på den första mikroprocessorn.

• Förberedelseuppgift 5 (gör innan labb)



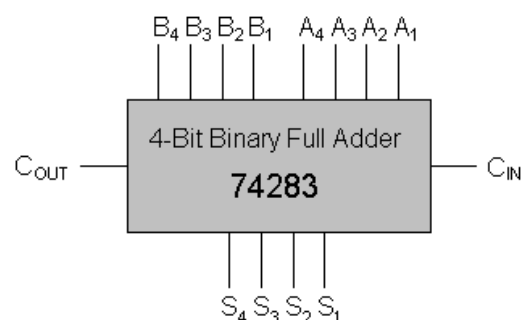
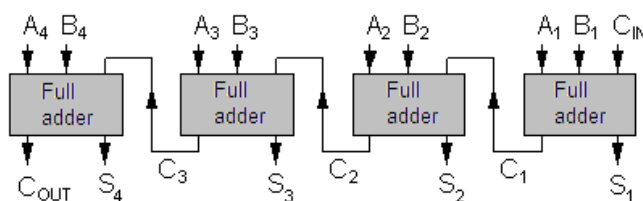
- Trots den begränsade ordlängden kan man ändå addera mycket stora tal genom upprepade additioner!
- Följ detta additionsexempel med de hexadecimala siffrorna steg för steg (använd "talringen" i figuren). Uppkommer det en utgående Carry, tas denna med som ingående Carry till nästa steg.

	(1)	(1)	(1)		Decimaltal?
		F	E	C	
+		1	D	B	
=	1	1	C	7	

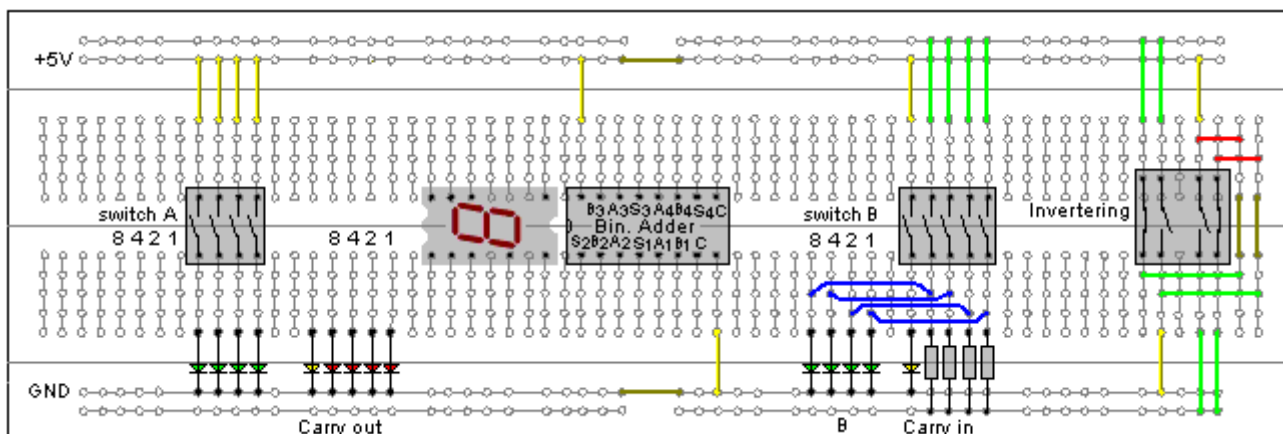
- Vilka decimaltal står hextalerna för? Omvandla hextalerna till decimaltal och fyll i dessa i tabellen.
- Kontrollera därefter att additionen stämmer tex. med hjälp av en [miniräknare](#).

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

• Labbuppgift 5



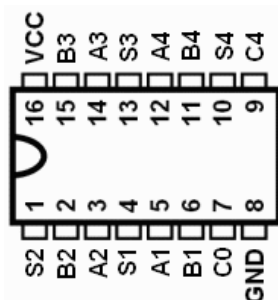
4-bitsadderarkretsen 74283.



Kopplingsdäck med 4-bitsadderararkrets 74283.

Uppkoppling

Kretsen 74283 är en fyra bitars adderararkrets. 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.

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

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 labbassistenten. Kontrollera resultatet med tex. en [miniräknare](#).

+					
=					

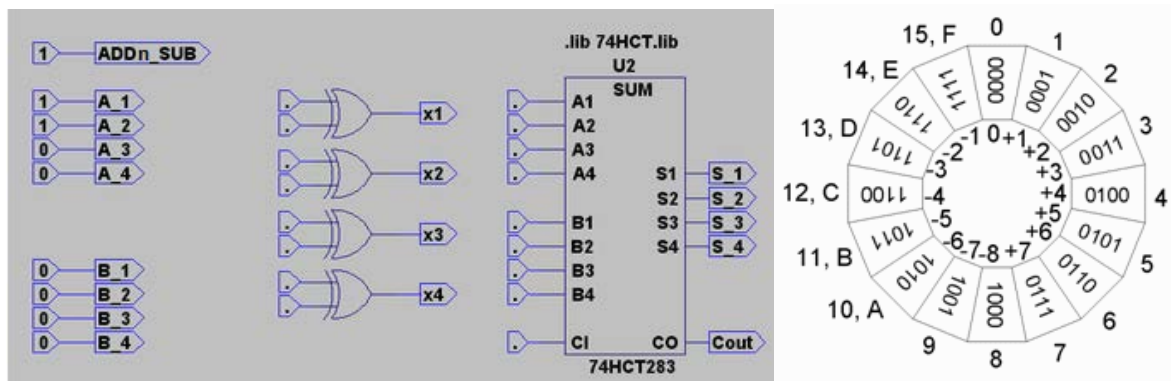
• Förberedelseuppgift 6 (gör innan labb)

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.

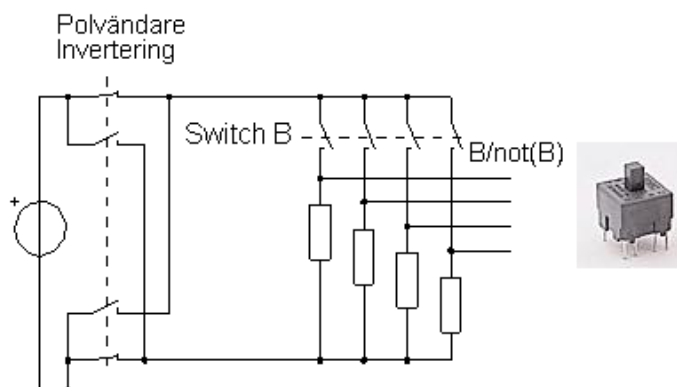
En adderarkrets kan även användas för subtraktion om man kan ta 2-komplementet av subtrahenden. Man har då en styrsignal $\overline{\text{ADD}}/\text{SUB}$ som ställer om kretsen för subtraktion. Detta brukar ske med exor-grindar som kan invertera talet, och med adderarens C_{IN} som kan lägga till 1.



- Fundera ut hur schemat för en sådan $\overline{\text{ADD}}/\text{SUB}$ krets ser ut. Rita färdig figuren.
- Negera talet (med papper och penna) $+3_{10} = 0011_2$. $-3_{10} =$

• Labbuppgift 6

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 $(+3) + (-3) = ?$ (använd inverteringsknapp och C0)
- Vad händer med $(+4) + (+4) = ?$ Om vi nu 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 labb)

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 bitar *ett* steg åt vänster.

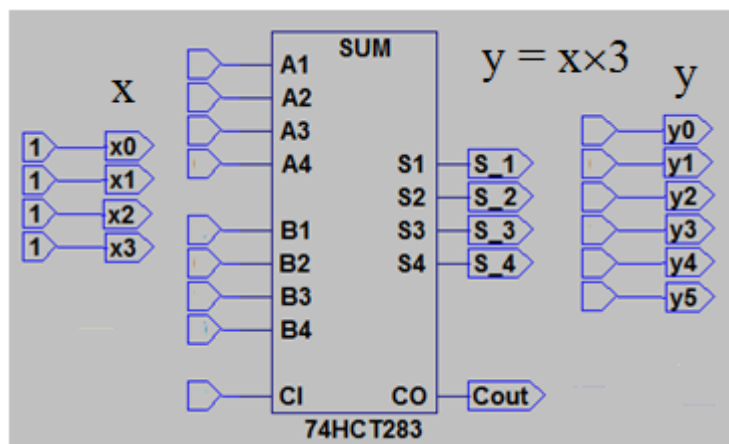
- Eller ett annat, mer avancerat sätt, är som $2 \cdot (1 \cdot x + 0,5 \cdot x) = 3 \cdot x$.

Här förekommer att talens anslutningar skiftas både till vänster eller till höger.

Du kan prova om dina idéer fungerar genom att simulera kretsen. Det finns en lämplig mall för detta.



Fundera nu ut hur en adderare kan användas som en "multiplicera med tre" krets. Rita färdigt schemat.



• Labbuppgift 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).

(Enklarest? Behåll ledningarna från ena switchgruppen, men koppla om ledningarna från den andra.)

- 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. Klarar din koppling att multiplicera alla 4-bitarstalen ända upp till 15 med tre ($3 \cdot 15 = 45$)?

Har Du tid över?

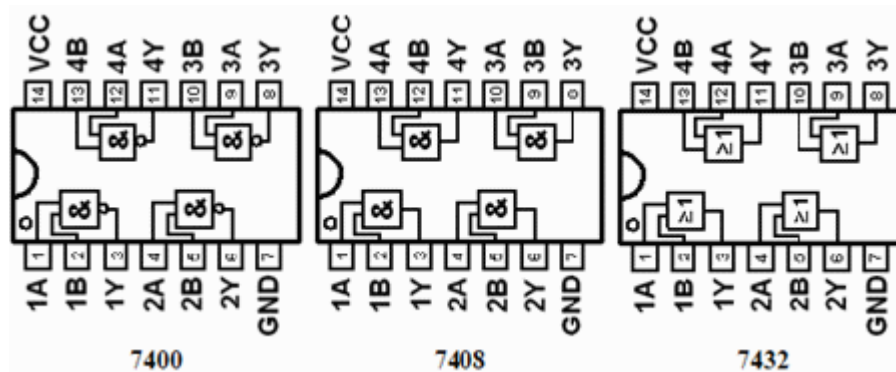
Indikera när overflow inträffar.

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.

En 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.

Lycka till!

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

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