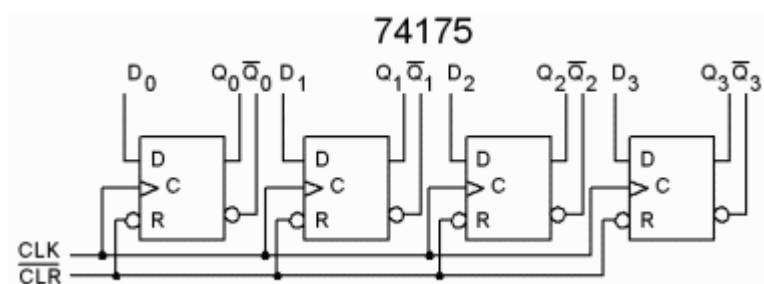


Laboration Sekvenskretsar



Digital Design IE1204/5



Observera! För att få laborera måste Du ha:

- bokat en 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:	
Labb-lärarens kvittens:			
• Förberedelseuppgifter i labbhäftet			
Labb-lärarens kvittens:			
• Laborationens genomförande			
Laborationen utförd den:			
Labb-lärarens kvittens:			

Inledning

Denna laborationen handlar om sekvenskretsar för synkront klockade tillämpningar. Vi fortsätter att använda standardkretsar av CMOS-typ. Det är CMOS-tekniken som har möjliggjort extremt strömsnåla batteridrivna portabla utrustningar. CMOS-grindarna "drar" bara ström precis vid klockpulsflankerna! (I labbutrustningen är det lysdioderna som är de stora "strömslukarna").

På kopplingsdäcken kommer Du att koppla upp och mäta på några grundläggande sekvenskretsar som låskretsar och klockade D-vippor.

Med systematiska metoder konstruerar Du en tillståndsmaskin, en styrd räknare, som Du sedan provar vid laborationen.

Andra sekvenskretsar med enklare struktur, som tex. återkopplade skiftregister, kan man ofta undersöka direkt.

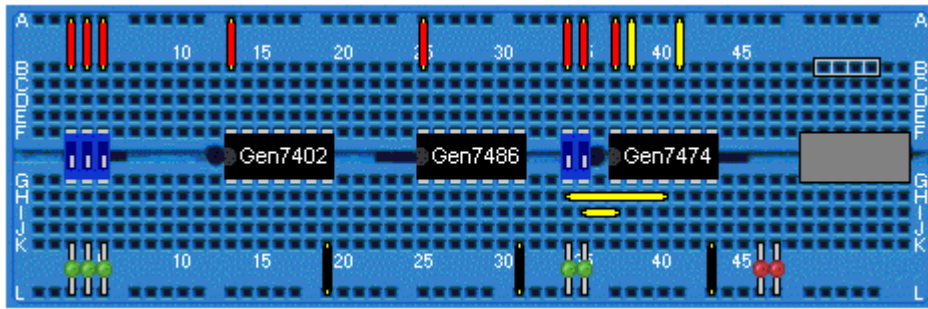
Uppgiften blir att "styra" en sådan sekvenskrets att genomlöpa olika cykler.

Målet med laborationen

- Lära dig att arbeta med kopplingsdäck.
- Orientera dig om låskretsar och klockade vippor.
- Visa hur elektronikens snabbhet kan ställa till med problem, och ge ett praktiskt exempel på en lösning.
- Praktisera konstruktion av en tillståndsmaskin enligt en systematisk metod.
- Öva mätteknik, undersöka ett sekvensnät genom att "tvinga" det att genomlöpa olika cykler.

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.

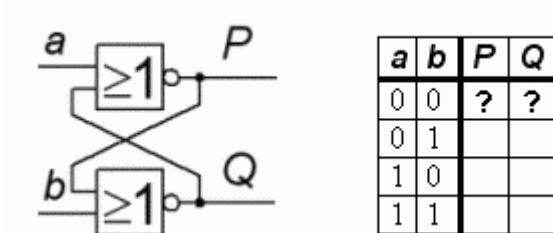
Låskrets med NOR-grindar



En bild av labbutrustningen ritad med hjälp av kopplingsdäcksimulatorn
Till höger finns en inkopplad bufferkrets, den delen av labbutrustningen används normalt inte.

• Förberedelseuppgift 1 (görs innan labb)

NOR-grindar finns i en kapsel 7402, välj ut två grindar ur kapseln och skriv in ben-numren i figurena - det kommer att underlätta kopplingsarbetet vid laborationen. Försök att resonera dig fram till en sanningstabell för vissa av ingångskombinationerna för kretsen. (Avstå från att analysera insignalkombinationen $a=b=0$, det kommer Du att göra vid laborationen).



• Du kan även simulera kretsen med **LTSpice** på din egen dator hemma i förväg.

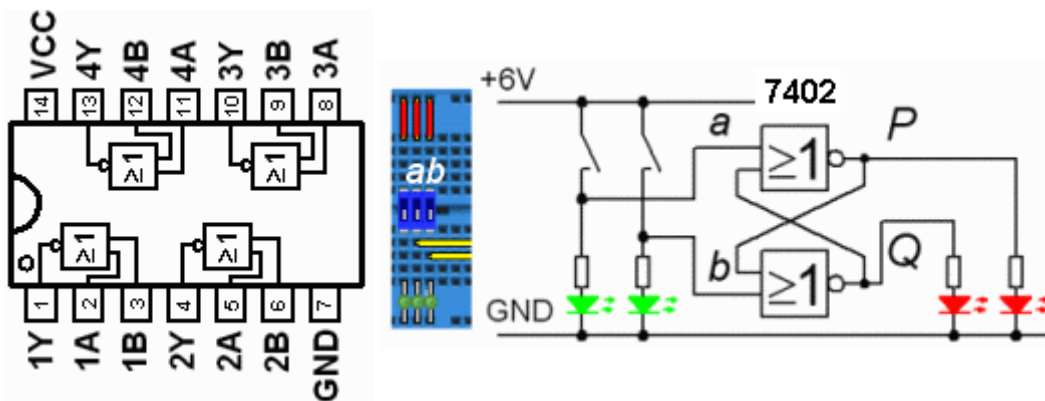
• Labbuppgift 1

Koppla med hjälp av de mjuka sladdarna upp låskretsen på kopplingsdäcket. Låskretsen är *inte* en **kombinatorisk krets** utan en **sekvenskrets**. Utgångsvärdena beror inte enbart av ingångsvärdena, utan också på i vilken ordning de ändras.

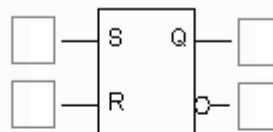
Manövrera DIL-switcharna med en skruvmejselspets för att ändra variablerna i den ordning som anges av tabellen och fyll i utgångsvärdena. Fyll i dina kommentarer.

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.



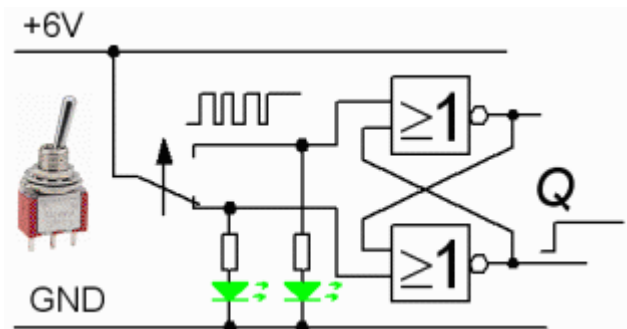
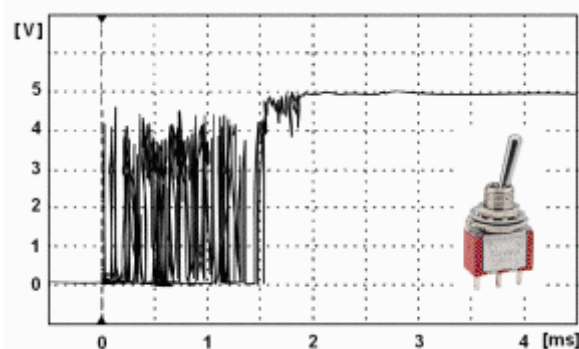
a	b	P	Q	Kommentar
1	0			
0	0			
0	1			
0	0			
1	1			$P = \bar{Q} ??$



- Identifiera nu a , b , P och Q med variablerna i en SR-låskrets.
- Kan man säga att P och Q alltid är varandras inverser? Måste Du förbjuda någon ingångskombination för att SR-symbolen skall gälla?

• Förberedelseuppgift 2 (görs innan labb)

- Läs nedan om kontaktstudsar och hur man kan undvika dem med hjälp av en låskrets.

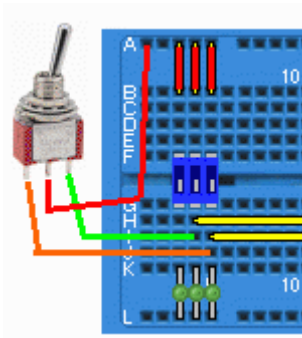


Alla mekaniska strömställare uppvisar ett fenomen som kallas för kontaktstuds. Detta är en rent mekanisk effekt. Vid kontaktens tillslag gör "stöt"-kraften att den kortvarigt vibrerar vid kontaktytan vilket leder till att strömkretsen hinner slutas och brytas många gånger innan vibrationen upphört. Det som gör detta till ett problem är de elektroniska kretsarnas snabbhet, kontaktstudsarna kan förväxlas med (snabba) omkopplingar. Figuren visar övergången från "0" till "1" när man manövrerar en vippströmställare.

I figuren har den mekaniska vippströmställaren anslutits till en låskrets. När kontakten gör tillslag, och börjar studsar, så 1-ställs låskretsen och "minns" den första studsar, de fortsatta studsarna får ingen inverkan.

När kontakten sedan gör frånslag, 0-ställs låskretsen direkt på samma sätt. Signalen från låskretsen är befriad från de extrapulser som finns vid kontakterna.

• Labbuppgift 2



Ställ de två DIL-switcharna som Du manövrerat låskretsen med på OFF (så att de inte längre inverkar). Anslut sedan vippströmställaren enligt figuren. Strömställarens mittersta ben till +6V och de övriga två benen till låskretsens ingångar (vid de gröna lysdioderna).

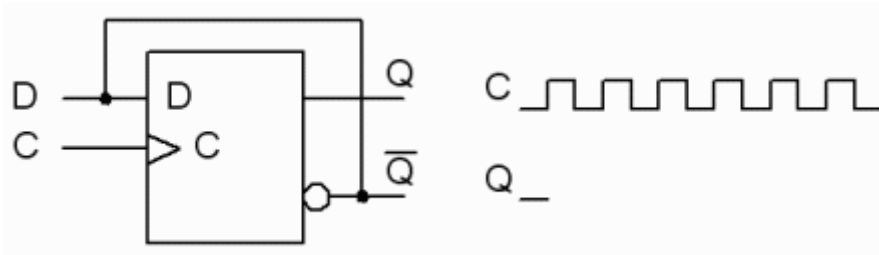
Kontaktstudsar är så snabba att det inte går att se dem direkt med lysdioderna. Först i och med nästa koppling kommer det att gå att avgöra om kontaktstudsarna finns, och om Du blev "av med" dem med hjälp av låskretsen.

Klockad D-vippa

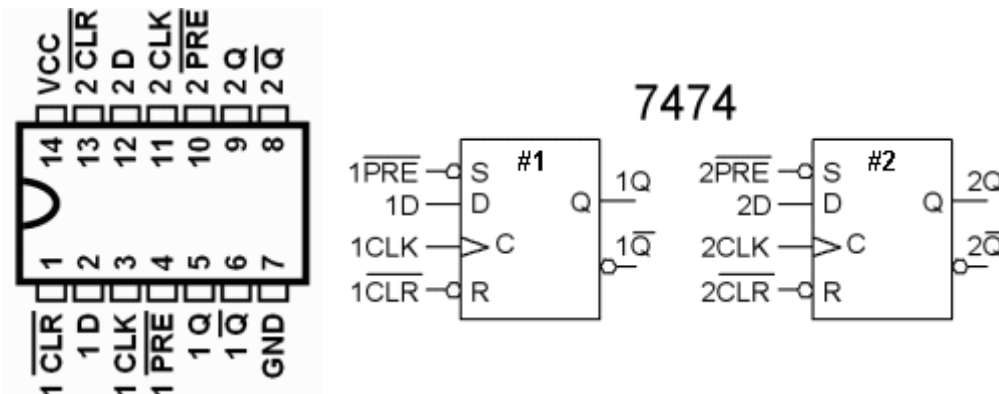
• Förberedelseuppgift 3 (görs innan labb)



En D-vippa har kopplats så att inversutgången anslutits till D-ingången. Fyll i tidsdiagrammet för Q . Från början är $Q = 0$.



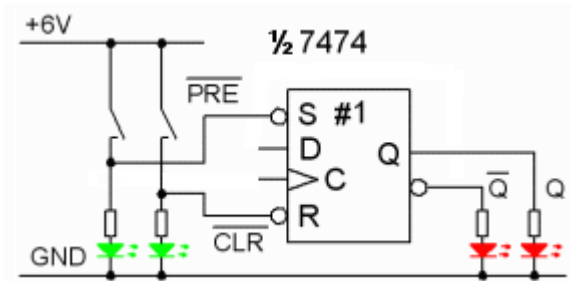
- Beskriv med ord hur vippan beter sig med denna koppling.
- På kopplingsdäcket har vi kretsen 7474. Den innehåller två D-vippor. D-vipporna har även låskrets-ingångar PRE och CLR. Studera kretsens **datablad** för att ta reda på vilka värden PRE och CLR skall ha för att vipporna ska kunna påverkas med klocksignalen?
- Du kan simulera denna koppling med **LTSpice** för att se till att Du förstått allt. (Däremot kan "kontaktstudsar" inte simuleras – en simulators pulser är ju helt "perfekta").



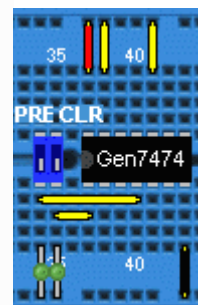
• Labbuppgift 3

Använd 7474-kretsens vippa #1. Koppla vippans utgång och inversutgång till var sin röd lysdiod.

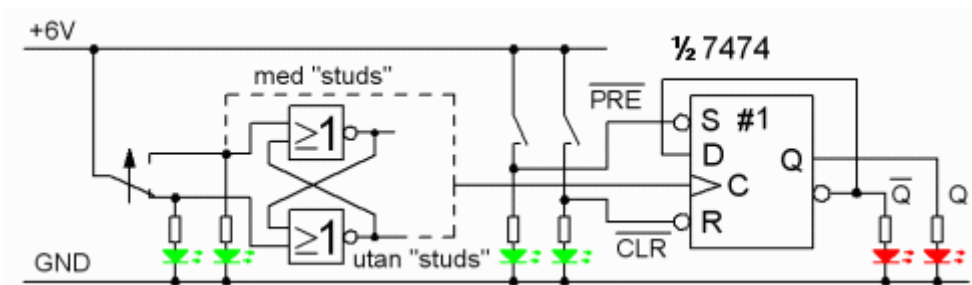
Manövrera DIL-switcharna med en skruvmejselspets för att ändra PRE och CLR i den ordning som anges av tabellen, och fyll i utgångsvärdena.



\overline{PRE}	\overline{CLR}	Q	\overline{Q}	Kommentar
0	1			
↓	↓			
1	1			
↓	↓			
1	0			
↓	↓			
1	1			
↓	↓			
0	0			



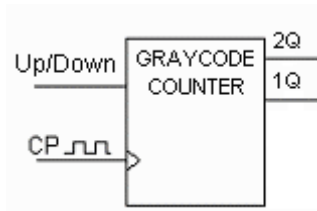
Vad blir din slutsats om vippans låskretsfunktion? Vilken typ av låskrets är det?



Koppla nu en ledning från vippans inversutgång till D-ingången. Ställ in PRE CLR så att vippan kan klockas. Prova att klocka vippan med vippströmställaren. Tag klockpulserna först från låskretsen (streckad ledning från grindutgången), och koppla sedan om så att klockpulserna tas direkt från kontakten (streckad ledning från gröna lysdioden).

- Kan Du märka om funktionen blir "störd" när Du tar klockpulserna direkt från kontakten?

Gray-kod upp/ner-räknare



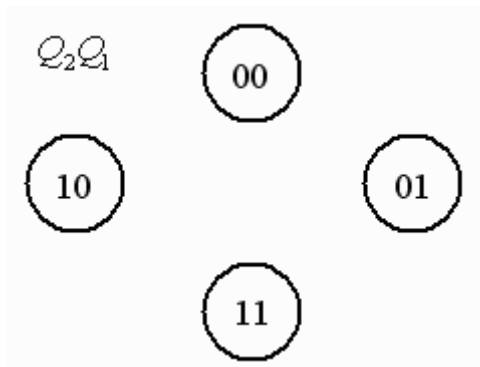
• Förberedelseuppgift 4 (görs innan labb)

Konstruera en synkron räknare bestående av två D-vippor och valfria logikkretsar (under laboration kommer Du att använda grindar av XOR-typ). Räknaren ska räkna enligt Gray-koden, och den ska klockas av klocksignalen CP och ha en styrsignal x för val av räkneriktning Up/Down.

Styrsignal	Räknarens arbetssätt
$x=1$	Up: $Q_2Q_1 = 00, 01, 11, 10, 00, \dots$
$x=0$	Down: $Q_2Q_1 = 00, 10, 11, 01, 00, \dots$

Tillståndsdigram

- Komplettera tillståndsdigrammet med tillståndsovergångar $Q_2Q_1 \Rightarrow Q_2^+Q_1^+$ och övergångsvilkor x .



Tillståndstabell, nästa tillståndsavkodare



- För över tillståndsdigrammet till en tillståndstabell $Q_2^+Q_1^+ = f(x, Q_2, Q_1)$, och dela upp tabellen i två tabeller, en för Q_2^+ och en för Q_1^+ .

$Q_2^+Q_1^+ = f(x, Q_2, Q_1)$		$Q_2^+ = f(x, Q_2, Q_1)$	$Q_1^+ = f(x, Q_2, Q_1)$
Q_2Q_1		Q_2Q_1	Q_2Q_1
x		x	x
	00 01 11 10	00 01 11 10	00 01 11 10
0			
1			

- Gör "bästa" hoptagningar i Karnaughdiagrammen, och ange de booleska uttrycken för Q_2^+ och Q_1^+ på SP-form (summa-produkt).

$$Q_2^+ =$$

$$Q_1^+ =$$

Användning av XOR-grindar

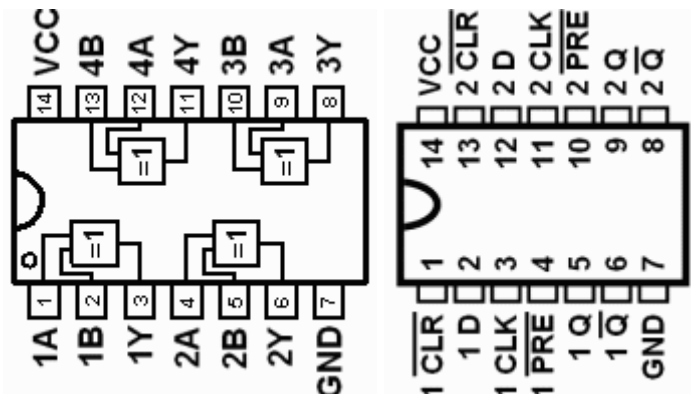
På det kopplingsdäck som används vid laborationen finns det endast grindar av XOR-typ. Kan dom användas för att realisera funktionerna Q_2^+ och Q_1^+ ?



- Skriv XOR-uttrycken nedan på boolesk form, så kommer Du säkert på hur tillståndsavkodningen kan göras med XOR-grindar.

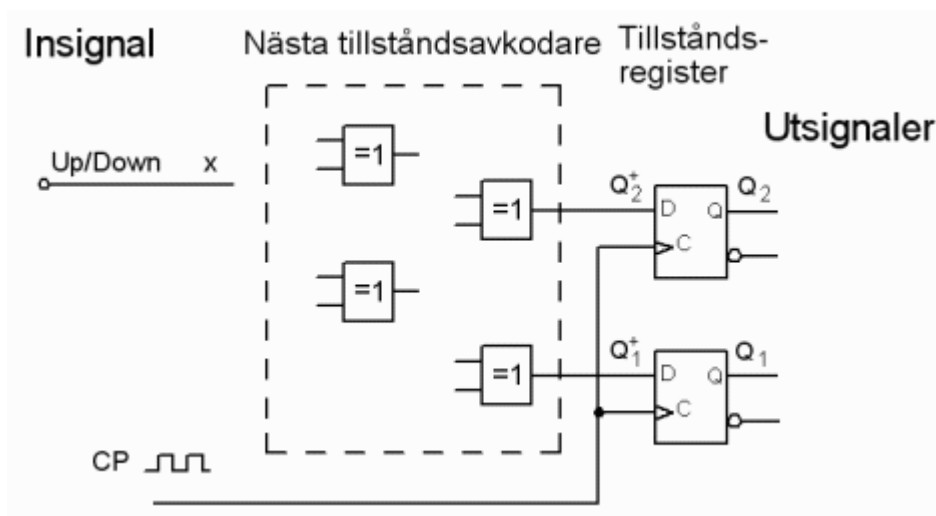
$$a \oplus b =$$

$$a \oplus \bar{b} =$$



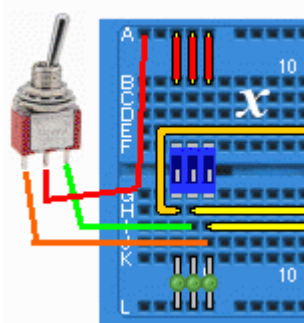
Kopplingsschema för räknaren

- Rita in förbindningarna mellan kretsarna i schemaunderlaget. Använd så många av XOR-grindarna Du behöver. Skriv in ben-numren i alla schemor, det underlättar när Du senare ska koppla upp kretsen på kopplingsdäcket.



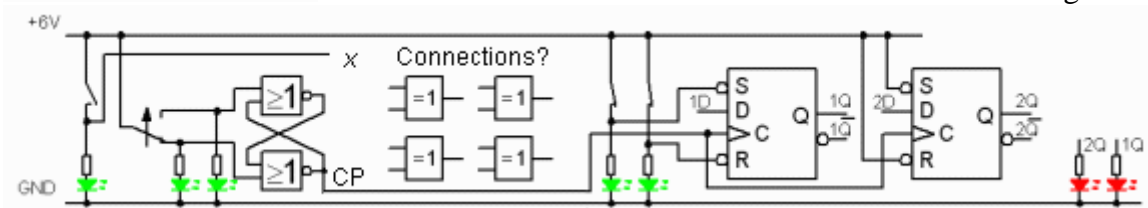
- Simulera din räknare med **LTSpice** - då vet Du att Du har en fungerande lösning till laborationen!

• Labbuppgift 4

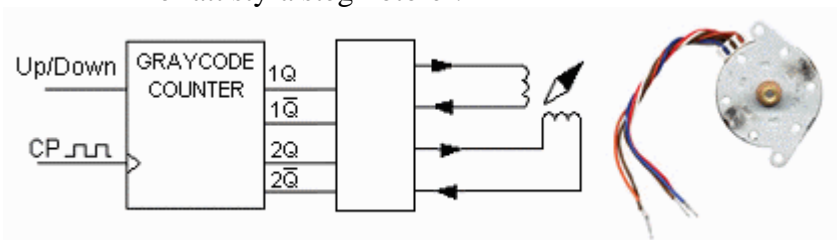


Koppla upp Gray-räknaren på kopplingsdäcket. "Avstudsade" klockpulser tas från SR-kretsen. Kontrollera att vippornas PRE och CLR tillåter klockning! Räkneriktningssignalen x tas från den lediga första DIL-switchen. Utgångssignalerna 2Q och 1Q kopplas till de två röda lysdioderna.

Det underlättar nu om Du har skrivit in ben-nummer i figurena.

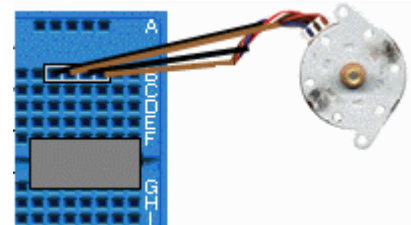


- Prova att Gray-räknaren räknar klockpulserna i rätt sekvenser för Up-räkning och för Down-räkning.
- Nu har labbassistenten säkert en stegmotor att låna ut. Grayräknare används ibland för att styra stegmotorer.

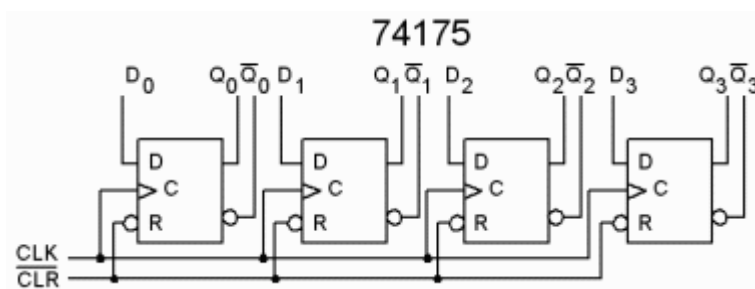
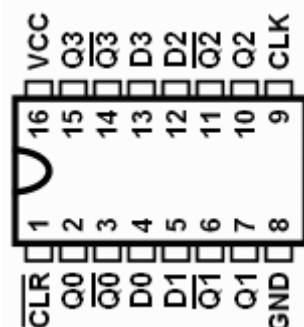


Stegmotorn har två lindningar och varje lindning ansluts mellan en vippas utgång och dess inversutgång.

Ditt chip 7474 orkar kanske inte driva stegmotorn?
Labbassistenten kan då koppla stegmotorn till en bufferkrets i ändan på kopplingsdäcket.

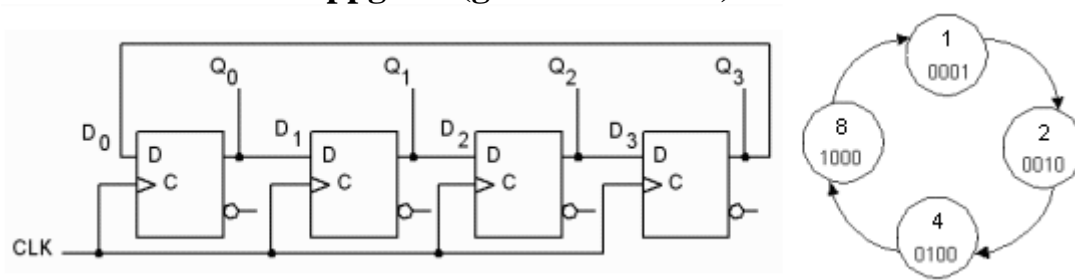


Skiftregister-räknare



Kretsen 74175 innehåller fyra D-vippor. Vipporna har en gemensam klockpulsingång CLK, och en gemensam 0-ställningsingång CLR. Vi kommer att koppla vipporna som ett skiftregister för att prova några skiftregister-räknare.

• Förberedelseuppgift 5 (görs innan labb)

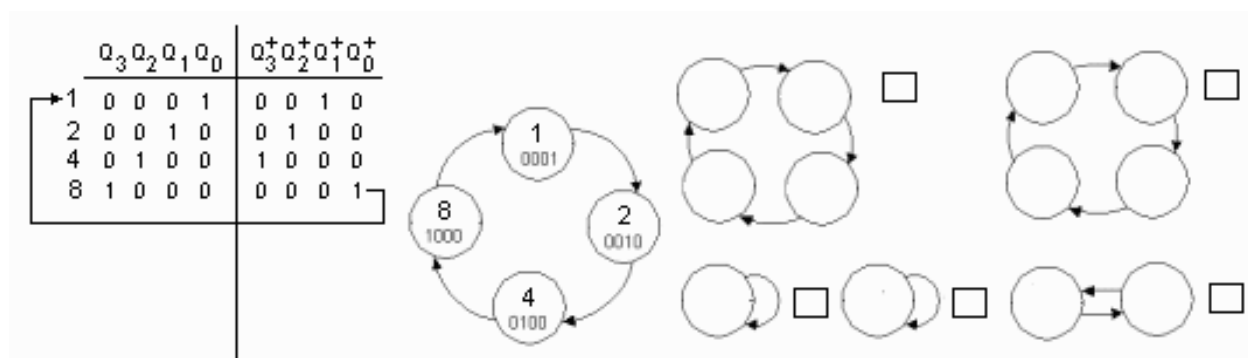


Ringräknaren

Om ett skiftregisters serieutgång ansluts till dess serieingång säger man att skiftregistret "roterar" ett tal. En ringräknare är ett sådant återkopplat skiftregister. På något sätt ser man till att bara en av vipporna innehåller "1" som starttillstånd, och därefter skiftas denna 1:a runt mellan vipporna. Räknekoden är inte binärkod, utan den brukar kallas för "one hot" ($Q_3Q_2Q_1Q_0$ 1, 2, 4, 8).



• Vad händer om räknaren startas med något annat tillstånd än de som ingår i räknesekvensen? Räkna ut vilka cykler som de övriga talen ingår i (det som behövs är systematik + papper + penna). Fyll i räknarens alla tillståndsdigram i figuren. (startvärden: 3, 5, 7, 0, 15)



Som förberedelse fyller Du i alla tillståndsdigrammen.

Som **labbuppgift 5** kontrollerar Du alla ringräknarens olika tillståndsdigram på kopplingsdäcket.

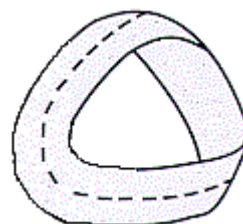
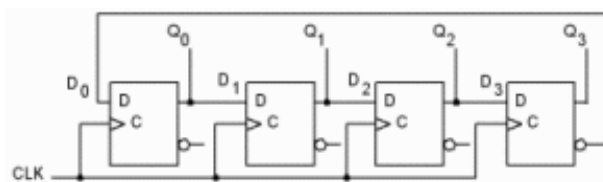
Sätt en bock vid varje tillståndsdigram Du kontrollerat.

• Du kan simulera ringräknaren i **LTSpice**. Du kan starta den med olika värden för att kontrollera ditt resonemang ovan.

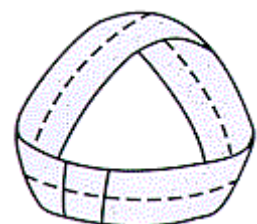
Möbius-räknaren

En möbius-räknare får man om man ansluter skiftregistrets serieingång till inversutgången i stället. Räknaren startar på 0000 ($Q_3Q_2Q_1Q_0$) och därefter tillkommer för varje räknesteg en 1:a tills registret är fullt, då försvinner i stället en 1:a för varje steg.

Räknekoden brukar kallas för "creeping Code".



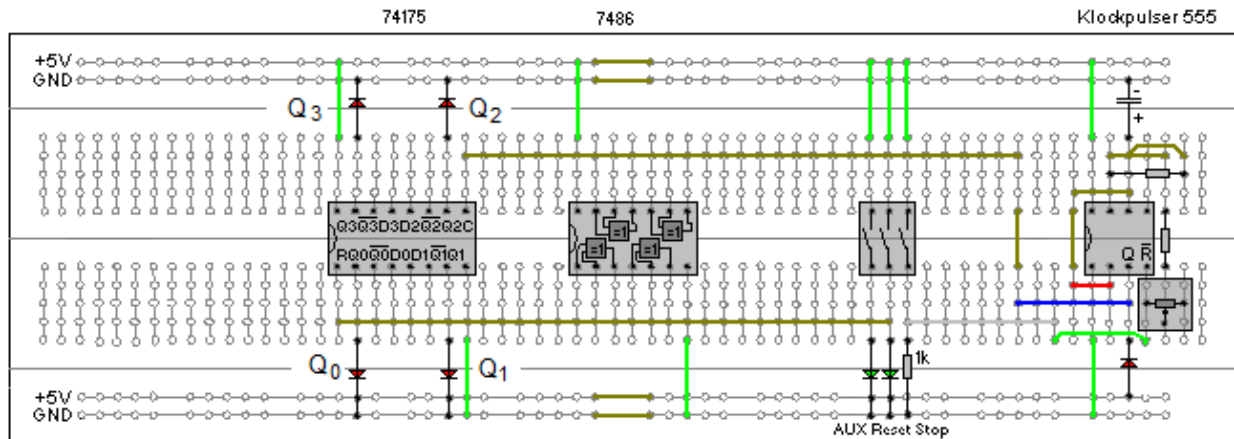
Ring



Möbiusring

Möbiusräknaren har fått sitt namn av att räknesekvensen "förlängs" av att man "inverterar" ringräknarsignalen - i analogi med hur man "inverterar" en ring till en Möbiusring (man har en pappersremsa och vrider ändarna ett halvt varv innan man klistrar ihop dem till en Möbiusring).

- Hur mycket förlängs ett varv runt en Möbiusring i jämförelse med varvet runt en vanlig ring? Hur mycket förlängs räknesekvensen för möbiusräknaren i jämförelse med ringräknaren.
- Du kan simulera möbiusräknaren med **LTSpice** för att kontrollera sekvensen.



Nytt Kopplingsdäck

På detta kopplingsdäck har vi spänningsmatning och jord på skenorna både ovanför och under kopplingsytan. Man behöver då aldrig dra ledningar över kretsarna för att ansluta matningsspänning eller jord till någon pinne.

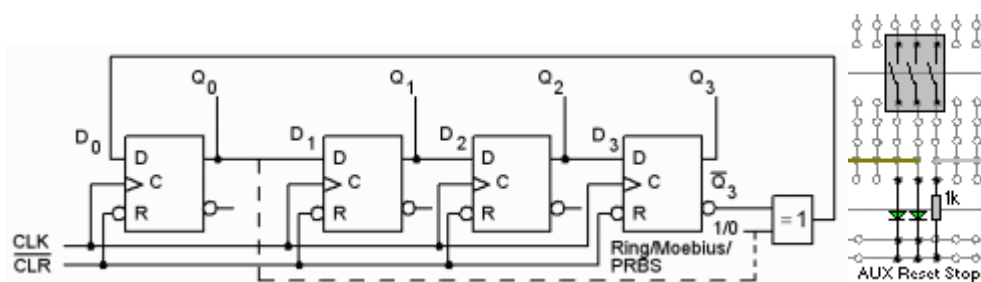
Vi har också placerat lysdioderna direkt vid pinnarna för Q3 Q2 Q1 Q0. Bekvämt att kunna följa status på valfri pinne med en lysdiod (vi använder lysdioder med inbyggda serie-resistorer).

På kopplingsdäcket finns en **klockpulsgenerator** byggd kring en 555-timer (den kretsen brukar kallas för trippel-femman). Detta är en klassisk elektronikkrets - söker Du med Google på "555 timer" får du 1850000 resultat!

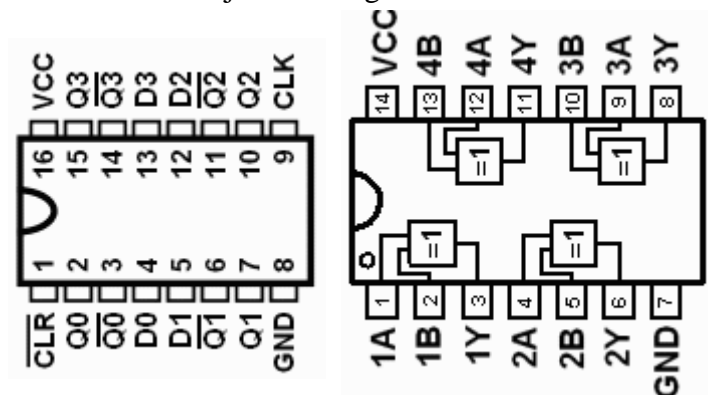
Med en "ratt" på ett vridmotstånd kan Du variera klockfrekvensen, från en puls var tionde sekund, till tio pulser i sekunden. Hinner Du inte med att "läsa av" lysdioderna kan Du dessutom stoppa klockpulserna med en DIL-switch (Stop).

Observera att klockpulser och Resetsignal (Reset) redan är kopplade till kretsen 74175 i förväg.

• Labbuppgift 5



Koppla vipporna som ett skiftregister, dvs. $Q_0 \rightarrow D_1$ $Q_1 \rightarrow D_2$ $Q_2 \rightarrow D_3$. Anslut nu Q_3 :s inversutgång till en XOR-grind och sedan vidare från grindens utgång till D_0 (se figur). Anslut den lediga XOR-ingången till en DIL-switch (AUX). Med $AUX=1$ väljer Du "ring-räknare" och med $AUX=0$ "möbius-räknare".

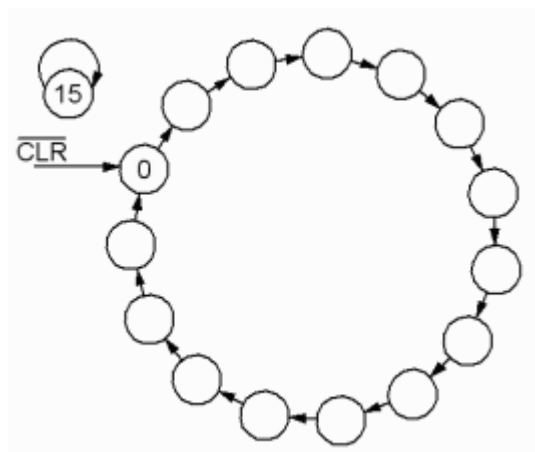


- Välj "möbius-räknare" med DIL-switch $AUX = 0$.
- Nollställ D-vipporna med DIL-switch Reset = 0, och därefter Reset = 1.
- Studera nu "Creeping code" sekvensen.
- Vänta in det tillfälle då Creeping code innehåller "en" tänd lysdiod.
Välj då "ring-räknare" med DIL-switch $AUX = 1$. (Om Du inte hinner med kan Du stoppa klockpulserna).
- Studera nu "One hot" sekvensen.

PRBS Pseudo Random Binary Sequence

Hur återkopplingen av skiftregistret sker påverkar vilka räknecykler det blir. Om XOR-grindens ingång ansluts till Q_0 (streckad ledning i figuren) i stället för till DIL-switch AUX, får vi en cykel av "maximal längd". Tillståndet 15, 1111 ($Q_3Q_2Q_1Q_0$), kommer att bilda en cykel "med sig självt", medan alla de övriga tillstånden ingår i cykeln av "maximal längd".

Tillståndens ordningsföljd kan verka "slumpmässigt" vald, detta är en så kallad PRBS Pseudo Random Binary Sequence.



- **Förberedelseuppgift 6 (görs innan labb)**

Simulera PRBS-räknaren med LTSpice.

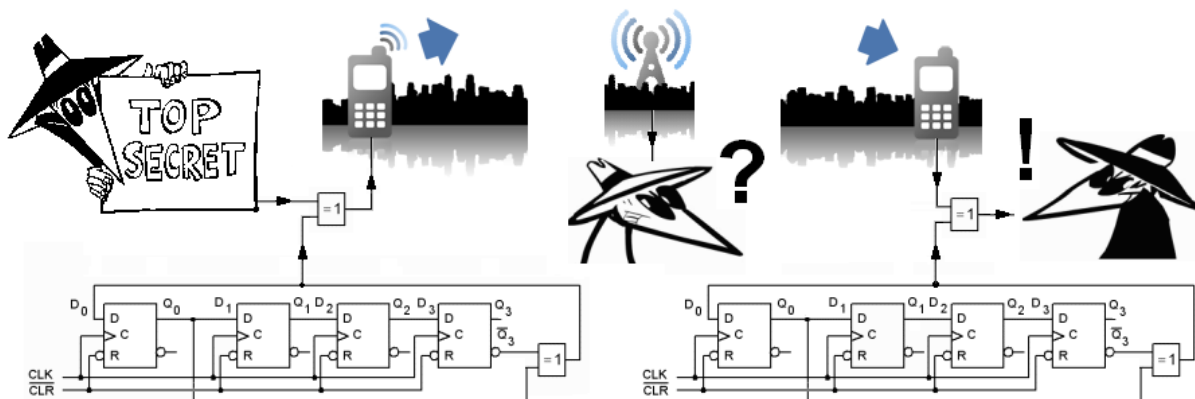
- **Labbuppgift 6**

- Nollställ D-vipporna med DIL-switch Reset=0, och därefter Reset=1.
- Skriv upp PRBS-sekvensen som en följd av "decimaltal" i tillståndsdiagrammet. bitarnas ordning ska vara $Q_3Q_2Q_1Q_0$, (stoppa klockpulserna vid behov)
- Verkar PRBS-sekvensen slumpmässig?

Längre PRBS-sekvenser används tex. för att kryptera dataöverföringen vid GSM-telefoni och vid Bluetooth.

Ett annat användningsområde för PRBS är för att bygga in "självtest-förmåga" inuti större digitala chip.

(Det finns en omfattande matematisk teori om återkopplade skiftregister, och skolan ger några kurser på Masternivå om detta.)



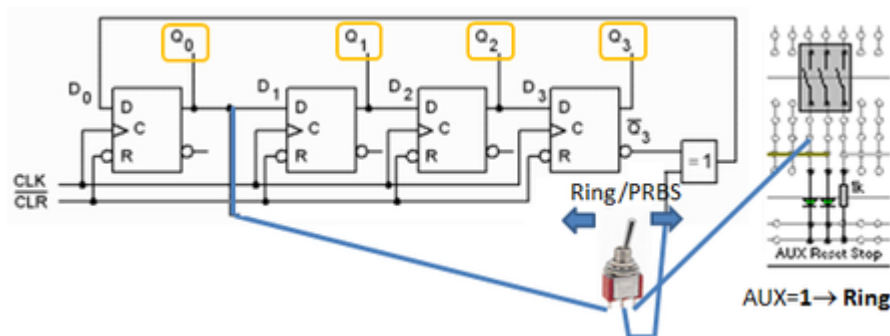
Kryptering av en binär bitföljd genom att den "blandats" med en PRBS-sekvens i en XOR-grind. Den binära bitföljden kan dekrypteras genom att igen blandas med "samma" PRBS-sekvens!

Ringräknarens räknecykler

Enligt förberedelseuppgiften har ringräknaren flera tillståndscykler av olika längd förutom den egentliga "one hot"-sekvensen. Du kan stoppa klockpulserna (Stop) när PRBS-sekvensen når tal som ingår i dessa tillståndscykler.

Det går enkelt att ändra kretsen från "PRBS-sekvens" till "ringräknare" medan spänningen är på (= flytta på en ledning). Därefter kan Du starta klockpulserna igen. På så sätt kan Du kontrollera ringräknarens alla tillståndsdigram, trots att det inte går att komma åt varje vippa direkt för att 0-ställa eller 1-ställa den.

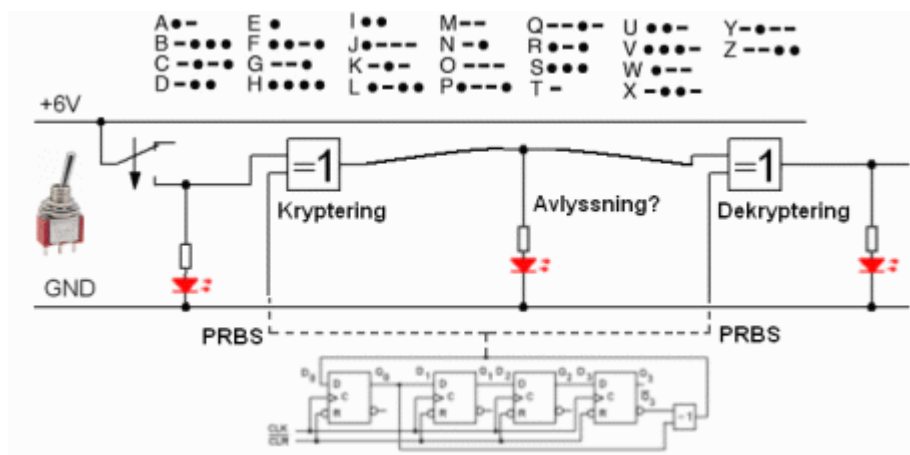
Ett annat sätt att snabbt ändra räknaren är att använda switchen från tidigare labbuppgift. Se figur på hur den skall kopplas in.



- Kontrollera "ringräknarens" alla räknecykler från förberedelseuppgiften. I figuren med tillståndsdigrammen sätter Du en bock bredvid varje som Du kontrollerat.
- Stämmer räknecyklerna från förberedelseuppgiften överens med det Du observerat under labben?

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.



Låt PRBS-generatoren vara uppkopplad. Kretsen 7486 har kvar tre oanvända exor-grindar, använd två av dessa. På kopplingsdäcket finns tre oanvända gula lysdioder använd dem och "Låna" vippströmställaren laborationens andra kopplingsdäck.

- Koppla upp kretsen enligt figuren. Det är en krypterad dataöverföring. Sändare och mottagare blandar data-signalen med synkroniserade PRBS-signaler.

Vi "fuskar" vad gäller synkroniseringproblemet genom att helt enkelt låta sändare och mottagare använda *samma* PRBS-signal.

- Sänd ett meddelande med Morse-kod och förvissa dig om att mottagaren kan läsa meddelandet - medan den som försöker avlyssna kommunikationen inte har någon chans!

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
Batterihållare 6V ELFA 4xR6 ELFA 69-506-61
DIL-switch 3P ELFA 35-395-25
DIL-switch 2P ELFA 35-395-17
Lysdiod med seriemotstånd 5V grön ELFA 75-014-99
Lysdiod med seriemotstånd 5V röd ELFA 75-012-59
Vippströmställare on-(on) 1P ELFA 35-305-24
NOR-grindar 74HC02 ELFA 73-501-19
XOR-grindar 74HC86 ELFA 73-515-13
4D-vippor 74HC175 ELFA 73-529-17
2D-vippor CD74AC74E (måste vara AC) ELFA 73-621-24
Elektronikkrets 555 ELFA 73-042-65
Trimpot 500 kΩ med ratt ELFA 64-635-25

Laborationen är sammanställd av *William Sandqvist* william@kth.se