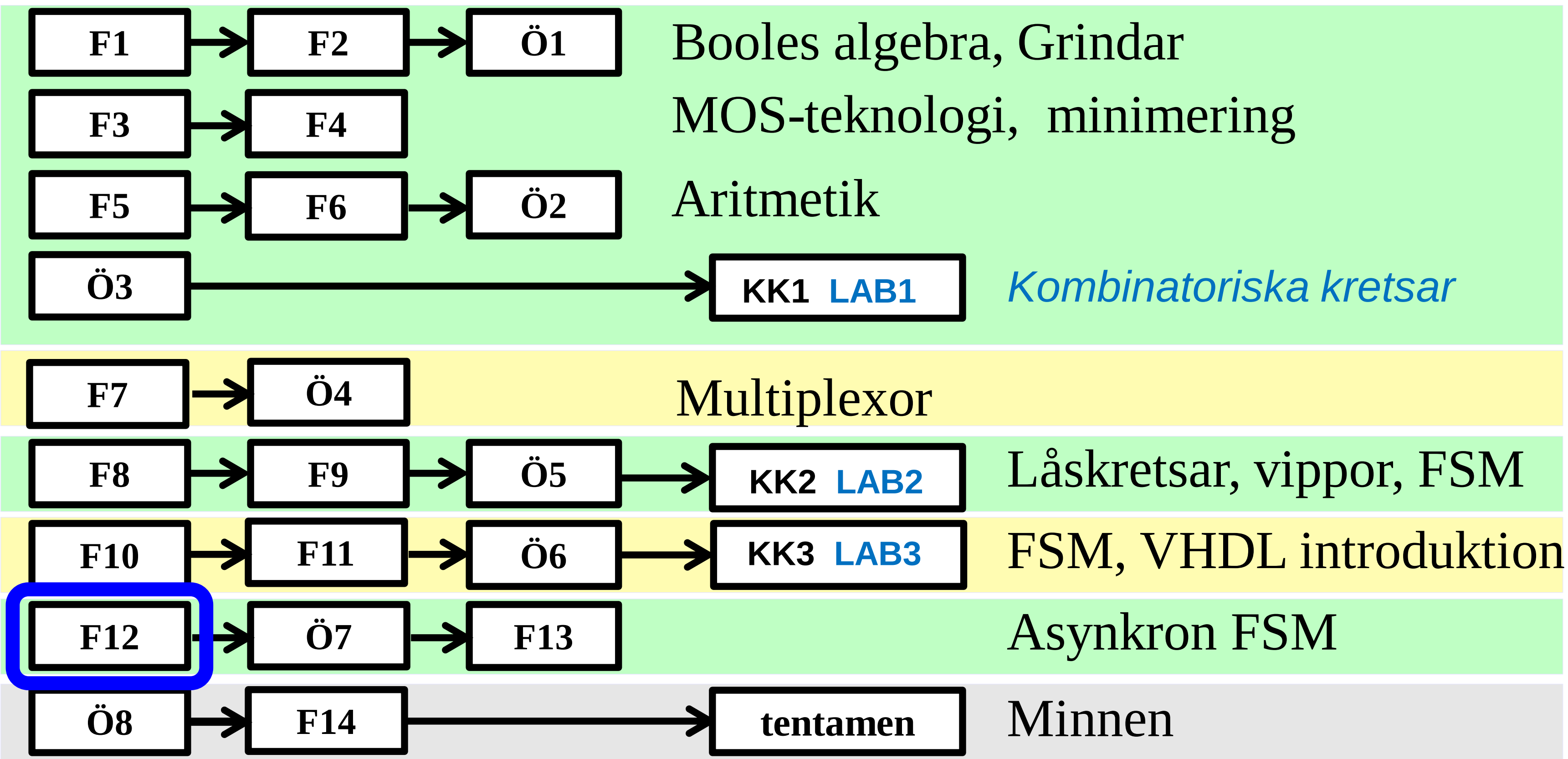
Digital Design IE1204

F12 Asynkrona sekvensnät
del 1

william@kth.se

IE1204 Digital Design



Föreläsningar och övningar bygger på varandra! Ta alltid igen det Du missat!
Läs på i förväg – delta i undervisningen – arbeta igenom materialet efteråt!

Detta har hänt i kursen …

Decimala, hexadecimala, oktala och binära talsystemen
AND OR NOT EXOR EXNOR Sanningstabell, mintermer Maxtermer PS-form Booles algebra SP-form deMorgans lag Bubbelgrindar Fullständig logik NAND NOR
CMOS grindar, standardkretsar Minimering med Karnaugh-diagram 2, 3, 4, 5, 6 variabler
Registeraritmetik tvåkomplementrepresentation av binära tal
Additionskretsar Multiplikationskrets Divisionskrets
Multiplexorer och Shannon dekomposition Dekoder/Demultiplexor Enkoder Prioritetsenkoder Kodomvandlare
VHDL introduktion
Vippor och Låskretsar SR-latch D-latch D-vippa JK-vippa T-vippa Räknare Skiftregister Vippor i VHDL Moore-automat Mealy-automat Tillståndskod Oanvända tillstånd Analys av sekvensnät Tillståndsminimering

Tillståndsmaskiner i VHDL

Asynkrona sekvensmaskiner

- En asynkron sekvensmaskin är en sekvensmaskin *utan vippor*
- Asynkrona sekvensmaskiner bygger på återkopplade kombinatoriska grindnätverk

<u>Vid analys antar man</u>: Endast EN signal i taget i grindnätet kan förändra sitt värde vid någon tidpunkt

Gyllene regeln

Endast EN signal åt gången ändras

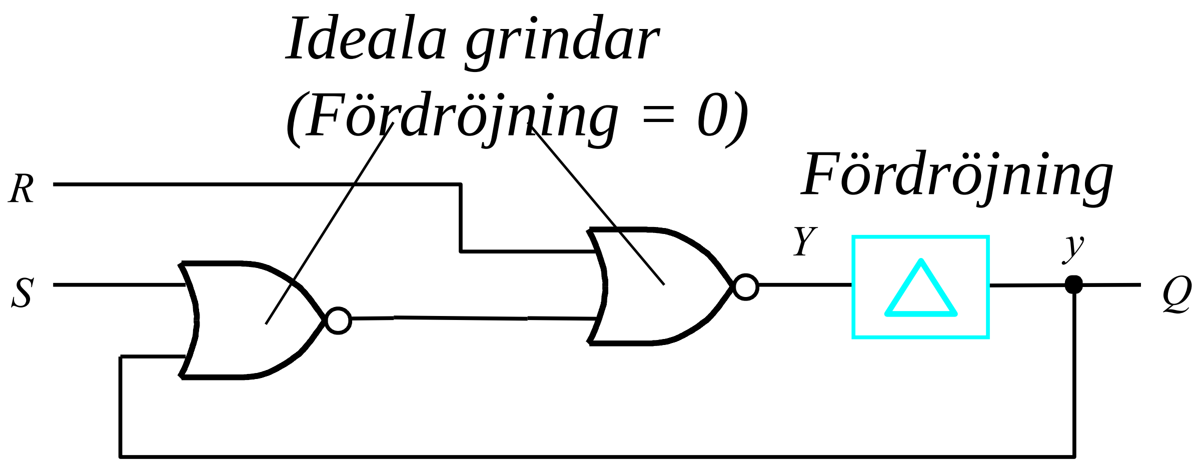
Asynkron tillståndsmaskin

Asynkrona tillståndsmaskiner används då det är nödvändigt att bibehålla ett tillstånd, men då det inte finns någon klocka tillgänglig.

- Alla vippor och latchar är själva asynkrona tillståndsmaskiner
- De är användbara för att synkronisera händelser i situationer där metastabilitet är/kan vara ett problem

SR-latchen med NOR-grindar

För att analyserar beteendet av en asynkron krets så antar man ideala grindar och sammanfattar all fördröjning till ett enda block med fördröjningen **Δ**.

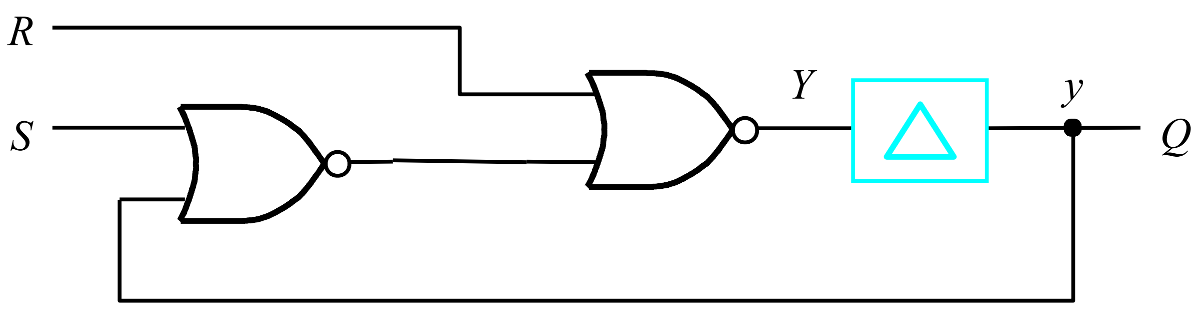


Analys av det asynkrona sekvensnätet

Genom att vi har ett **fördröjningsblock** kan vi betrakta

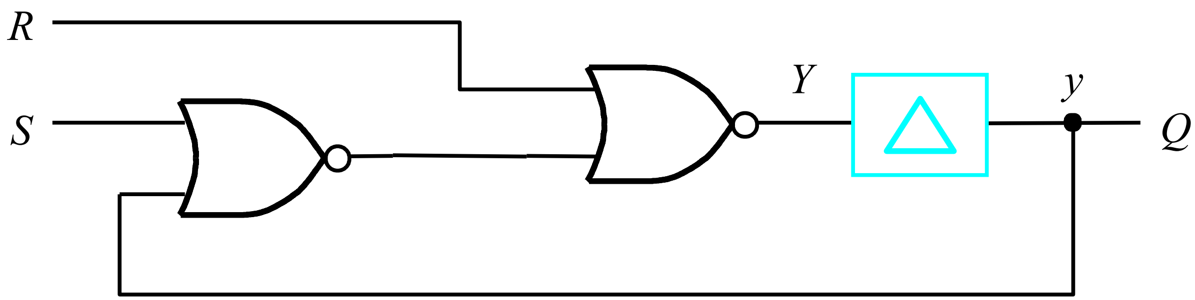
y som nuvarande tillstånd

Y som nästa tillstånd



Tillståndsfunktion

Därmed kan vi ta fram ett funktionssamband hur nästa tillstånd ***Y*** beror på insignalerna ***S*** och ***R*** samt nuvarande tillstånd ***y***



$$Y = \overline{R + \overline{(S + y)}}$$

Tillståndstabell

BV använder binärkodsordning

Från tillståndsfunktion till sanningstabell

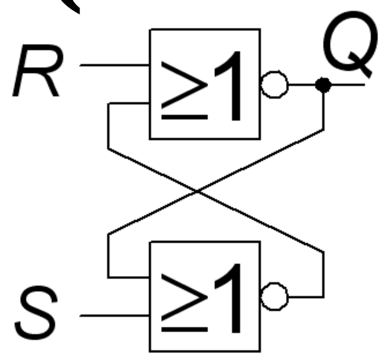
y	S	R	$Y = \overline{R + (\overline{S + y})}$
0	0	0	$0 = \overline{0 + (\overline{0+0})}$
0	0	1	$0 = \overline{1 + (\overline{0+0})}$
0	1	0	$1 = \overline{1 + (\overline{1+0})}$
0	1	1	$0 = \overline{1 + (\overline{1+0})}$
1	0	0	$1 = \overline{0 + (\overline{0+1})}$
1	0	1	$0 = \overline{1 + (\overline{0+1})}$
1	1	0	$1 = \overline{0 + (\overline{1+1})}$
1	1	1	$0 = \overline{1 + (\overline{1+1})}$

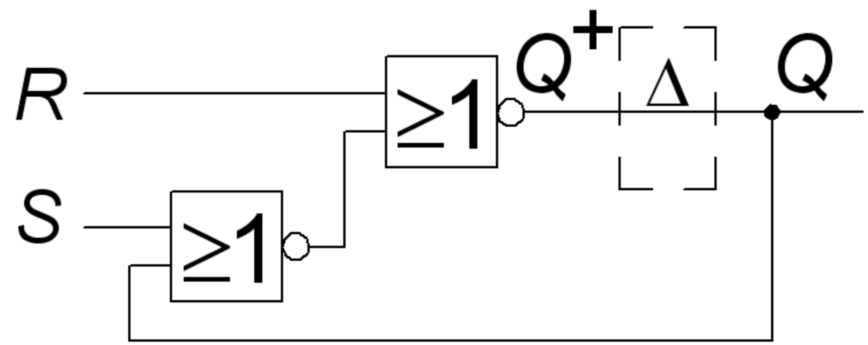
$$Y = \overline{R + (\overline{S + y})}$$

Present state y	*Next state*			
	$SR = 00$	01	10	11
	Y	Y	Y	Y
0	*0*	*0*	*1*	*0*
1	*1*	*0*	*1*	*0*

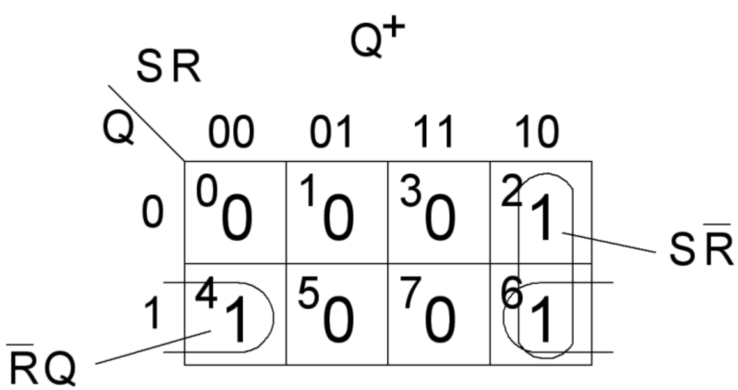
Eller som på övningen – med hjälp av Karnaughdiagram …

(Övningen SR analys)





$$Q^{+} = \overline{R + \overline{S + Q}} = \overline{R} \cdot \overline{\overline{(S + Q)}} = \overline{R} \cdot (S + Q) = S\overline{R} + \overline{R}Q$$



Nuvarande tillstånd *Q*	**Nästa tillstånd *Q*+**			
	Insignaler SR			
	00	01	11	10
0	0	0	0	1
1	1	0	0	1

För binär ordning

Stabila tillstånd

Present state y	Next state $SR = 00$ Y	01 Y	10 Y	11 Y
0	0	0	1	0
1	1	0	1	0

- Eftersom vi inte har vippor utan bara kombinatoriska kretsar kan en tillståndsändring medföra ytterligare tillståndsändringar
- Ett tillstånd är
  - stabilt om $Y(t) = y(t + \Delta)$
  - instabil om $Y(t) \neq y(t + \Delta)$

$\boxed{Y = y}$ stabilt

Exitationstabell

Den asynkrona kodade tillståndstabellen kallas för **Excitationstabell**

De stabila tillstånden

(de med next state = present state) ”ringas in”

Present state y	*Next state* $SR = 00$	01	10	11
	Y	Y	Y	Y
0	0	0	1	0
1	1	0	1	0

$$Y = y$$

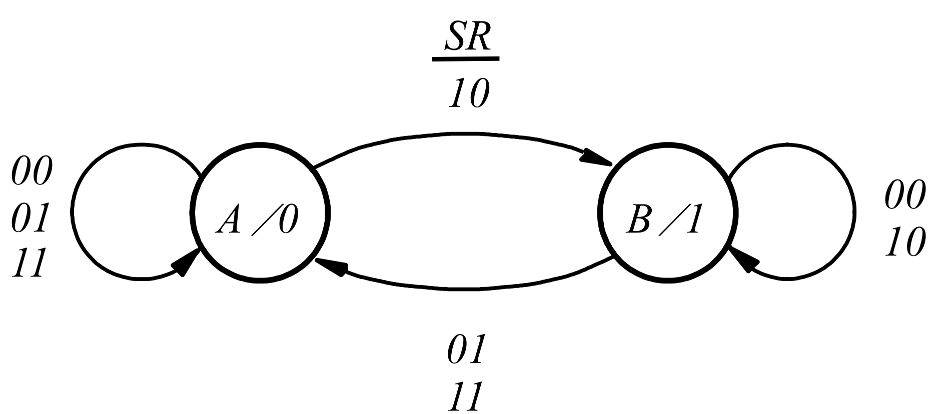
Terminologi

När man arbetar med asynkrona sekvensnät så används det en annan terminologi

- Den asynkrona okodade tillståndstabellen kallas $\boxed{\textbf{flödestabell}}$

Flödestabell och Tillståndsdiagram (Moore)

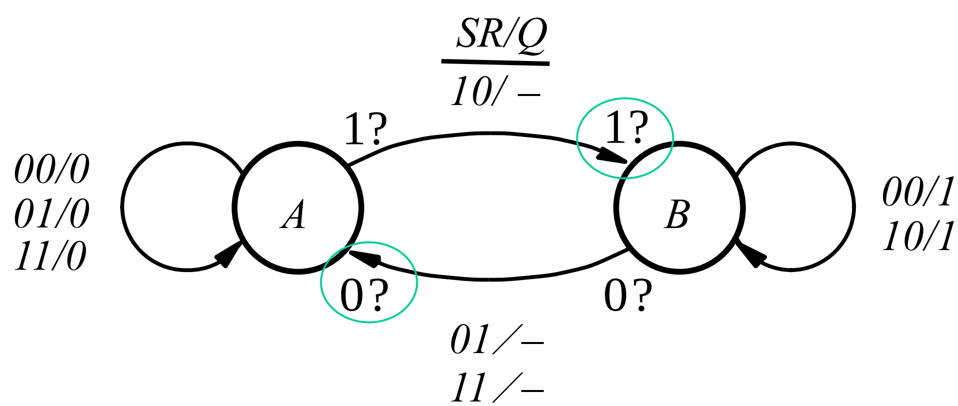
Present state	Next state				Output Q
	SR = 00	01	10	11	
A	A	A	B	A	0
B	B	A	B	A	1



William Sandqvist william@kth.se

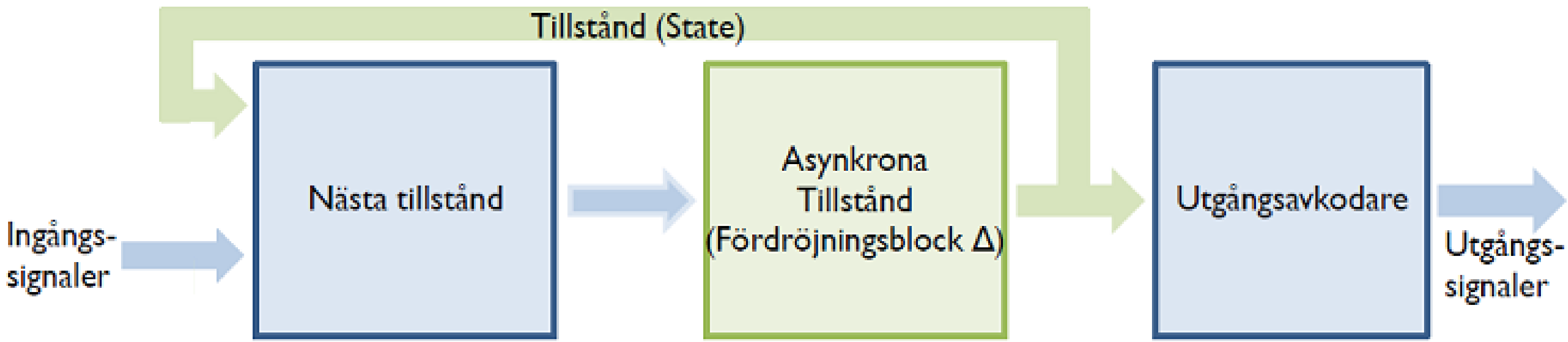
Flödestabell och Tillståndsdiagram (Mealy)

Present state	Next state				Output, Q			
	SR = 00	01	10	11	00	01	10	11
A	*A*	*A*	*B*	*A*	0	0	–	0
B	*B*	*A*	*B*	*A*	1	–	1	–



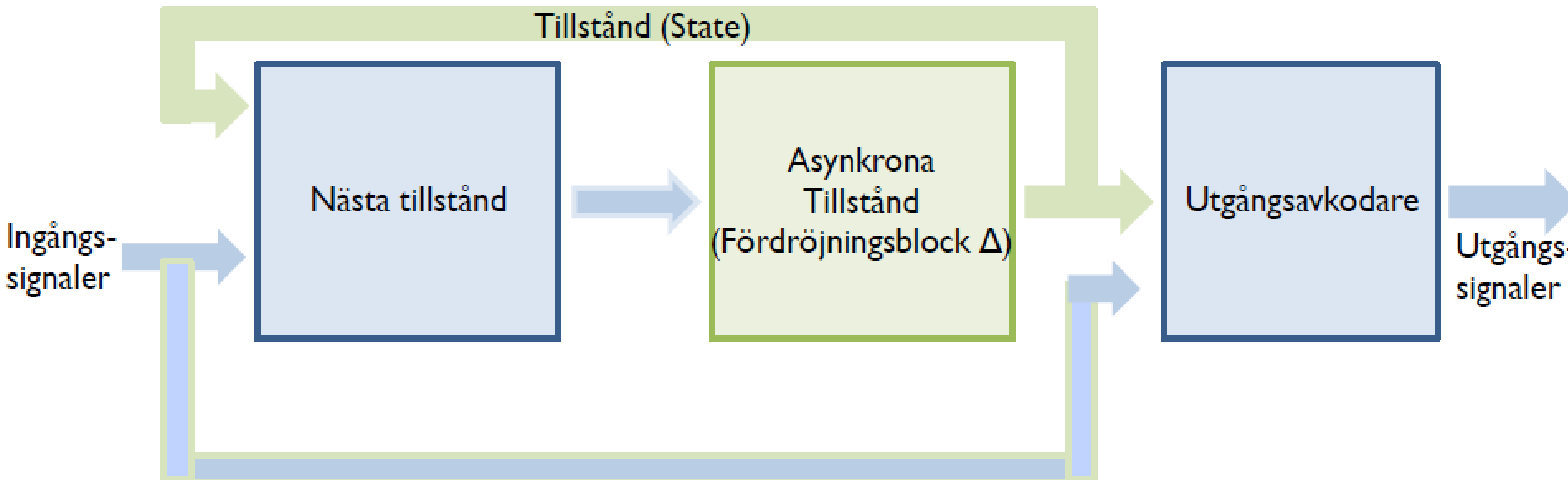
Don’t care (‘-’) har valts för utgångsavkodaren. Det spelar ingen roll om utgången ändras före eller efter tillståndsövergången (= enklare grindnät).

Asynkron Moore kompatibel



- Asynkrona sekvensnät har liknande uppbyggnad som synkrona sekvensnät
- I stället för vippor har man ”fördröjningsblock”

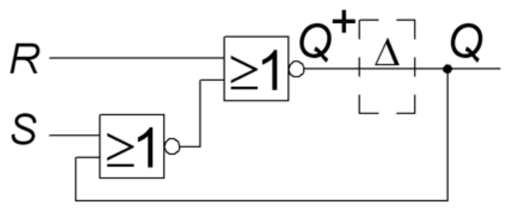
Asynkron Mealy kompatibel

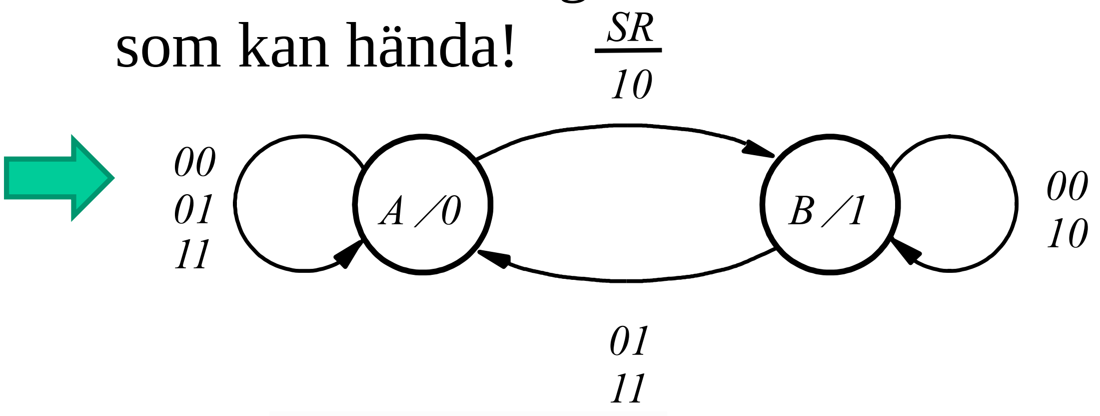


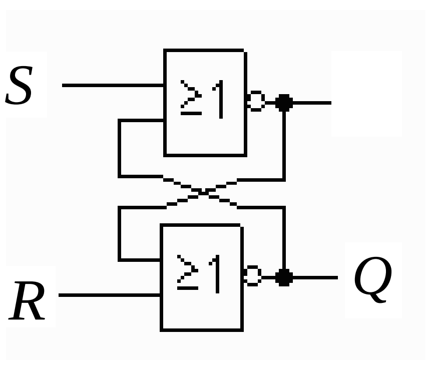
- Asynkrona sekvensnät har liknande uppbyggnad som synkrona sekvensnät
- I stället för vippor har man ”fördröjningsblock”

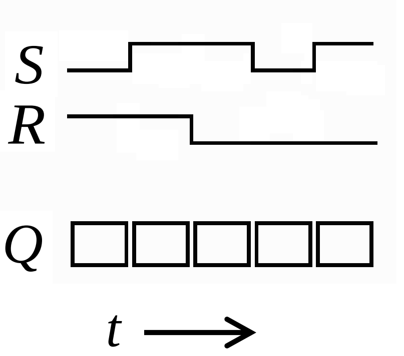
Nu enklare att lösa tidsdiagram!

Med tillståndsdiagrammet vet vi allt som kan hända!



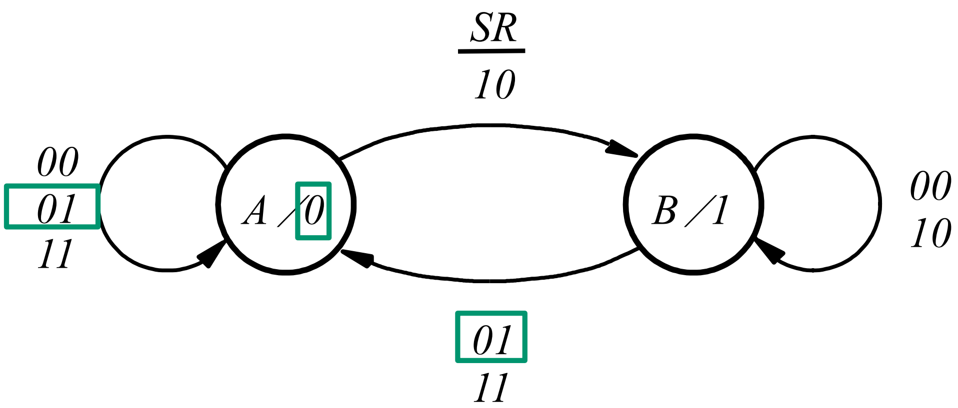


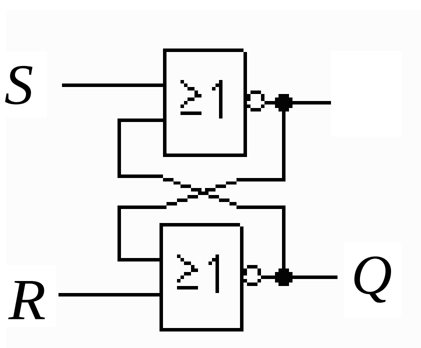


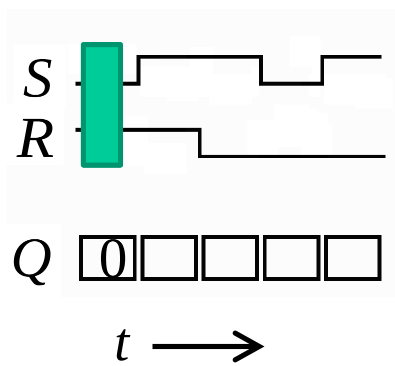


?

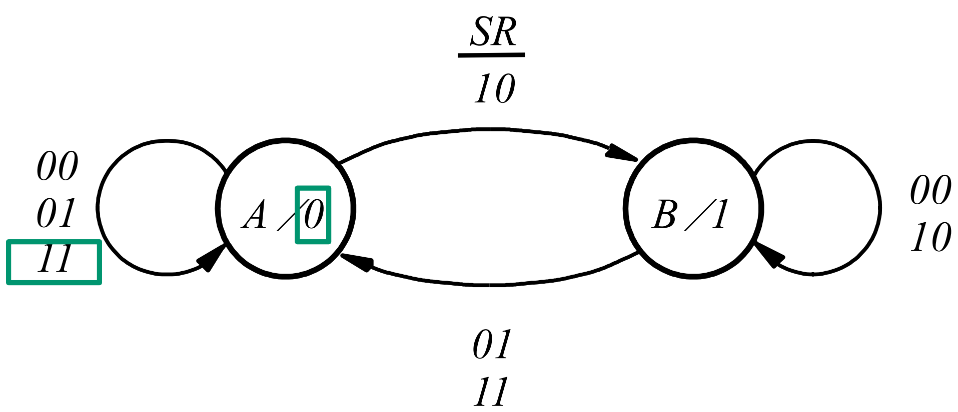
Nu enklare att lösa tidsdiagram!

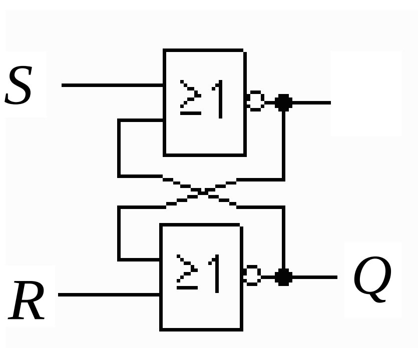


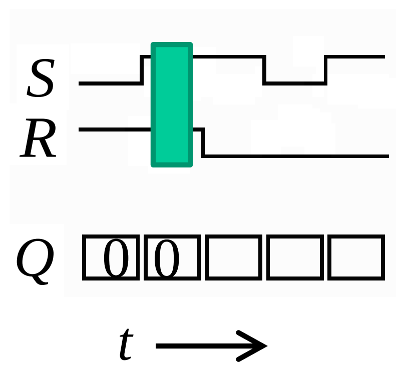




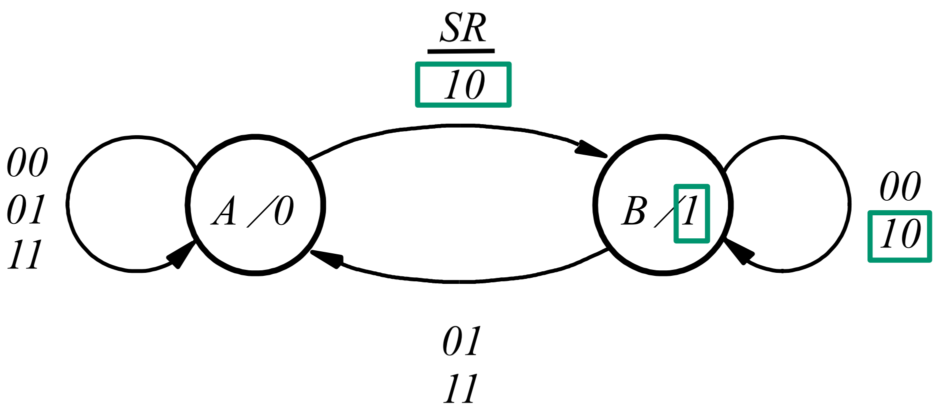
Nu enklare att lösa tidsdiagram!

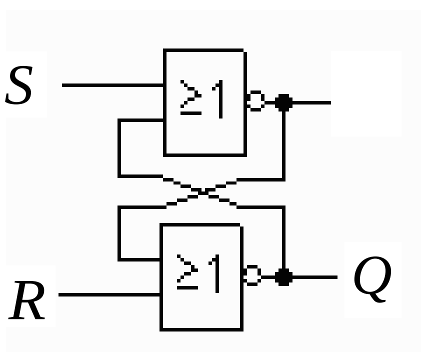


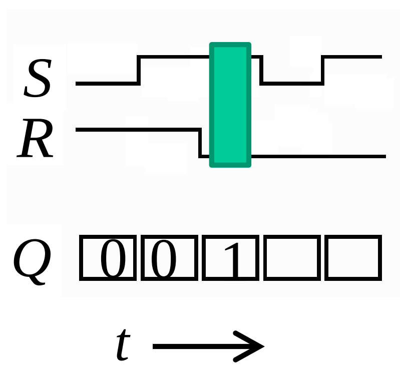




Nu enklare att lösa tidsdiagram!

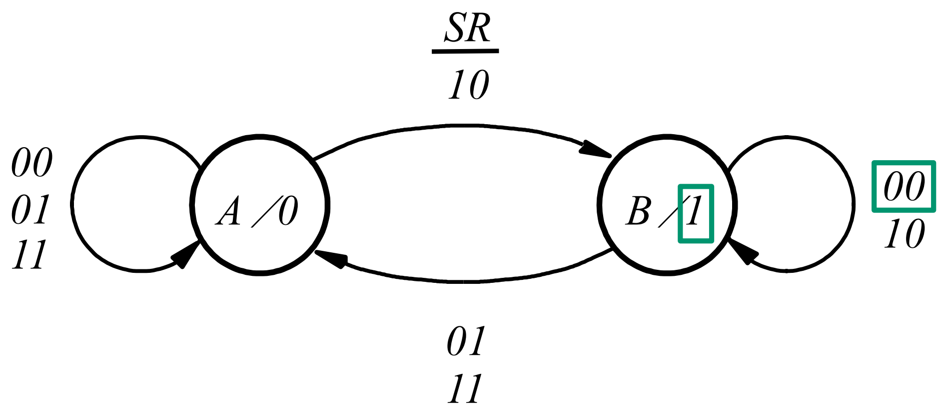


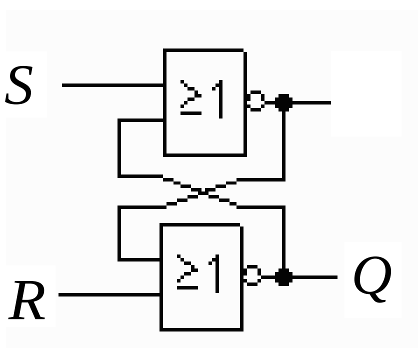


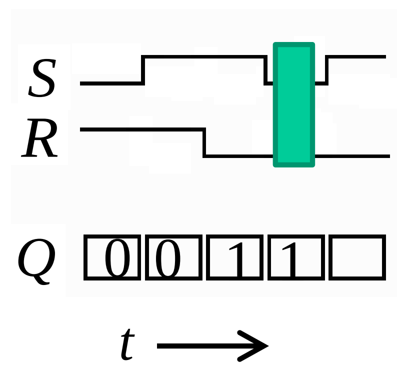


William Sandqvist william@kth.se

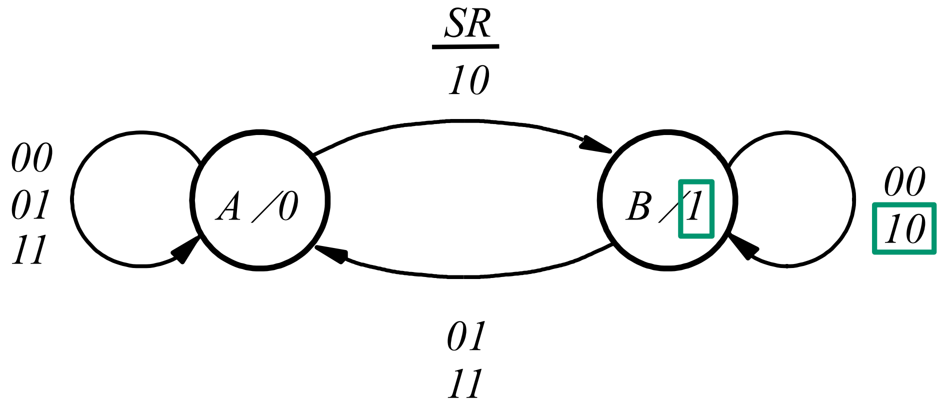
Nu enklare att lösa tidsdiagram!

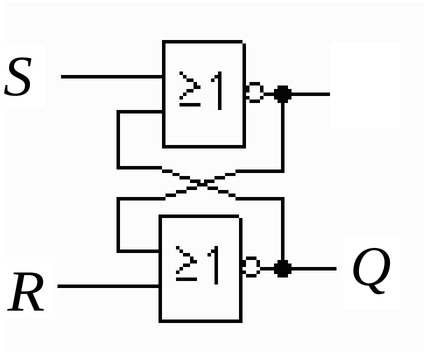


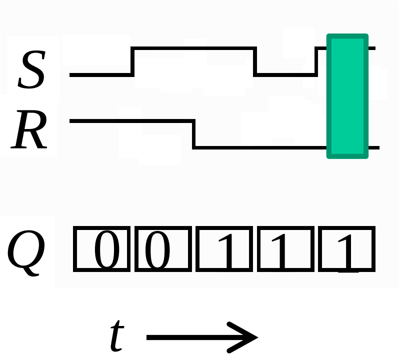




Nu enklare att lösa tidsdiagram!





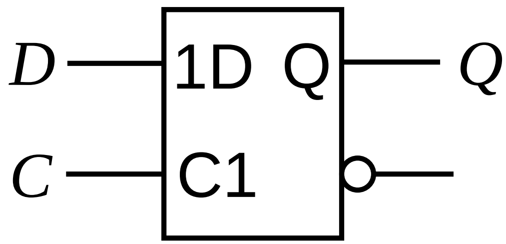


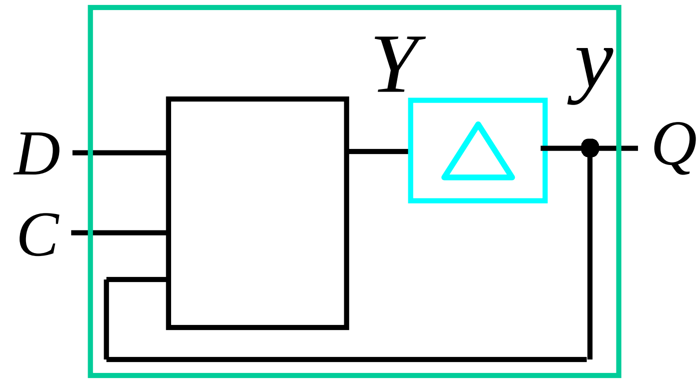
Analys av asynkrona kretsar

Analysen görs i följande steg:

1) Ersätt återkopplingar i kretsen med ett delay-element Δ_i. Insignalen till delay-elementet bildar nästa tillstånd (next state) signalen Y_i, medan utsignalen y_i represen-terar nuvarande tillstånd (present state).
2) Ta reda på next-state och output uttrycken
3) Ställ upp motsvarande **excitationstabell**
4) Skapa en **flödestabell** genom att byta ut kodade tillstånd mot symboliska
5) Rita ett tillståndsdiagram om så behövs

Först: D-latchens tillståndsfunktion





$$C = follow/\overline{latch}$$

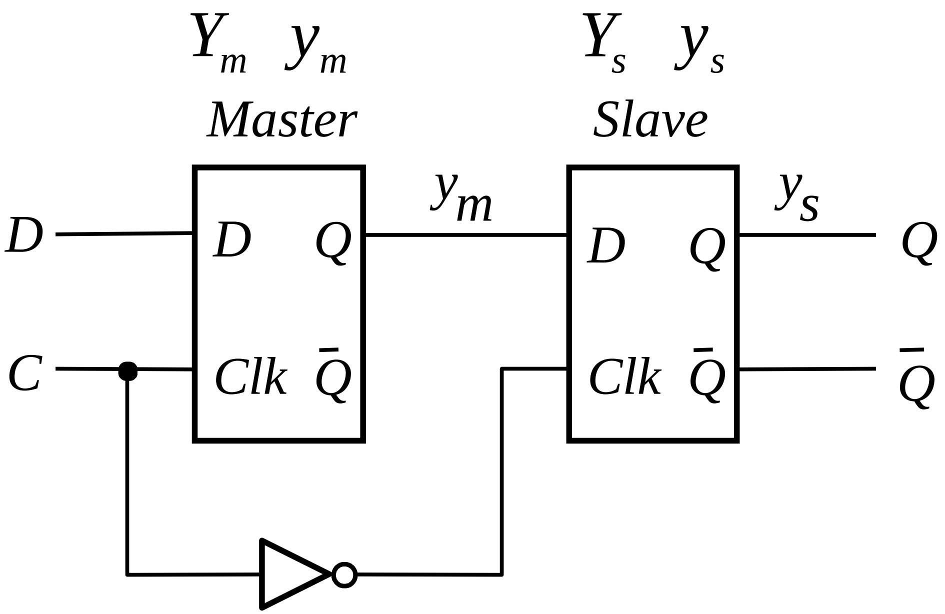
D-latchens tillståndsfunktion. Funktionssambandet mellan nuvarande tillstånd *y* och nästa tillstånd *Y*

$$Y = D \cdot C + y \cdot \overline{C}$$

$$follow \qquad \overline{latch}$$

Exempel: Master-Slave-vippan

*Master-slave D-vippan är konstruerad av **två** asynkrona **D-latchar**.*



Tillstånds-uttryck:

$$Y_m = D \cdot C + y_m \cdot \overline{C}$$

$$Y_s = y_m \cdot \overline{C} + y_s \cdot C$$

Exitationstabell

*Ur uttrycken kan man **direkt** härleda excitations-tabellen (om man nu kan hålla allt i huvudet?)*

$$Y_m = D \cdot C + y_m \cdot \overline{C}$$

$$Y_s = y_m \cdot \overline{C} + y_s \cdot C$$

$\Rightarrow$

Present state $y_m\, y_s$	Next state $Y_m\, Y_s$ CD = 00	01	10	11	Output Q
00	00	00	00	10	0
01	00	00	01	11	1
10	11	11	00	10	0
11	11	11	01	11	1

eller med K-map till hjälp …

Y_m

$y_m y_s$ \ CD	00	01	11	10
00			1	
01			1	
11	1	1	1	
10	1	1	1	

$y_m\overline{C}$ $\quad DC$

Y_s

$y_m y_s$ \ CD	00	01	11	10
00				
01			1	1
11	1	1	1	1
10	1	1		

$y_m\overline{C}$ $\quad y_s C$

$Y_m Y_s$

$y_m y_s$ \ CD	00	01	11	10
00	00	00	10	00
01	00	00	11	01
11	11	11	11	01
10	11	11	10	00

$$Y_m = D\cdot C + y_m\cdot\overline{C} \qquad Y_s = y_m\cdot\overline{C} + y_s\cdot C$$

Present state $y_m\,y_s$	Next state $Y_m\,Y_s$, CD = 00	01	10	11	Output Q
00	00	00	00	10	0
01	00	00	01	11	1
10	11	11	00	10	0
11	11	11	01	11	1

Byt rader och kolumner för att få binärkodsordning som BV

Flödestabell

Vi definierar fyra tillstånd S1, S2, S3, S4 och erhåller då flödestabellen

Present state $y_m\, y_s$	Next state CD = 00	01	10	11	Output Q
	$Y_m\, Y_s$				
00	00	00	00	10	0
01	00	00	01	11	1
10	11	11	00	10	0
11	11	11	01	11	1

Present state	Next state CD = 00	01	10	11	Output Q
S1	S1	S1	S1	S3	0
S2	S1	S1	S2	S4	1
S3	S4	S4	S1	S3	0
S4	S4	S4	S2	S4	1

Flödestabell

***Kom ihåg**: Bara en insignal kan ändras åt gången*

- *Därmed kommer vissa övergångar **aldrig** att kunna inträffa!*

Present state	Next state				Output Q
	CD = 00	01	10	11	
S1	S1	S1	S1	S3	0
S2	S1	S1	S2	S4	1
S3	S4	S4	S1	S3	0
S4	S4	S4	S2	S4	1

Flödestabell – omöjliga övergångar

Present state	Next state CD = 00	01	10	11	Output Q
S1	S1	S1	S1	S3	0
S2	S1	S1	S2	S4	1
S3	~~S4~~	S4	S1	S3	0
S4	S4	S4	S2	S4	1

Tillstånd S3

Enda stabila tillståndet för **S3** är när ingångskombinationen är 11

Bara en ingång kan ändras → möjliga ändringar är 11 → 01, 11 → 10

- Dessa kombinationer lämnar S3!
- Ingångskombinationen 00 i S3 är *inte* möjligt!
- Ingångskombinationen 00 sätts därför till **don't care**!

William Sandqvist william@kth.se

Flödestabell – omöjliga övergångar

Present state	Next state				Output Q
	CD = 00	01	10	11	
S1	S1	S1	S1	S3	0
S2	S1	–	S2	S4	1
S3	–	S4	S1	S3	0
S4	S4	S4	S2	S4	1

Tillstånd S2

Enda stabila tillståndet för **S2** är när ingångskombinationen är 10

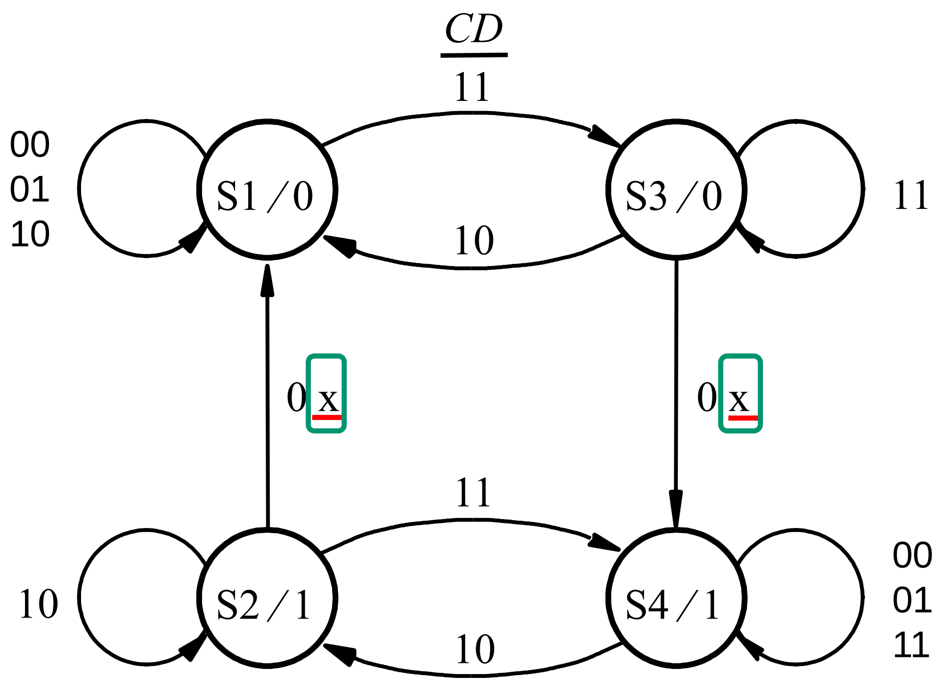
Bara en ingång kan ändras → möjliga ändringar är 10 → 11, 10 → 00

- Dessa kombinationer lämnar S2!
- Ingångskombinationen 01 i S2 är *inte* möjligt!
- Ingångskombinationen 01 sätts därför till **don't care**!

D-vippans tillståndsdiagram

Present state	Next state CD = 00	01	10	11	Output Q
S1	S1	S1	S1	S3	0
S2	S1	–	S2	S4	1
S3	–	S4	S1	S3	0
S4	S4	S4	S2	S4	1

Don't care betecknas här med x



Don't care kan användas för att förenkla kretsens nästa tillståndsavkodning.

Syntes av asynkrona kretsar

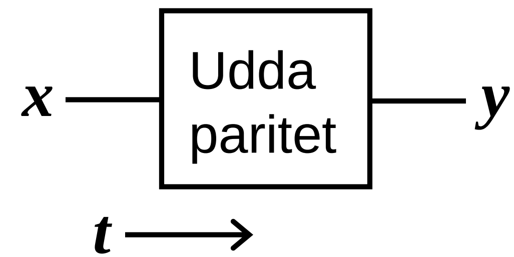
Syntesen genomförs i följande steg:

1) Skapa ett tillståndsdiagram enligt funktionsbeskrivningen
2) Skapa en flödestabell och reducera antalet tillstånd om möjligt
3) Tilldela koder till tillstånden och skapa excitationstabellen
4) Ta fram uttryck (överföringsfunktioner) för nästa tillstånd samt utgångar
5) Konstruera en krets som implementerar ovanstående uttryck

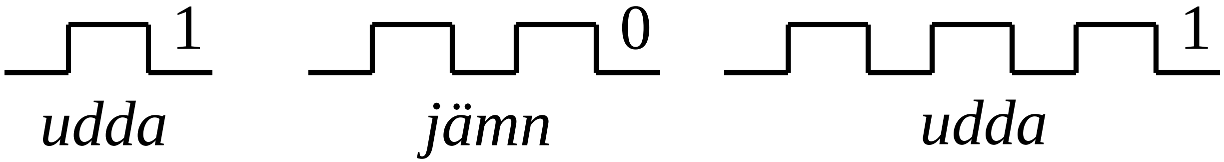
Exempel: seriell paritetskrets

Ingång ***x*** Utgång ***y***

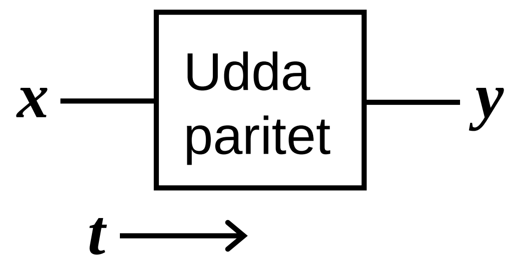
y = 1 om antalet pulser på ingången ***x*** har varit udda.

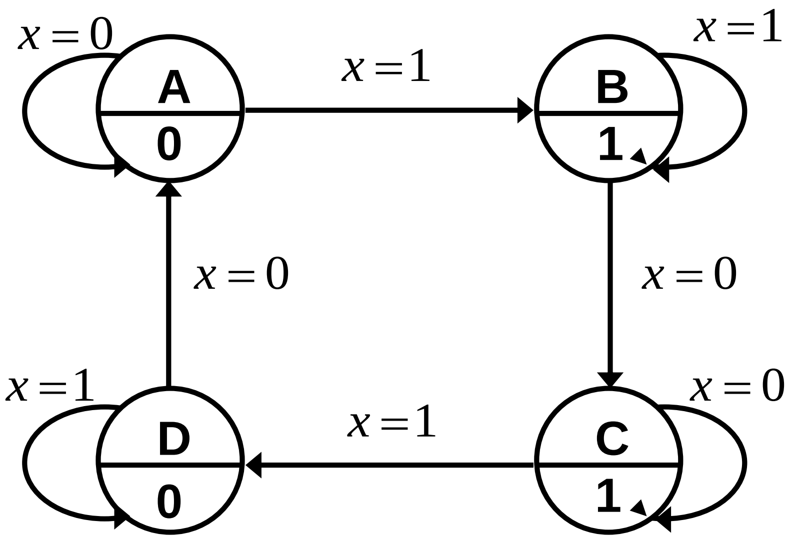


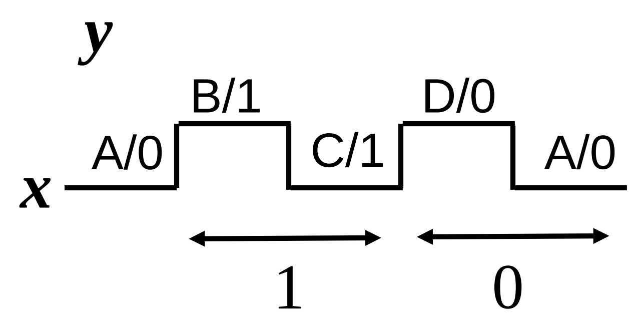
Med andra ord en "varannangång" krets …



Skapa tillståndsdiagram

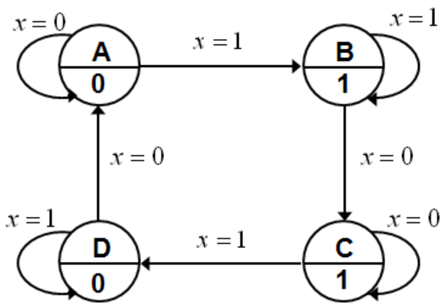


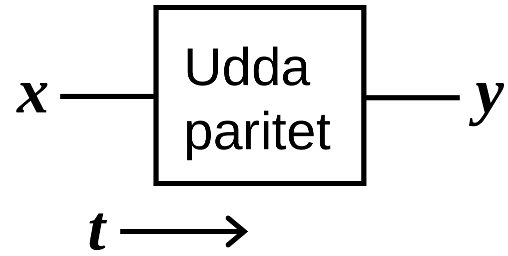




William Sandqvist william@kth.se

Skapa flödestabellen





Pres state	Next State		Q
	X=0	1	
A	A	B	0
B	C	B	1
C	C	D	1
D	A	D	0

Vad är bra tillståndskod?

00, 01, 10, 11 - binärkod?

Pres state y_2y_1	Next State Y_2Y_1 X=0	1	Q
00	00	01	0
01	10	01	1
10	10	11	1
11	00	11	0

Dålig kodning (HD=2!)

- *Antag*

$X = 1 \;\; Y_2Y_1 = 11$

- *därefter*

$X \rightarrow 0 \rightarrow Y_2Y_1 = 00?$

$11 \rightarrow 10!$

$11 \rightarrow 01 \rightarrow 10! \quad ? \rightarrow 00$

Vi når aldrig 00?

Vad är bra tillståndskod?

00, 01, 11, 10 - graykod

- *Antag*

$X = 1 \;\; Y_2Y_1 = 10$

- *därefter*

$X \to 0 \to Y_2Y_1 = 00$

$10 \to 00$

Pres state	Next State		Q
	X=0	1	
y_2y_1	Y_2Y_1		
00	00	01	0
01	11	01	1
11	11	10	1
10	00	10	0

Bra kodning (HD=1)

Tillståndskodning

Richard Hamming

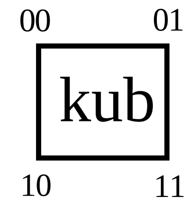
- I asynkrona sekvensnät är det omöjligt att garantera att två **tillståndsvariabler** ändrar värdet samtidigt
  - Därmed kan en övergång 00 → 11 resultera i
    - en övergång 00 → 01 → ???
    - en övergång 00 → 10 → ???
- För att säkerställa funktionen **<u>MÅSTE</u>** alla tillståndsövergångar ha ***Hamming distansen* 1**
  - Hamming distansen är antalet bitar som skiljer sig i två binära tal
    - Hamming distansen mellan 00 och 11 är 2
    - Hamming distansen mellan 00 och 01 är 1

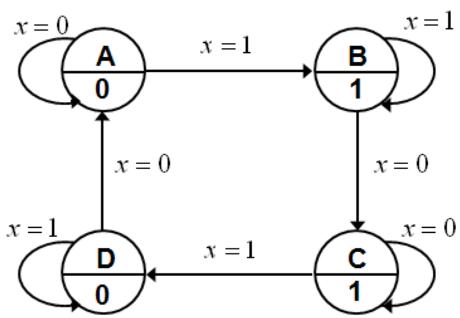
Bra tillståndskodning

- Procedur för att erhålla bra koder:
  1) Rita transitionsdiagram längs kanterna i **hyperkuber** (Graykod) som bildas av koderna
  2) Ta bort eventuella *korsande linjer* genom att
     a) byta plats på två närliggande noder
     b) utnyttja tillgängliga icke använda koder (utnyttja *instabila tillstånd*)
     c) introducera *fler dimensioner* i hyperkuben

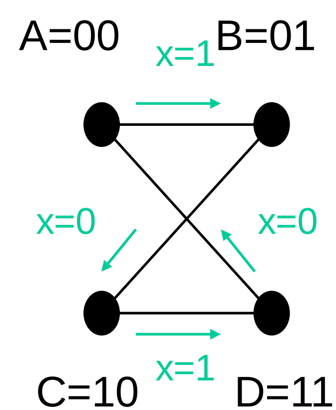
Dålig kodning av paritetskretsen

Den dåliga tillståndskodningen





Pres state y_2y_1	Next State Y_2Y_1 X=0	1	Q
A 00	00	01	0
B 01	10	01	1
C 10	10	11	1
D 11	00	11	0

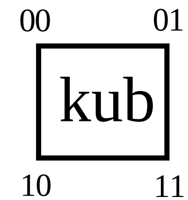


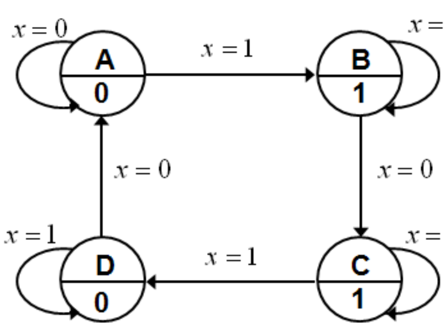
Dålig kodning –
Hamming Distance = 2
(**korsande linjer**)

William Sandqvist william@kth.se

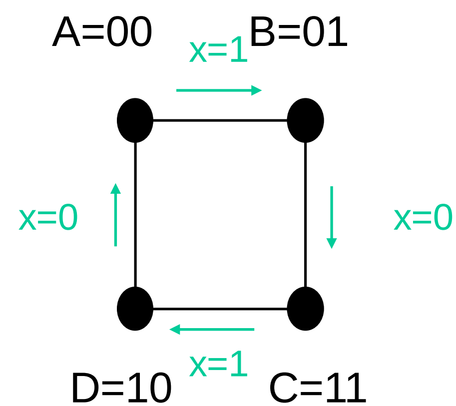
Bra kodning av paritetskretsen

Den bra tillståndskodningen



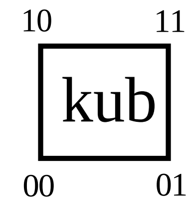


Pres state	Next State		Q
	X=0	1	
y_2y_1	Y_2Y_1		
A 00	00	01	0
B 01	11	01	1
C 11	11	10	1
D 10	00	10	0



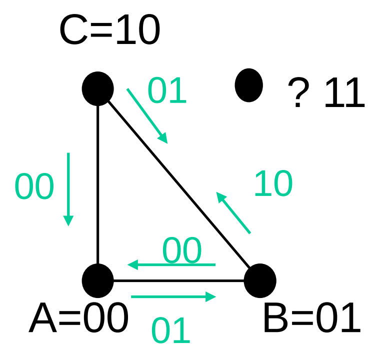
Bra kodning
Hamming Distance = 1
(**inga korsande linjer**)

Problem med icke stabila tillstånd



Ex. en annan krets:

Present state	Next state $r_2 r_1$ = 00	01	10	11	Output $g_2 g_1$
A 00	A	B	C	–	00
B 01	A	B	C	B	01
C 10	A	B	C	C	10

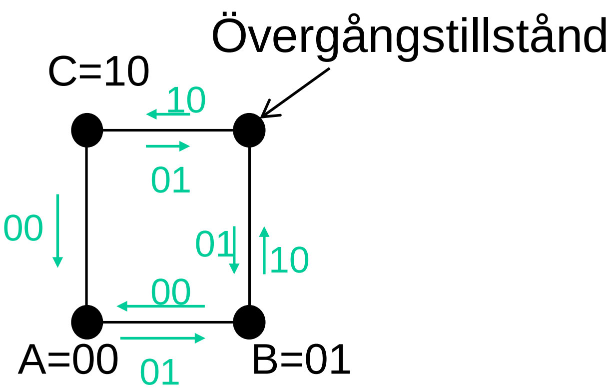


Dålig kodning

Vid övergången från **B** till **C** (eller **C** till **B**) är Hamming distansen 2 (10↔01)!
Risk att man fastnar i ett **ospecificerat** tillstånd (med kod 11)!

Lösning på icke stabila tillstånd

- Lösning: Införandet av ett övergångstillstånd som säkerställa att man inte hamnar i ett odefinierat läge!



Bra kodning

	Present state y_2y_1	Next state r_2r_1 = 00	01	11	10	Output g_2g_1
		Y_2Y_1				
A	00	00	01	–	10	00
B	01	00	01	01	11	01
-	11	–	01	–	10	--
C	10	00	11	10	10	10

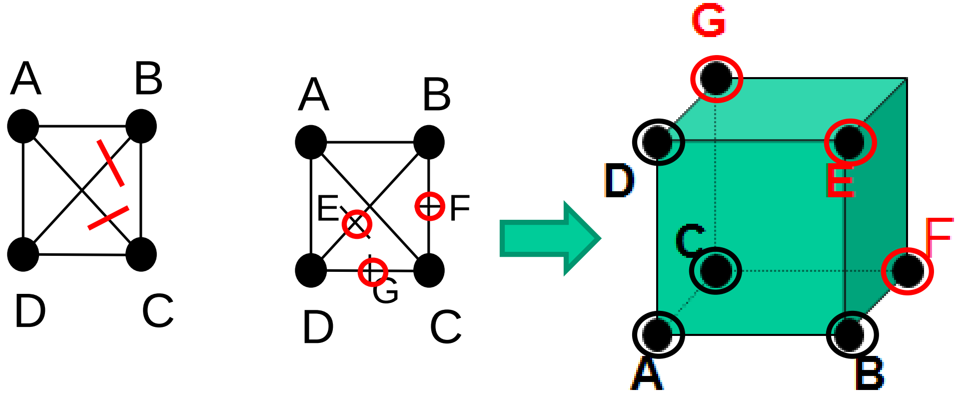
Begära ”efter-sändning”

$$01 \rightarrow 11 \rightarrow 10$$
$$10 \rightarrow 11 \rightarrow 01$$

övergångstillstånd

Extra tillstånd – fler dimensioner

- Man kan öka antalet dimensioner för att kunna införa säkra tillståndsövergångar

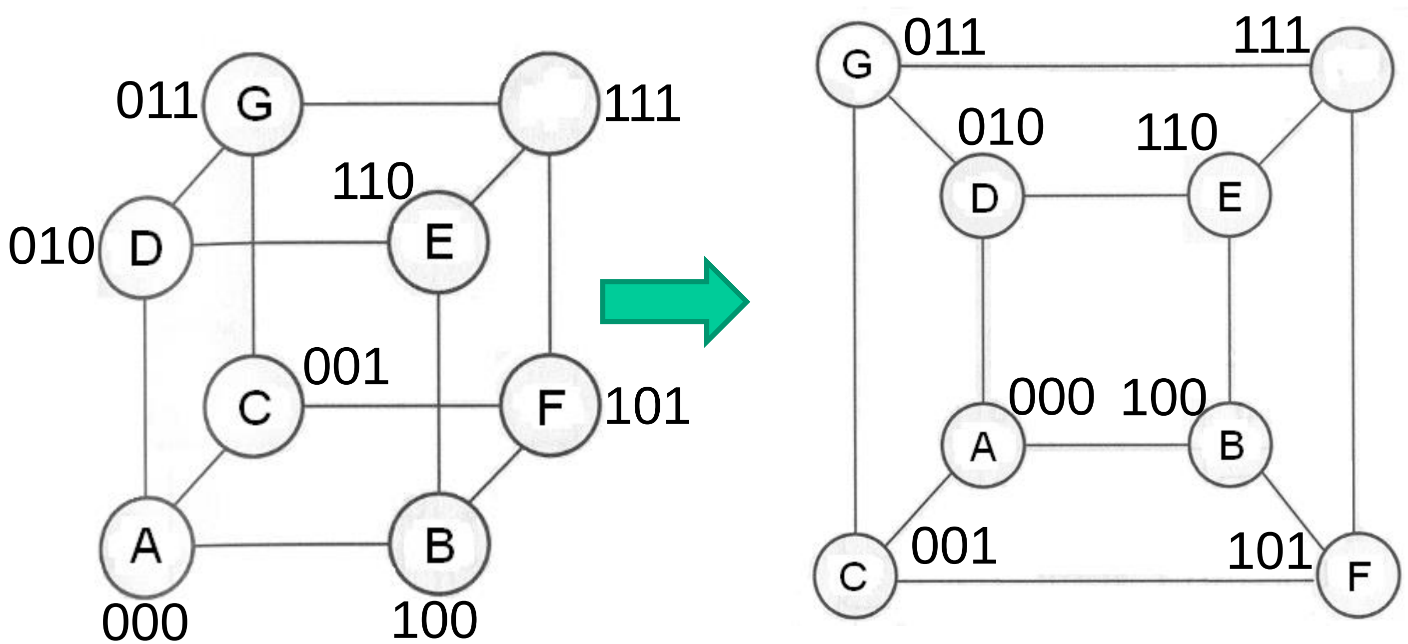


Använd lediga tillstånd som övergångstillstånd (”eftersändning”).
B→D : B→E→D

• Om det inte på något sätt går att rita om diagrammet till HD=1 får man lägga till fler tillstånd genom att lägga till extra dimensioner. Man tar då närmsta större **hyperkub** och drar övergångarna genom tillgängliga icke stabila tillstånd (”eftersändning”). **B→D : B→E→D.**

Extra tillstånd – fler dimensioner

- Det är enklare att rita en ”platt” 3D-kub (perspektivet då rakt framifrån)



Karnaughdiagrammen

Pres state y_2y_1	Next State Y_2Y_1 X=0	1	Q
00	00	01	0
01	11	01	1
11	11	10	1
10	00	10	0

x \ y_2y_1	00	01	11	10
0	0	1	1	0
1	0	0	1	1

$$Y_2 = \bar{x}y_1 + \boxed{y_2y_1} + xy_2$$

x \ y_2y_1	00	01	11	10
0	0	1	1	0
1	1	1	0	0

$$Y_1 = x\bar{y}_2 + \boxed{\bar{y}_2y_1} + \bar{x}y_1$$

y_2 \ y_1	0	1
0	0	1
1	0	1

$$Q = y_1$$

De röda inringningarna är för att undvika Hazard (se senare avsnitt)!

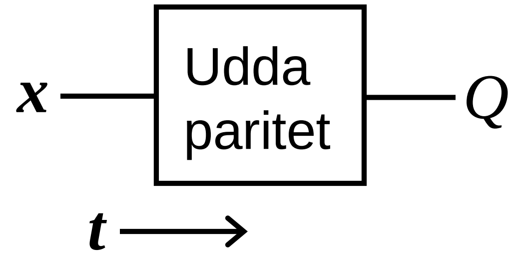
Färdig krets

x \ y_2y_1	00	01	11	10
0	0	1	1	0
1	0	0	1	1

$$Y_2 = \bar{x}y_1 + y_2y_1 + xy_2$$

y_2 \ y_1	0	1
0	0	1
1	0	1

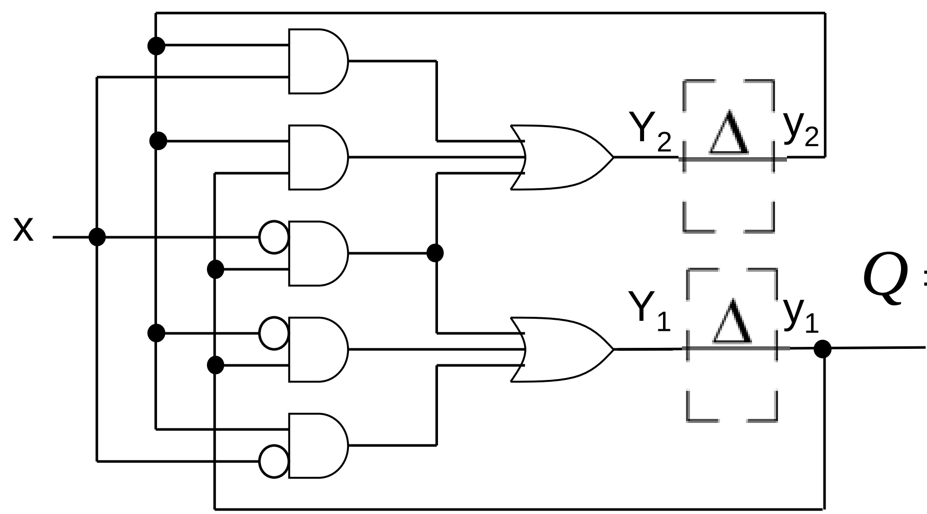
$$Q = y_1$$



x \ y_2y_1	00	01	11	10
0	0	1	1	0
1	1	1	0	0

$$Y_1 = x\bar{y}_2 + \bar{y}_2y_1 + \bar{x}y_1$$

$$Y_2 = \bar{x}y_1 + y_2y_1 + xy_2$$

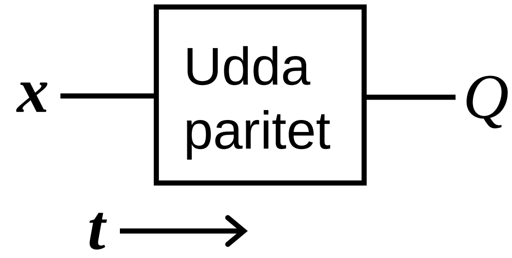


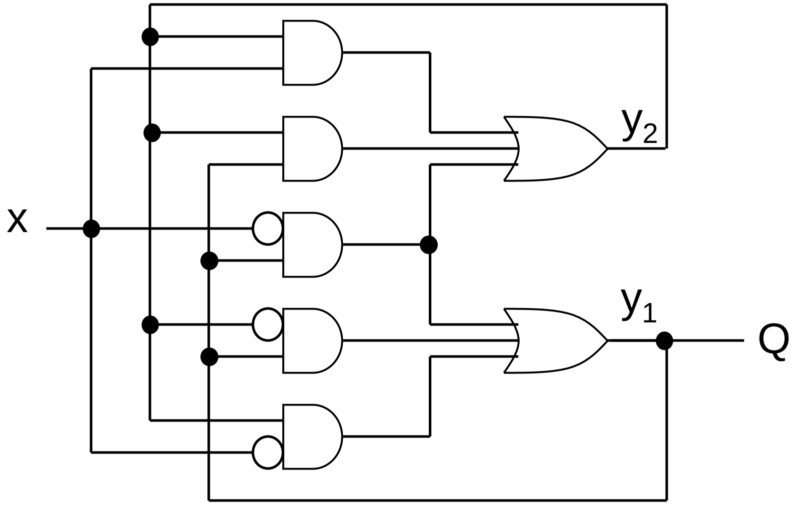
$$Q = y_1$$

$$Y_1 = x\bar{y}_2 + \bar{y}_2y_1 + \bar{x}y_1$$

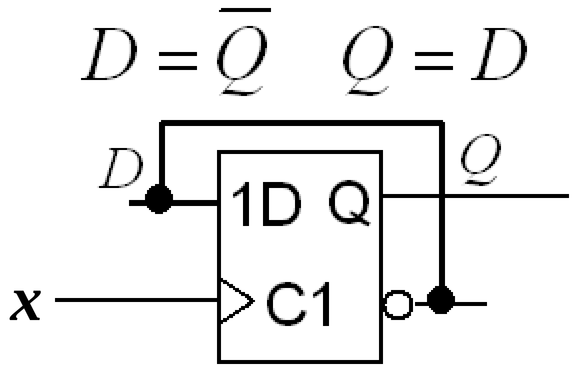
William Sandqvist william@kth.se

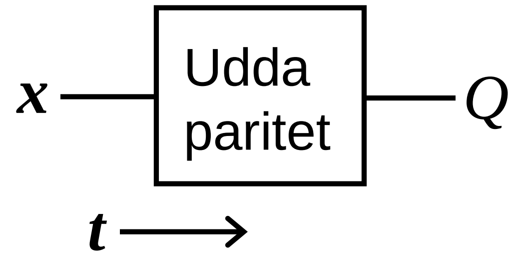
Färdig krets





(enklare med D-vippa)



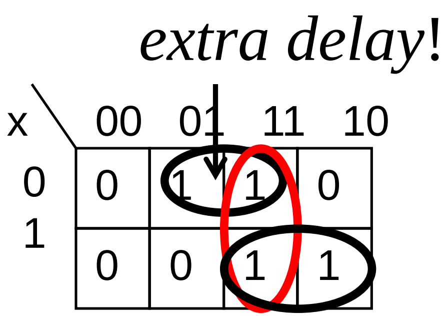


Vi har gjort en ”varannangångkrets” tidigare i kursen.
Då med en D-vippa. Men nu blev det ju mera ”sport”!

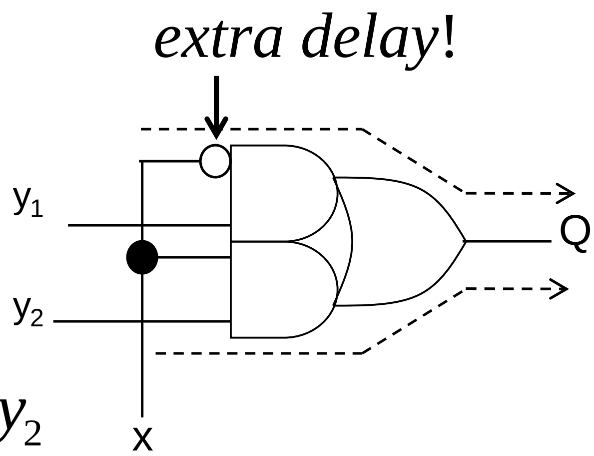
Vad är Hazard?

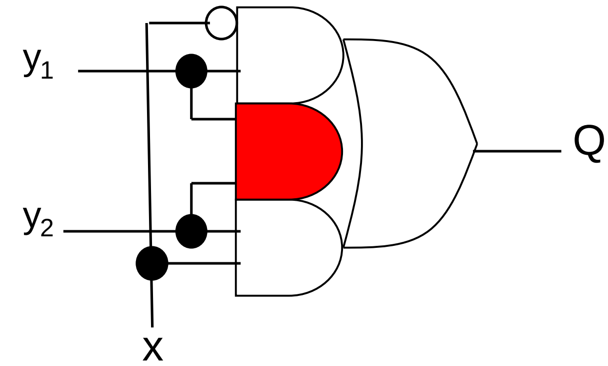
- Hazard är ett begrepp som innebär att det finns en fara för att utgångsvärdet inte är stabilt, utan att det kan blinka till vid vissa ingångskombinationer.
- Hazard uppkommer om det är olika långt från olika ingångar till en utgång, signal-kapplöpning.
- För att motverka detta måste man lägga till prim-implikanter för att täcka upp den farliga övergången.

Exempel på Hazard – MUX:en



$$Y_2 = \bar{x}y_1 + \boxed{y_2 y_1} + xy_2$$





Vid övergång från xy_2y_1=(111) $\rightarrow$ (011) kan utgången *Q* ***blinka till***, eftersom vägen från *x* till *Q* är längre via den övre AND-grinden än den lägre (kapplöpning).

MER OM HAZARD I NÄSTA FÖRELÄSNING!

Tillståndsminimering

Asynkrona statemaskiner har många ”ospecifierade” positioner i flödestabellen som man kan utnyttja för att minimera antalet tillstånd.

Sannolikheten för att färre tillstånd leder till en enklare realisering är **hög** ***när det gäller asynkrona nät!***

Tillståndsminimering

Två steg:

Ekvivalens – ekvivalenta tillstånd. Samma steg som vid tillståndsminimering av synkrona sekvensnät, full flexibilitet finns kvar.

Spara ospecifi-cerade tillstånd!

Kompatibilitet – kompatibla tillstånd blir olika för Moore-kompatibel eller Mealy-kompatibel realisering, de val man nu gör påverkar den fortsatta flexibiliteten.

Använd ospecificerade tillstånd!

Tillståndsminimering

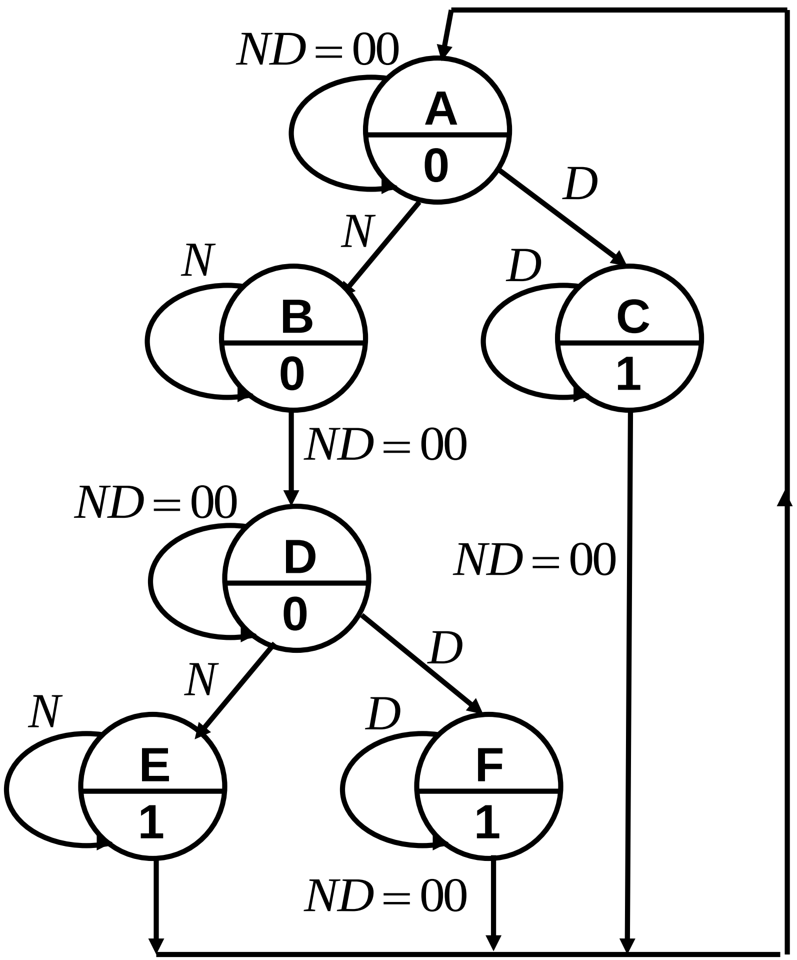
- **Procedur för minimering av antalet tillstånd**

1. Bilda **ekvivalensgrupper**.
   För att vara i samma grupp ska följande gälla:
   - Utgångar måste ha samma värde
   - Stabila tillstånd måste finnas på samma plats (kolumn)
   - Don’t cares för next state måste finnas på samma plats (kolumn)
2. Minimera ekvivalensgrupperna (state-reduktion)
3. Bilda **sammanslagningsdiagram**, olika för Mealy eller för Moore.
4. Slå ihop kompatibla tillstånd i grupper. Minimera samtidigt antalet grupper. Varje tillstånd får endast ingå i en grupp.
5. Konstruera den reducerade flödestabellen genom att slå samman raderna i de valda grupperna
6. Repetera steg 3-5 för att se om fler minimeringar kan göras

Godisautomat (BV sid 610)

- Godismaskinen har två ingångar:
  - ***N***: Nickel (5 cent)
  - ***D***: Dime (10 cent)
- En godisbit kostar 10 cent
- Maskinen returnerar inga pengar om det finns 15 cent i automaten (en godisbit returneras)
- Utgången ***z*** är aktiv när det finns tillräckligt med pengar för en godisbit

Tillståndsdiagram, Flödestabell



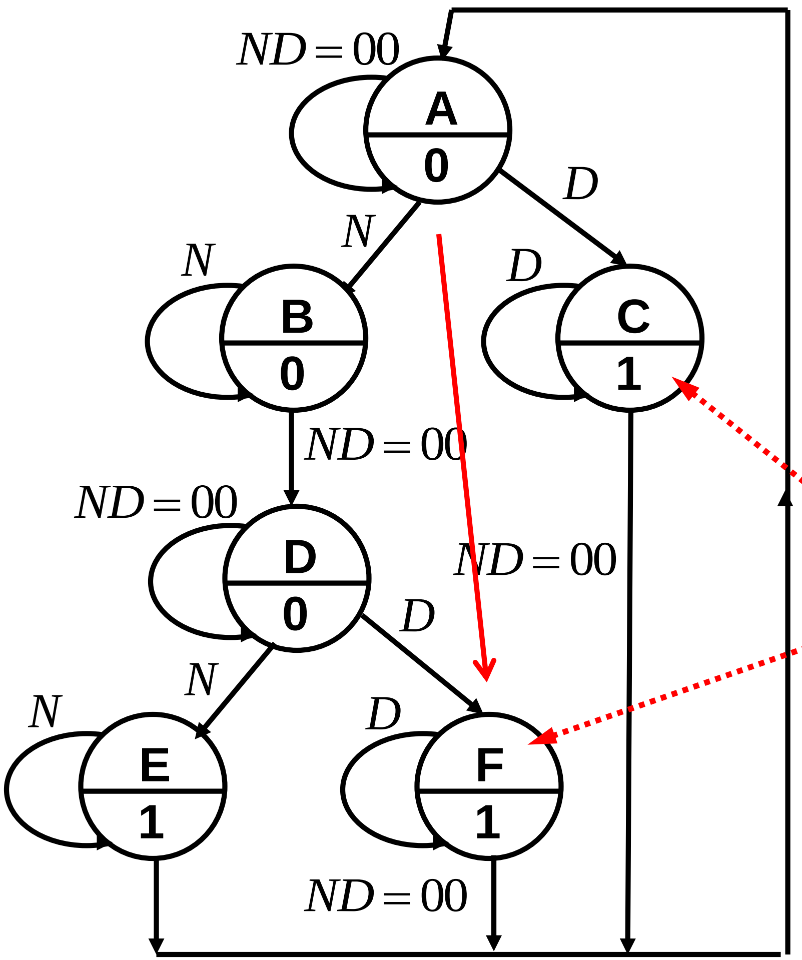
- *Inga ”dubbeländringar” av insignalerna!*
- *Två mynt går inte att stoppa i samtidigt!*

Pres state	Next State X=00	01	10	11	Q
A	A	B	C	-	0
B	D	B	$\boxed{-}$	-	0
C	A	$\boxed{-}$	C	-	1
D	D	E	F	-	0
E	A	E	$\boxed{-}$	-	1
F	A	$\boxed{-}$	F	-	1

(X = ND, Q = z)

En flödestabell som endast innehåller ett stabilt tillstånd per rad kallas för en ***primitiv flödestabell***.

Tillståndsminimering



Tillståndsminimering innebär att **två** tillstånd kan vara ekvivalenta, och i så fall ersättas av **ett** tillstånd för att förenkla tillståndsdiagrammet, och nätet.

Man kan lätt inse att tillstånd **C** och **F** kommer att kunna ersättas med **ett** tillstånd eftersom godis *alltid* ska matas ut efter en Dime oavsett tidigare tillstånd.

Bilda/minimera ekvivalensgrupper

1. **Bilda ekvivalensgrupper. För att vara i samma grupp ska följande gäller:**
   - Utgångar måste ha samma värde
   - Stabila tillstånd måste finnas på samma plats (kolumn)
   - Don’t cares för next state måste finnas på samma plats (kolumn)
2. **Minimera ekvivalensgrupperna (state reduction).**

• Ekvivalensgrupper

Pres state	Next State X=00	01	10	11	Q
A	A	B	C	-	0
B	D	B	-	-	0
C	A	-	C	-	1
D	D	E	F	-	0
E	A	E	-	-	1
F	A	-	F	-	1

(X = ND, Q = z)

Tillstånden delas i block efter utsignal.
ABD har utsignal **0**, **CEF** har utsignal **1**.
P_1 = (ABD)(CEF)

Stabila tillstånd måste finnas för samma insignal (kolumn), don't care måste finnas för samma kolumn.

AD har stabilt tillstånd för 00. **B** har stabilt för 01. **CF** har stabilt tillstånd för 10. **E** har stabilt för 01. **AD** och **CF** har don't care för motsvarande insignaler.

P_2 = (AD)(B)(CF)(E)

Slå ihop ekvivalensgrupper

*Två rader kan "slås ihop" om det **inte** innebär någon **konflikt** för deras efterföljartillstånd*

Pres state	Next State X=00	01	10	11	Q
A	A	B	C	-	0
B	D	B	-	-	0
C	A	-	C	-	1
D	D	E	F	-	0
E	A	E	-	-	1
F	A	-	F	-	1

(X = ND, Q = z)

P_2=(AD)(B)(CF)(E)
P_3=(A)(D)(B)(C)(E)
P_4=P_3.

Raderna **C** och **F** kan slås ihop med ny samlingsbeteckning **C**, medan **A** och **D** som har efterföljare i olika grupper *inte* kan slås ihop.

$C,F_{00} \rightarrow$ (**A**D), (**A**D)
$C,F_{01} \rightarrow$ -, -
$C,F_{10} \rightarrow$ (**C**F), (**C**F)
$C,F_{11} \rightarrow$ -, -

$A,D_{00} \rightarrow$ (**A**D), (A**D**)
$A,D_{01} \rightarrow$ (B),(E)
$A,D_{10} \rightarrow$ (**C**F), (**C**F)
$A,D_{11} \rightarrow$ -, -

Resulterande flödestabell

Pres state	Next State X=00	01	10	11	Q
A	A	B	C	-	0
B	D	B	-	-	0
C	A	-	C	-	1
D	D	E	C	-	0
E	A	E	-	-	1

• Kompatibilitetsgrupper

3. Bilda sammanslagningsdiagram ***antingen*** för **Mealy** eller **Moore**
4. Slå ihop kompatibla tillstånd i grupper. Minimera samtidigt antalet grupper. Varje tillstånd får endast ingå i en grupp.
5. Konstruera den reducerade flödestabellen genom att slå samman raderna i de valda grupperna
6. Repetera steg 3-5 för att se om fler minimeringar kan göras

Sammanslagningsregler

- **Två tillstånd är ”kompatibla” och kan slås ihop om följande gäller**
  1. åtminstone ***ett*** av följande villkor gäller för alla ingångskombinationer
     - både S_i och S_j har samma följdtillstånd, eller
     - både S_i och S_j är stabila, eller
     - följdtillståndet av S_i eller S_j eller båda är ospecifierade
  2. Sedan gäller följande om man vill konstruera en Moore-kompatibel automat
     - både S_i och S_j har samma **utgångsvärde** (gäller ju inte när man konstruerar en Mealy-kompatibel automat)

Sammanslagningsdiagram

Resulterande flödestabell

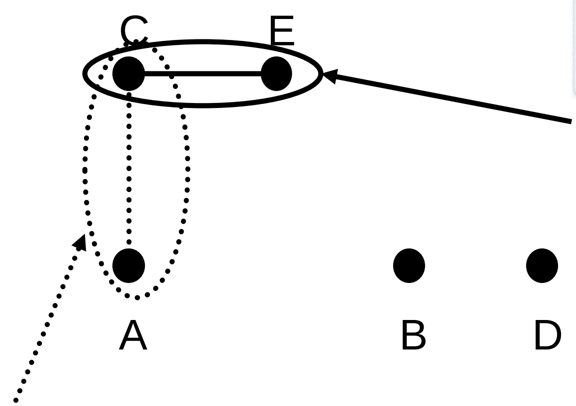
Pres state	Next State X=00	01	10	11	Q
A	A	B	C	-	0
B	D	B	-	-	0
C	A	-	C	-	1
D	D	E	C	-	0
E	A	E	-	-	1

Varje rad blir en punkt i kompatibilitetsgrafen.

- *När det finns flera möjligheter …*

Kompatibilitetsgraf

Använd ospecificerade tillstånd!



Moore-kompatibla

C(1): A-**C**-
E(1): A**E**--

Mealy-kompatibla: I tillstånd **A** (X = 00) är utgången 0, i tillstånd **C** är utgången 1

C(1): A-**C**-
A(0): **A**BC-

Ett illustrativt exempel (BV 9.8)

Primitiv flödestabell

Pres state	Next State X=00	01	10	11	Q
A	A	F	C	-	0
B	A	B	-	H	1
C	G	-	C	D	0
D	-	F	-	D	1
E	G	-	E	D	1
F	-	F	-	K	0
G	G	B	J	-	0
H	-	L	E	H	1
J	G	-	J	-	0
K	-	B	E	K	1
L	A	L	-	K	1

- **Ekvivalensklasser**

Samma utsignal, samma position för stabilt tillstånd och för don't care tillstånd (AG) (BL) (HK)

P$_1$= (AG)(BL)(C)(D)(E)(F)(HK)(J)

Följdtillstånd: A, G är *inte* ekvivalenta

$A,G_{00} \rightarrow$ (**A**G), (A**G**) $A,G_{01} \rightarrow$ (**F**),(**B**L)
$A,G_{10} \rightarrow$ (**C**),(**J**) $A,G_{11} \rightarrow$ -, -

$B,L_{00} \rightarrow$ (**A**G), (**A**G) $B,L_{01} \rightarrow$ (**B**L), (B**L**)
$B,L_{10} \rightarrow$ -, - $B,L_{11} \rightarrow$ (**H**K), (H**K**)

$H,K_{00} \rightarrow$ -, - $H,K_{01} \rightarrow$ (B**L**), (**B**L)
$H,K_{10} \rightarrow$ (**E**), (**E**) $H,K_{11} \rightarrow$ (**H**K), (H**K**)

P$_2$= (A)(G)$\boxed{\text{(BL)}}$(C)(D)(E)(F)$\boxed{\text{(HK)}}$(J) **P**$_3$=P$_2$

Ett illustrativt exempel (BV 9.8)

Ekvivalens-klasser

Primitiv flödestabell

Pres state	Next State X=00	01	10	11	Q
A	A	F	C	-	0
B	A	B	-	H	1
C	G	-	C	D	0
D	-	F	-	D	1
E	G	-	E	D	1
F	-	F	-	K	0
G	G	B	J	-	0
H	-	L	E	H	1
J	G	-	J	-	0
K	-	B	E	K	1
L	A	L	-	K	1

P$_1$= (AG)(BL)(C)(D)(E)(F)(HK)(J)
P$_2$= (A)(G)(**BL**)(C)(D)(E)(F)(**HK**)(J)
P$_3$=P$_2$

B för (**BL**)
H för (**HK**)

Inga ospecifierade tillstånd har ***ännu*** *utnyttjats!*

Reducerad flödestabell

Pres state	Next State X=00	01	10	11	Q
A	A	F	C	-	0
B	A	B	-	H	1
C	G	-	C	D	0
D	-	F	-	D	1
E	G	-	E	D	1
F	-	F	-	H	0
G	G	B	J	-	0
H	-	B	E	H	1
J	G	-	J	-	0

William Sandqvist william@kth.se

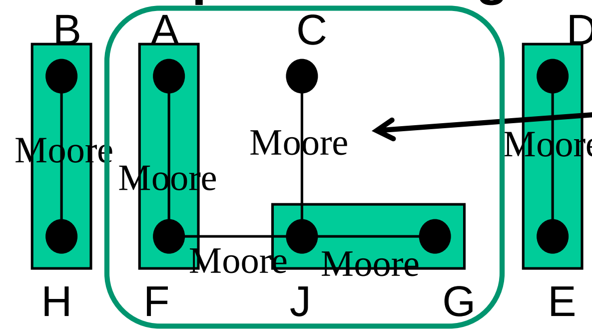
Ett illustrativt exempel …

- **Kompatibilitet**

Reducerad flödestabell

Pres state	Next State X=00	01	10	11	Q
A	A	F	C	-	0
B	A	B	-	H	1
C	G	-	C	D	0
D	-	F	-	D	1
E	G	-	E	D	1
F	-	F	-	H	0
G	G	B	J	-	0
H	-	B	E	H	1
J	G	-	J	-	0

Kompatibilitets-graf



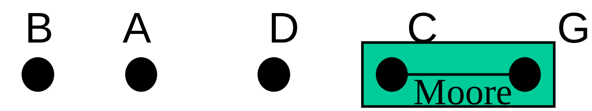
Olika val är tänkbara

Pres state	Next State X=00	01	10	11	Q
A	A	A	C	B	0
B	A	B	D	B	1
C	G	-	C	D	0
D	G	A	D	D	1
G	G	B	G	-	0

Nya beteckningar **B (BH)**, **A (AF)**, **G (JG)**, **D (DE)**

Ett illustrativt exempel …

Ny Kompatibilitets-graf



Mer reducerad flödestabell

Pres state	Next State X=00	01	10	11	Q
A	A	A	C	B	0
B	A	B	D	B	1
C	G	-	C	D	0
D	G	A	D	D	1
G	G	B	G	-	0

Slutlig flödestabell

Pres state	Next State X=00	01	10	11	Q
A	A	A	C	B	0
B	A	B	D	B	1
C	C	B	C	D	0
D	C	A	D	D	1

Ny beteckning **C** för (**CG**)

Nu har alla ospecificerade tillstånd utnyttjats!

Sammanfattning

- **Asynkrona tillståndsmaskiner**
  - Bygger på analys av återkopplade kombinatoriska nät
  - Alla vippor och latchar är asynkrona tillståndsmaskiner
- **En liknande teori som för synkrona tillståndsmaskiner kan appliceras**
  - Bara en ingång eller tillståndsvariabel kan ändras åt gången!
  - Man får även ta hänsyn till kapplöpningsproblem