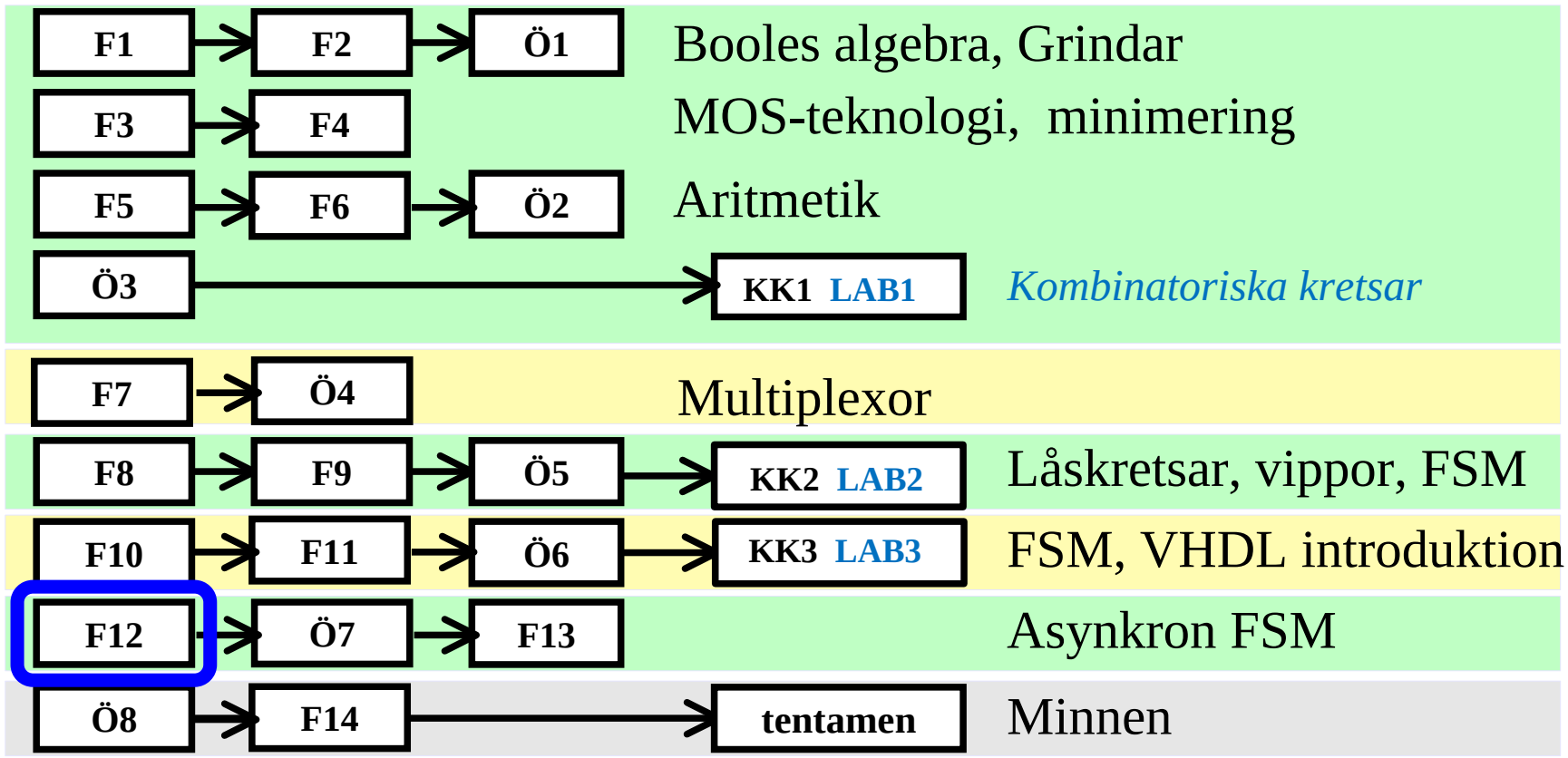
Digital Design IE1204

Kursomgång för Högskoleingenjörsinriktningarna: **Datateknik**, **Elektronik och Datorteknik**.
Kandidatinriktningen: **Informations- och Kommunikationsteknik**

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!

William Sandqvist william@kth.se

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

William Sandqvist william@kth.se

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

William Sandqvist william@kth.se

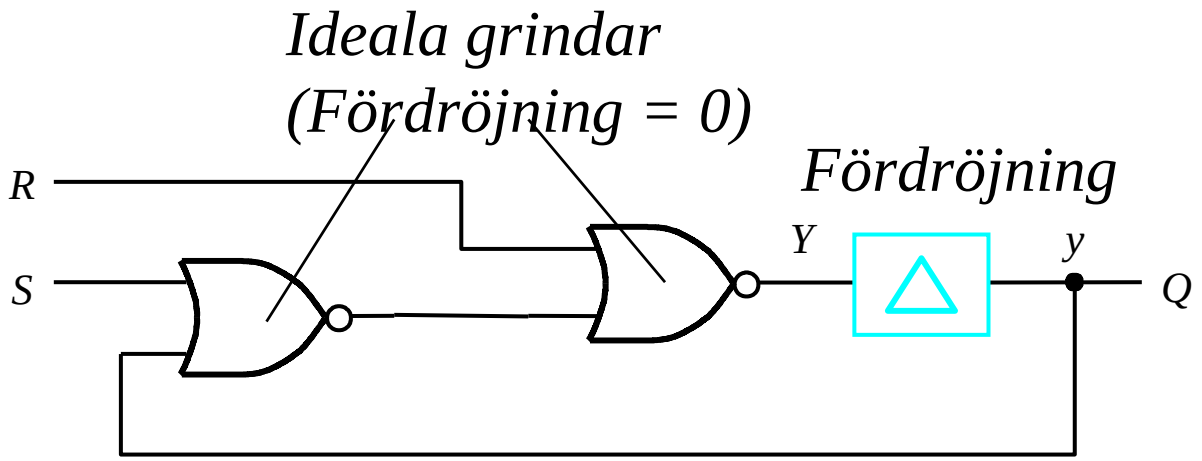
Asynkron tillståndsmaskin

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**.



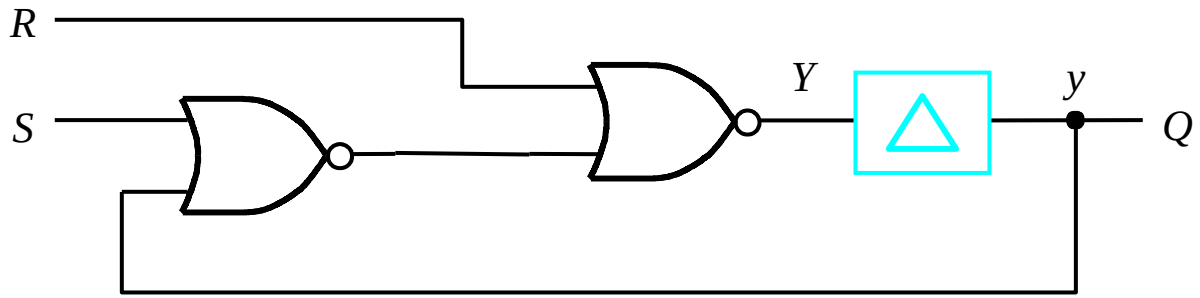
William Sandqvist william@kth.se

Analys av det asynkrona sekvensnätet

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

y som nuvarande tillstånd

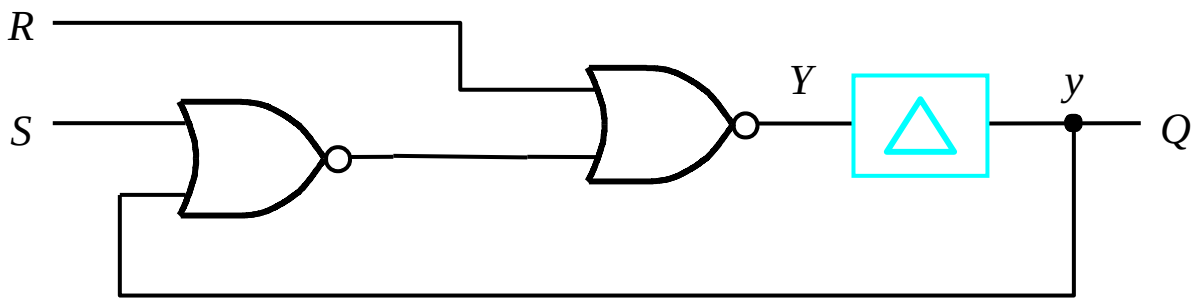
Y som nästa tillstånd



William Sandqvist william@kth.se

Tillståndsfunktion

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



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

William Sandqvist william@kth.se

Tillståndstabell

BV använder binärkodsordning

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

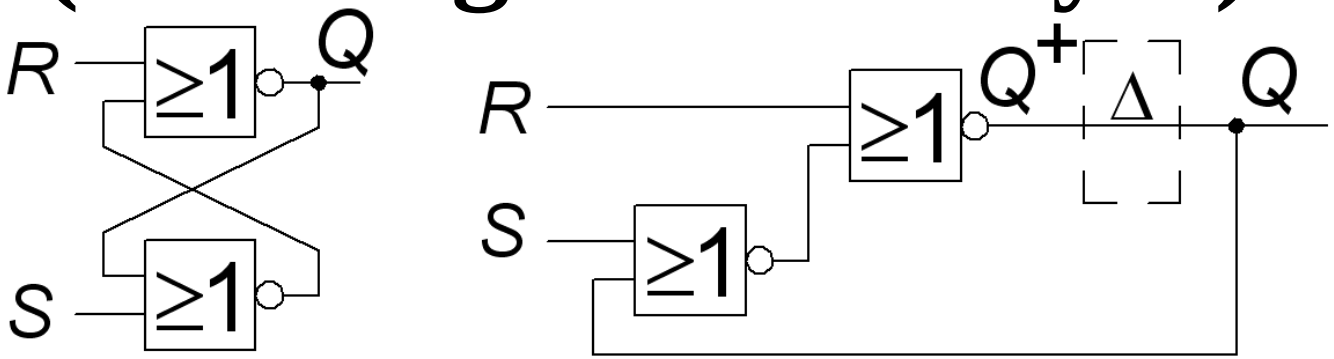
Från tillståndsfunktion till sanningstabell

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	$0 = \overline{1 + \overline{(1 + 1)}}$

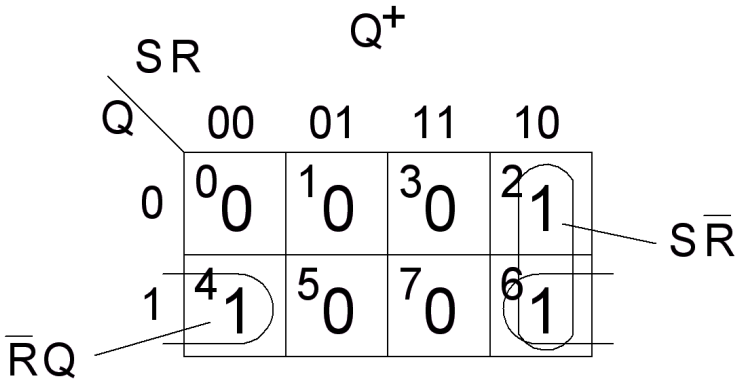
Present state y	*Next state* Y			
	$SR = 00$	01	10	11
0	0	0	1	0
1	1	0	1	0

Eller som på övningen – med hjälp av Karnaughdiagram …

(Övningen SR analys)



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



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

William Sandqvist william@kth.se

Stabila tillstånd

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

$Y = y$

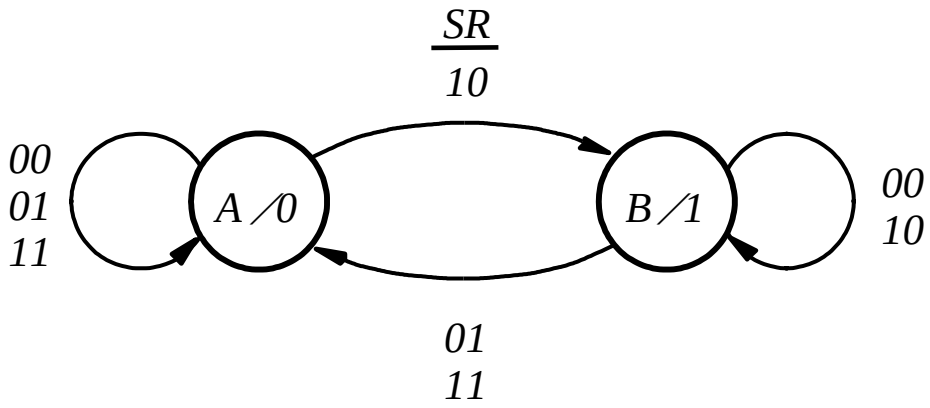
Terminologi

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

- Den asynkrona okodade tillståndstabellen kallas **flödestabell**

Flödestabell och Tillståndsdiagram (Moore)

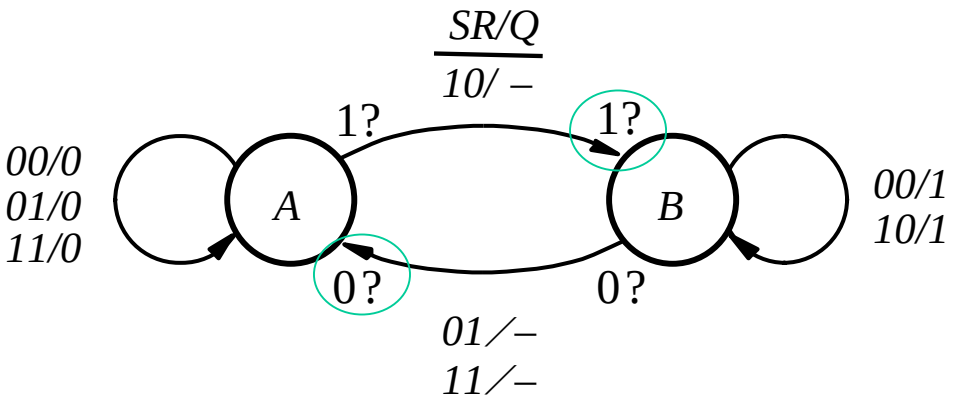
Present state	Next state				Output Q
	SR = 00	01	10	11	
A	(A)	(A)	B	(A)	0
B	(B)	A	(B)	A	1



William Sandqvist william@kth.se

Flödestabell och Tillståndsdiagram (Mealy)

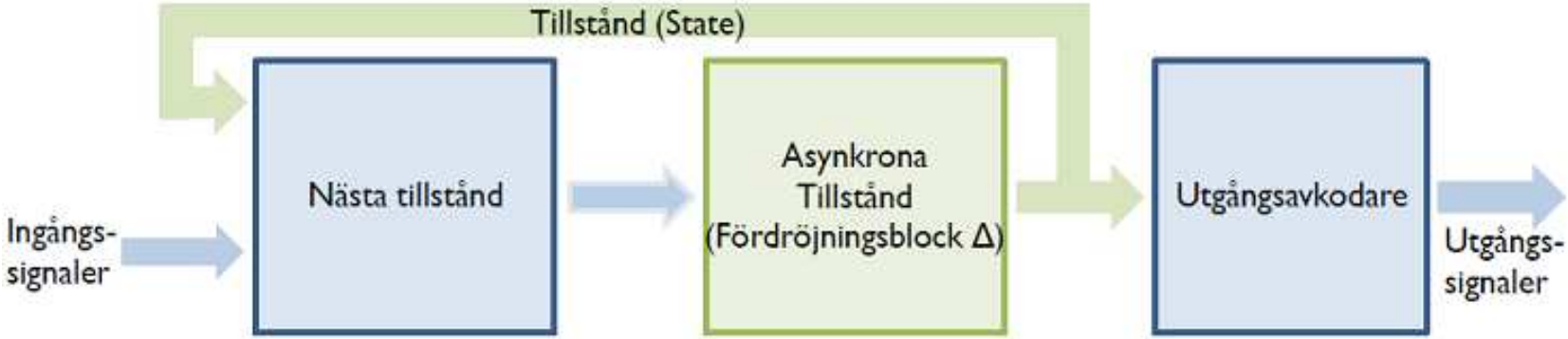
Present state	*Next state*				*Output, Q*			
	SR = 00	*01*	*10*	*11*	*00*	*01*	*10*	*11*
A	(*A*)	(*A*)	*B*	(*A*)	*0*	*0*	–	*0*
B	(*B*)	*A*	(*B*)	*A*	*1*	–	*1*	–



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

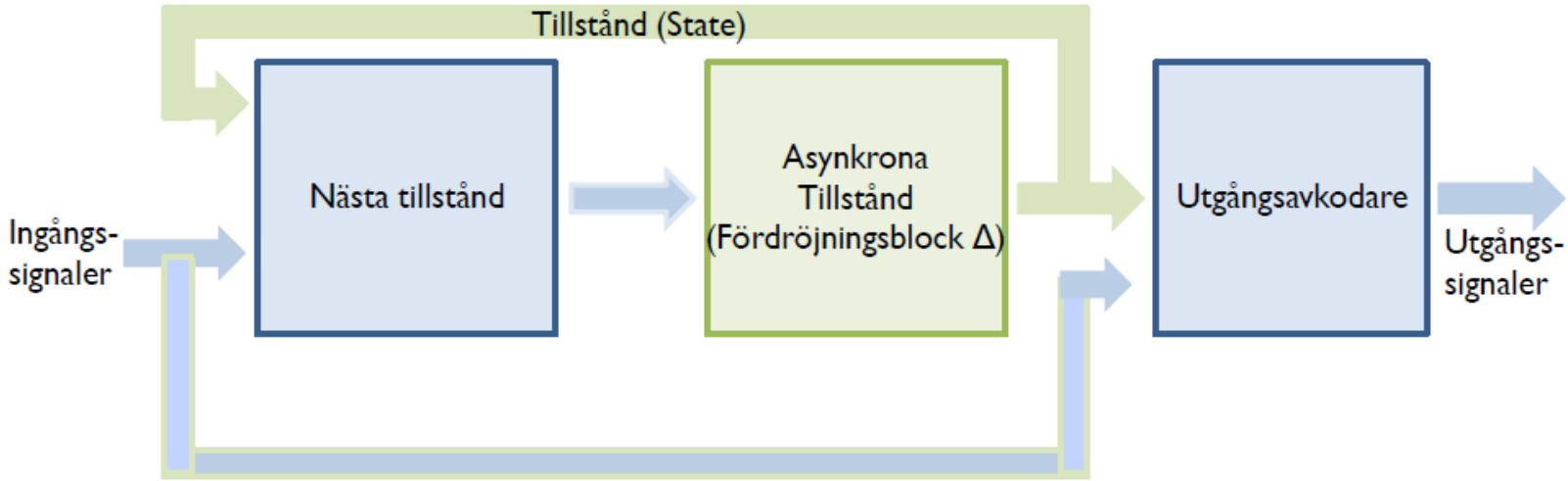
William Sandqvist william@kth.se

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”

William Sandqvist william@kth.se

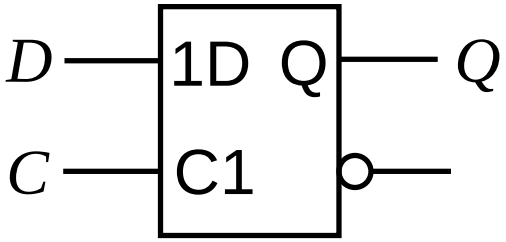
Analys av asynkrona kretsar

Analysen görs i följande steg:

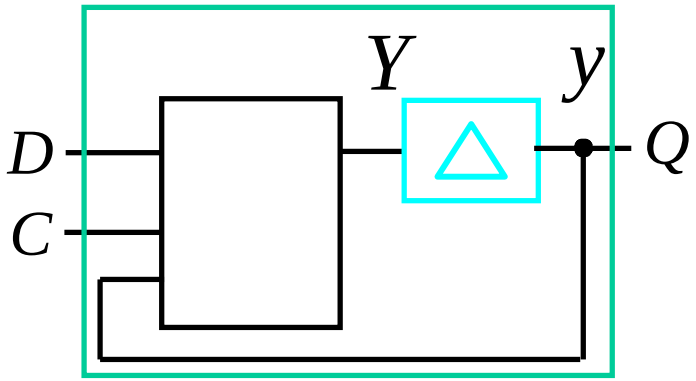
1) Ersätt återkopplingar i kretsen med ett delay-element Δ_i. Insignalen till delay-elementet bildar nästa tillstånd (next state) signalen Y_i, medan utsignalen y_i representerar nuvarande tillstånd (present state).
2) Ta reda på next-state och output uttrycken
3) Ställ upp motsvarande **excitationstabell**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

William Sandqvist william@kth.se

Först: D-latchens tillståndsfunktion



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



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

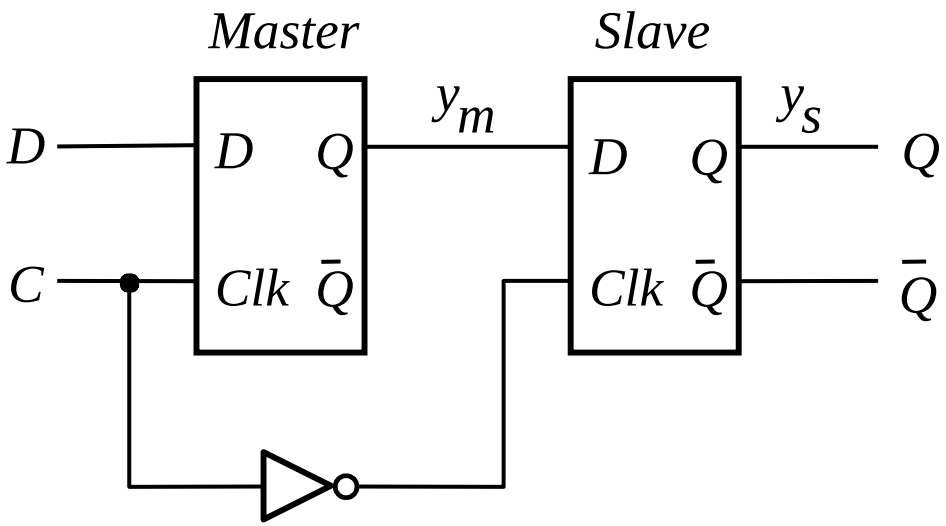
$$Y = D \cdot C + y \cdot \overline{C}$$

$$follow \quad \overline{latch}$$

William Sandqvist william@kth.se

Exempel: Master-Slave-vippan

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



Tillstånds-uttryck:

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

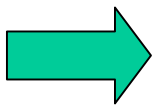
$$Y_s = y_m \cdot \overline{C} + y_s \cdot C$$

William Sandqvist william@kth.se

Exitationstabell

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

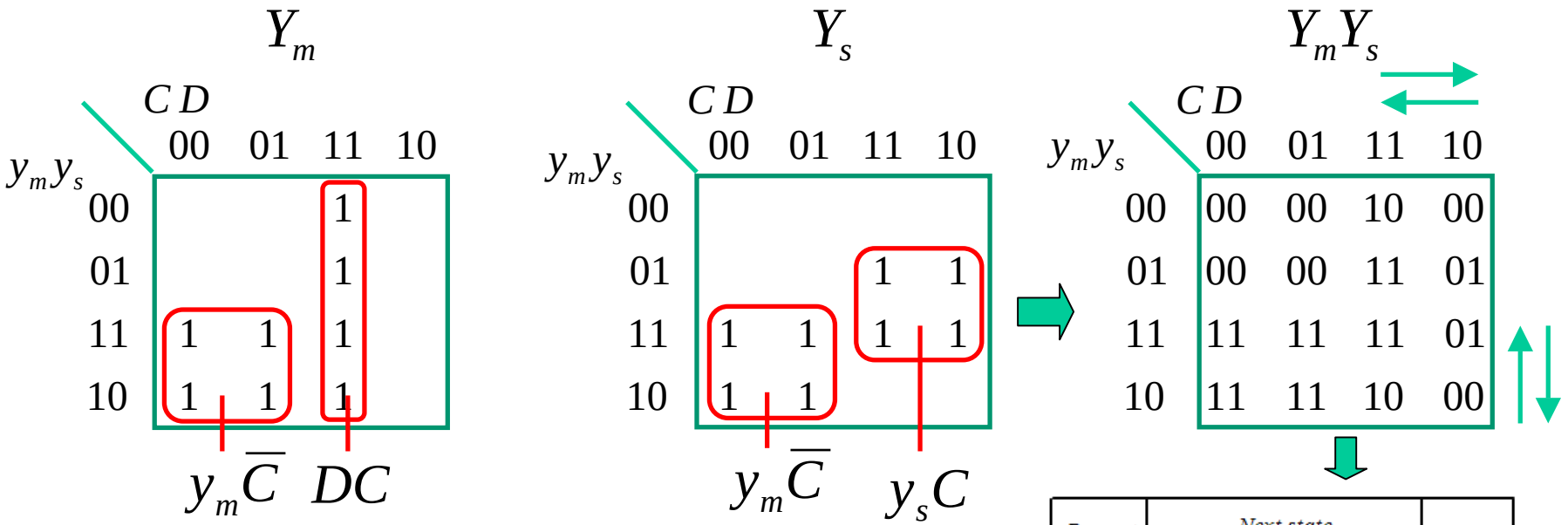
$$Y_m = D \cdot C + y_m \cdot \overline{C}$$
$$Y_s = y_m \cdot \overline{C} + y_s \cdot C$$



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*

William Sandqvist william@kth.se

eller med K-map till hjälp …



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

Present state $y_m\ y_s$	Next state 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

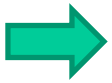
Byt rader och kolumner för att få binärkodsordning som BV

William Sandqvist william@kth.se

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	Nextstate 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

William Sandqvist william@kth.se

Flödestabell

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

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

Present state	Nextstate				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	Nextstate				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

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**!

Flödestabell – omöjliga övergångar

Present state	Nextstate				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

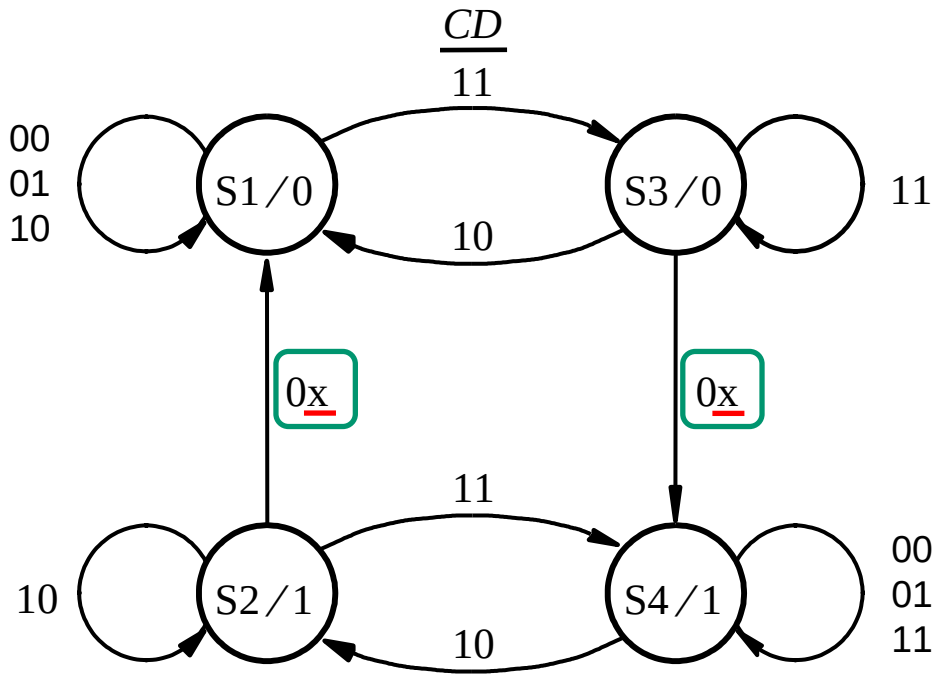
Enda stabila tillståndet för **S2** är när ingångskombinationen är 10

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

Don't care betecknas här med x



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 kan användas för att förenkla kretsen

William Sandqvist william@kth.se

William Sandqvist william@kth.se

Syntes av asynkrona kretsar

Syntesen genomförs i följande steg:

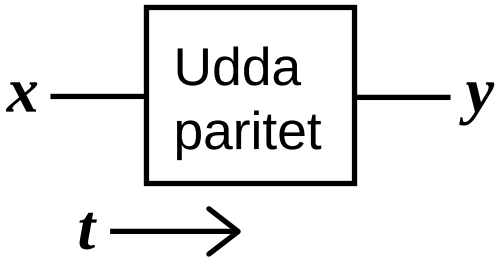
1) Skapa ett **tillståndsdiagram** enligt funktionsbeskrivningen
2) Skapa en **flödestabell** och reducera antalet tillstånd om möjligt
3) Tilldela **koder till tillstånden** och skapa **excitationstabellen**
4) Ta fram uttryck (överföringsfunktioner) för nästa tillstånd samt utgångar
5) Konstruera en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

William Sandqvist william@kth.se

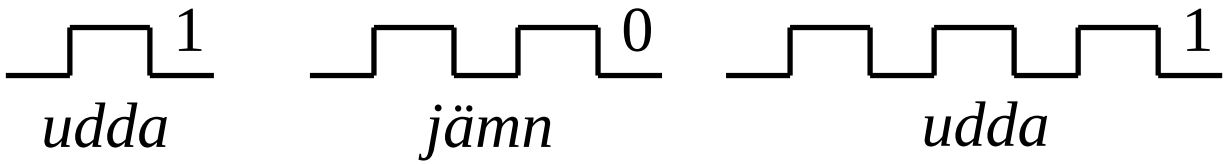
Exempel: seriell paritetskrets

Ingång ***x*** Utgång ***y***

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

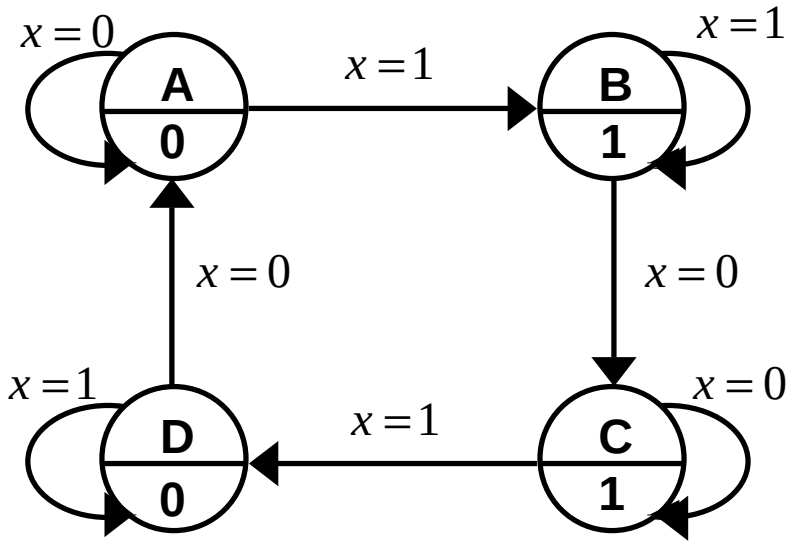


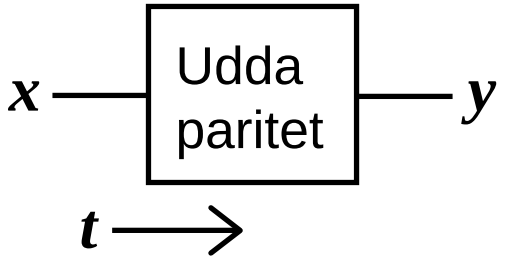
Med andra ord en ”varannangång” krets …

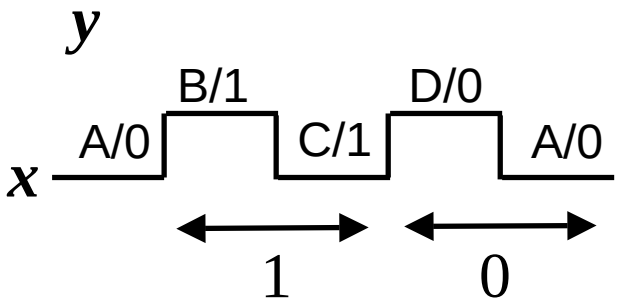


William Sandqvist william@kth.se

Skapa tillståndsdiagram

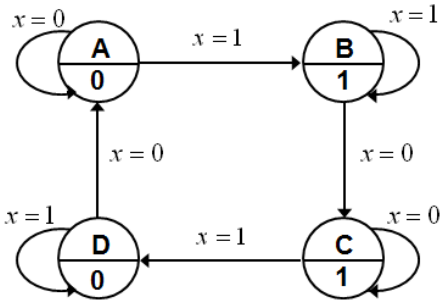


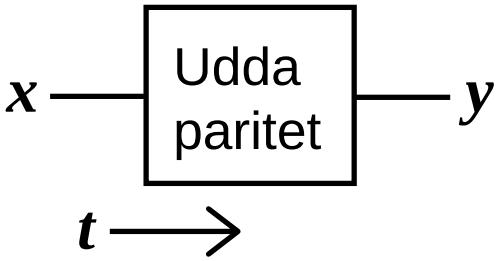




William Sandqvist william@kth.se

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

William Sandqvist william@kth.se

Vad är bra tillståndskod?

00, 01, 10, 11 - binärkod?

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

Dålig kodning (HD=2!)

- *Antag*

$X = 1 \quad Y_2Y_1 = 11$

- *därefter*

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

$11 \rightarrow 10!$

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

Vi når aldrig 00?

William Sandqvist william@kth.se

Vad är bra tillståndskod?

00, 01, 11, 10 - graykod

- *Antag*

$X = 1 \quad Y_2Y_1 = 10$

- *därefter*

$X \rightarrow 0 \rightarrow Y_2Y_1 = 00$

$10 \rightarrow 00$

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)

William Sandqvist william@kth.se

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 **MÅSTE** 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

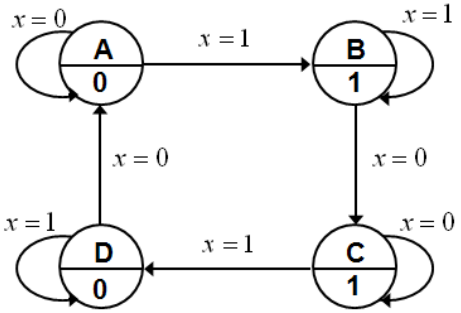
     a) byta plats på två närliggande noder

     b) utnyttja tillgängliga icke använda koder (utnyttja *instabila tillstånd*)

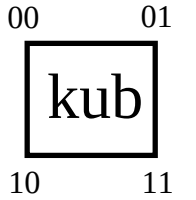
     c) introducera *fler dimensioner* i hyperkuben

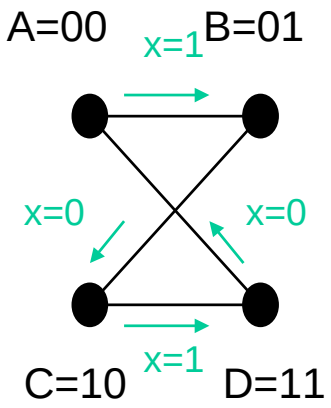
Dålig kodning av paritetskretsen

Den dåliga tillståndskodningen



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



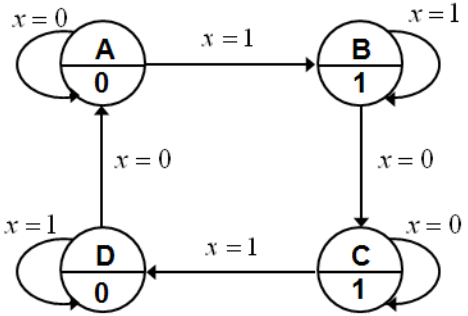


Dålig kodning –
Hamming Distance = 2
(**korsande linjer**)

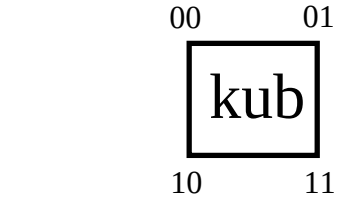
William Sandqvist william@kth.se

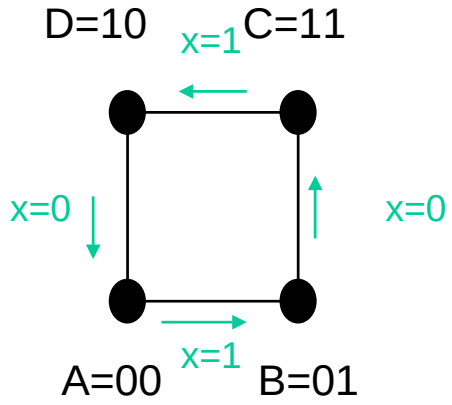
Bra kodning av paritetskretsen

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**)

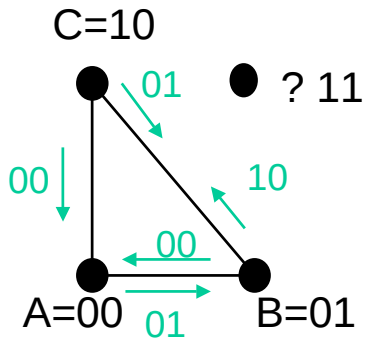
William Sandqvist william@kth.se

William Sandqvist william@kth.se

Problem med icke stabila tillstånd

Ex. en annan krets:

Present state	Nextstate r_2r_1 = 00	01	10	11	Output g_2g_1
A	(A)	B	C	–	00
B	A	(B)	C	(B)	01
C	A	B	(C)	(C)	10

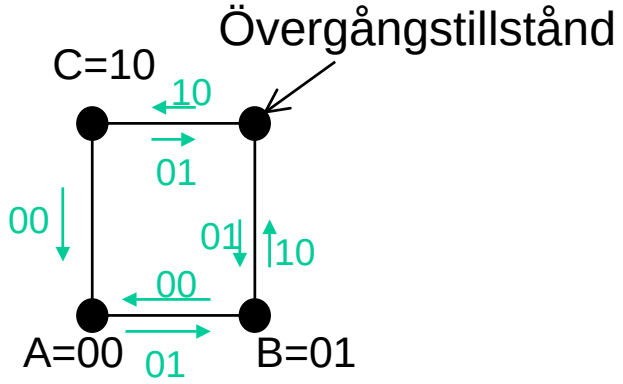


Dålig kodning

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!



	Present state y_2y_1	Nextstate 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

Bra kodning

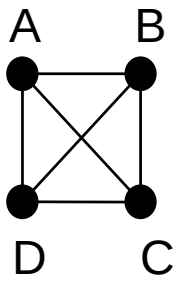
$01 \rightarrow 11 \rightarrow 10$

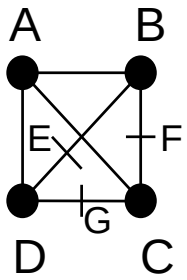
$10 \rightarrow 11 \rightarrow 01$

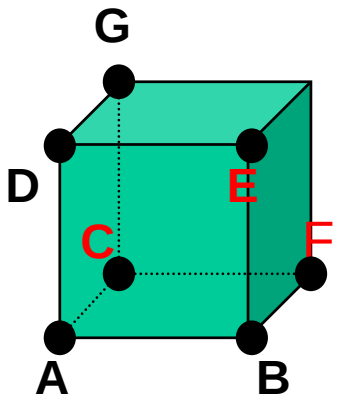
övergångstillstånd

Extra tillstånd – fler dimensioner

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





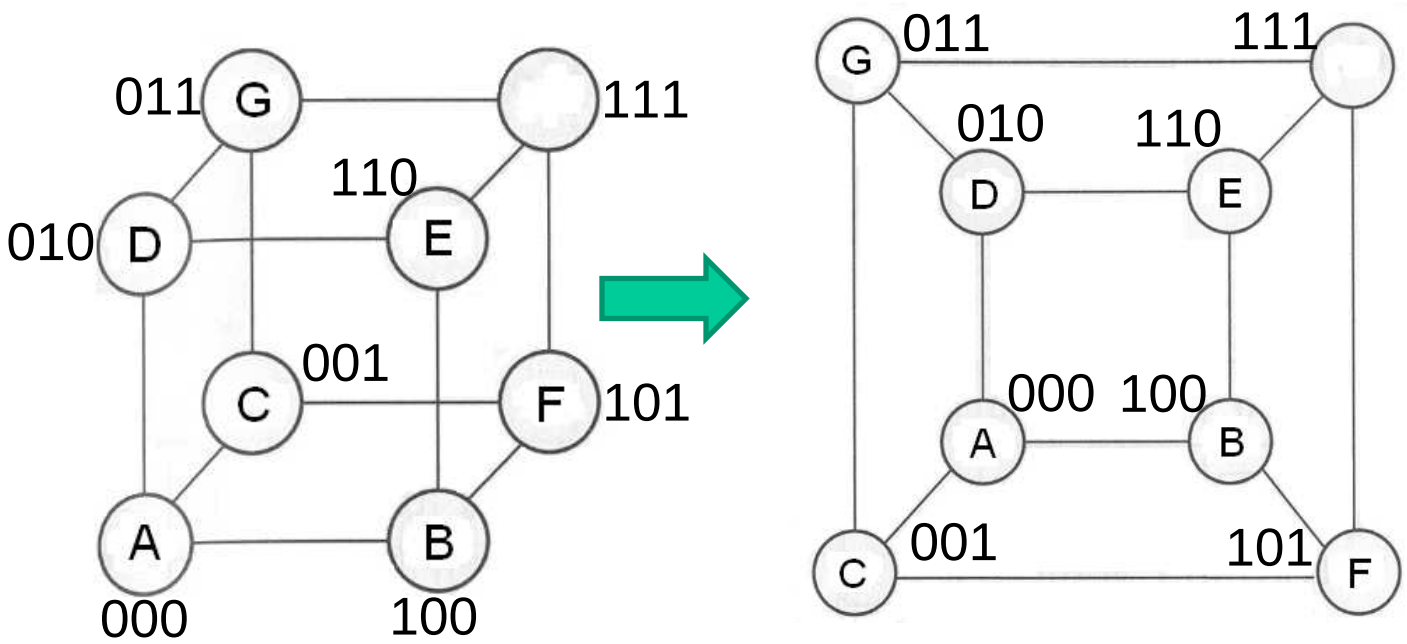


Om det inte på något sätt går att rita om diagrammet till HD=1 får man lägga till fler tillstånd genom att lägga till extra dimensioner. Man tar då närmsta större **hyperkub** och drar övergångarna genom tillgängliga icke stabila tillstånd.

William Sandqvist william@kth.se

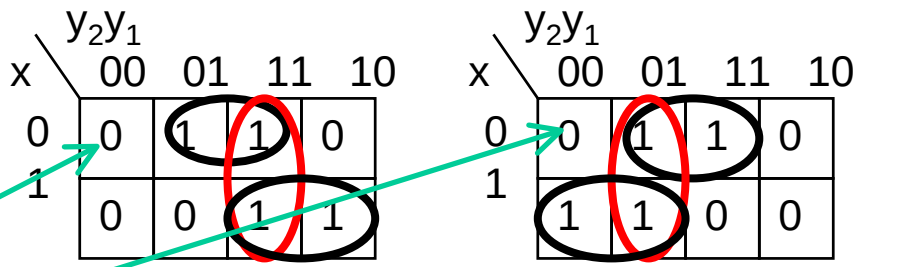
Extra tillstånd – fler dimensioner

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



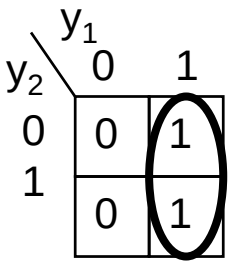
Karnaughdiagrammen

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



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

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



$$Q = y_1$$

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

William Sandqvist william@kth.se

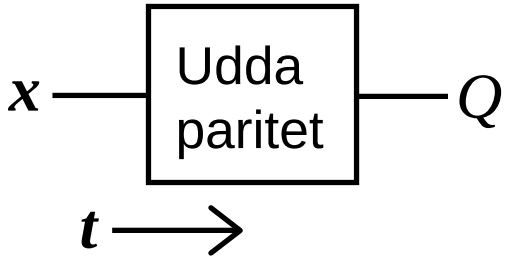
Färdig krets

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

$$Y_2 = x\bar{y}_1 + y_2\bar{y}_1 + x\bar{y}_2$$

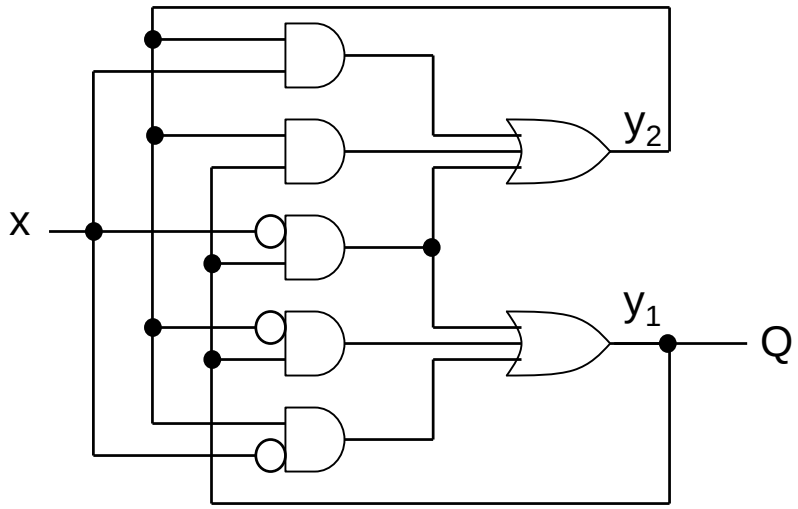
y_2 \ y_1	0	1
0	0	1
1	0	1

$$Q = y_1$$



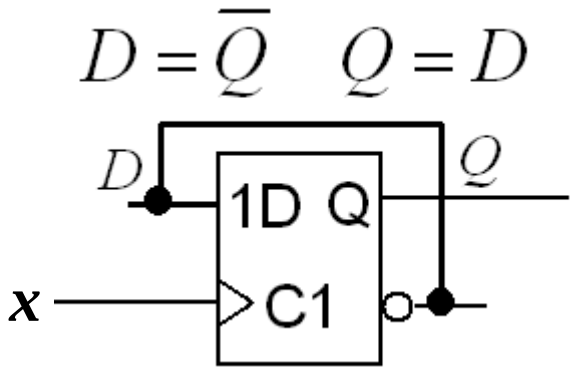
x \ y_2y_1	00	01	11	10
0	0	1	1	0
1	1	1	0	0

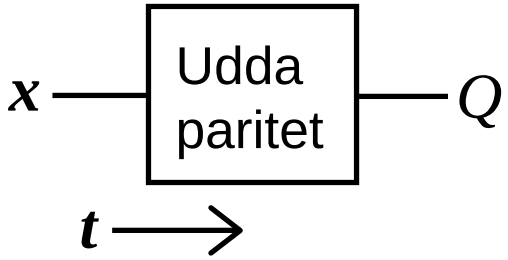
$$Y_1 = x\bar{y}_2 + \bar{y}_2y_1 + \bar{x}y_1$$



William Sandqvist william@kth.se

(enklare med D-vippa)





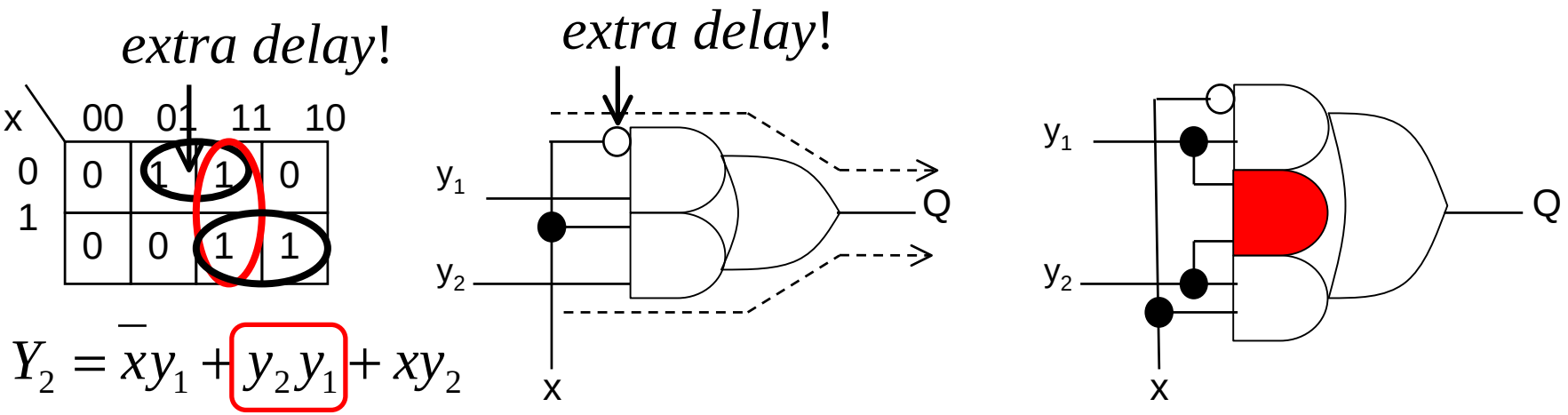
Vi har gjort en ”varannangångkrets” tidigare i kursen.
Då med en D-vippa. Men nu blev det ju mera ”sport”!

William Sandqvist william@kth.se

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



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!

William Sandqvist william@kth.se

William Sandqvist william@kth.se

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* högt *när det gäller asynkrona nät!

William Sandqvist william@kth.se

Tillståndsminimering

Två steg:

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

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

Tillståndsminimering

- **Procedur för minimering av antalet tillstånd**

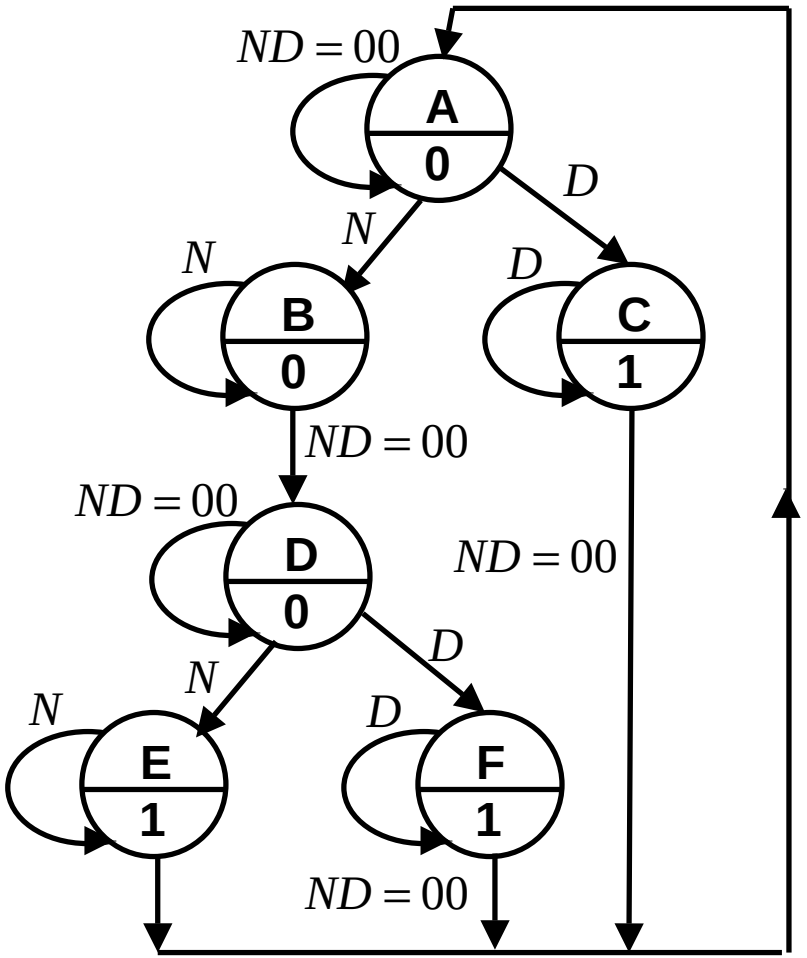
1. Bilda **ekvivalensgrupper**.
   För att vara i samma grupp ska följande gälla:
   - Utgångar måste ha samma värde
   - Stabila tillstånd måste finnas på samma plats (kolumn)
   - Don’t cares för next state måste finnas på samma plats (kolumn)
2. Minimera ekvivalensgrupperna (state-reduktion)

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!***

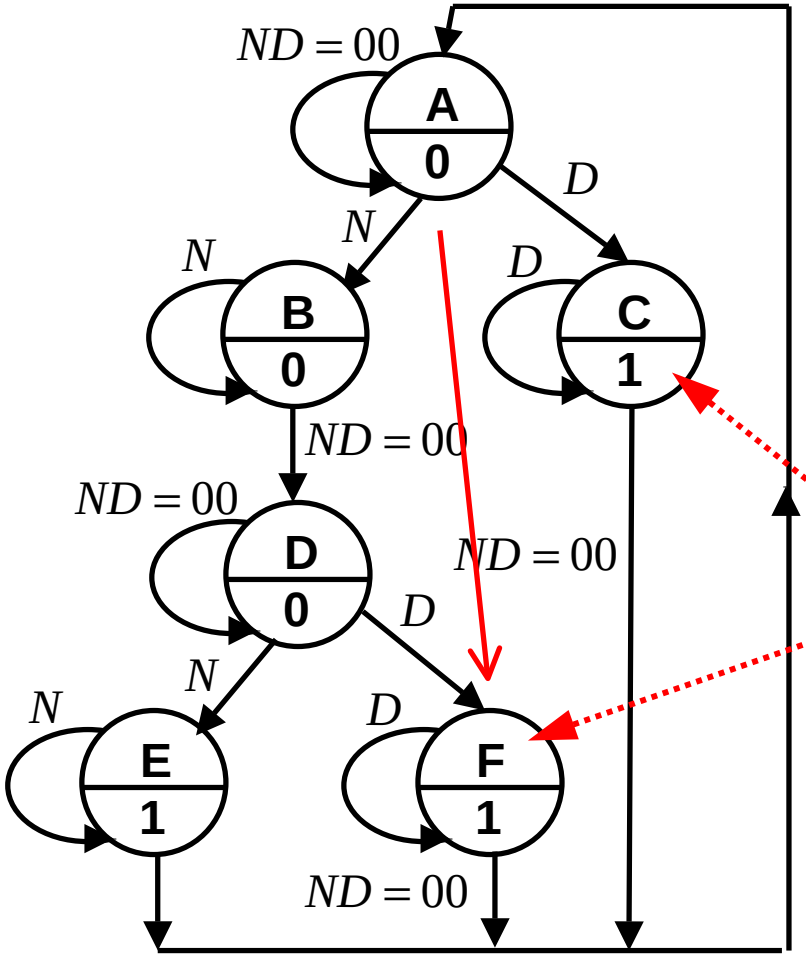
Pres state	Next State X=00	01	10	11	Q
A	(A)	B	C	-	0
B	D	(B)	-	-	0
C	A	-	(C)	-	1
D	(D)	E	F	-	0
E	A	(E)	-	-	1
F	A	-	(F)	-	1

(X = ND, Q = z)

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

William Sandqvist william@kth.se

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.

William Sandqvist william@kth.se

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				Q
	X=00	01	10	11	
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)

William Sandqvist william@kth.se

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), (AD)
$C,F_{01} \rightarrow$ -, -
$C,F_{10} \rightarrow$ (**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

William Sandqvist william@kth.se

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

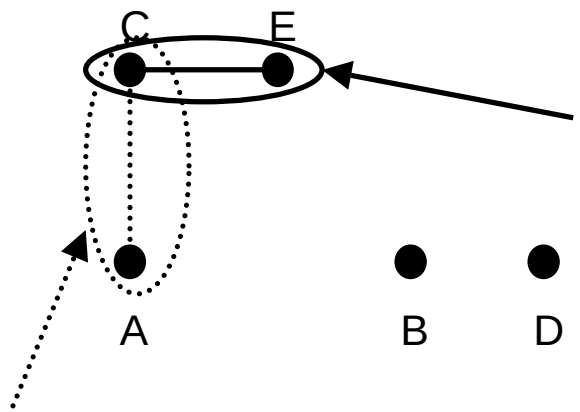
Resulterande flödestabell

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



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-

William Sandqvist william@kth.se

William Sandqvist william@kth.se

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

$A,G_{00} \rightarrow$ (**AG**), (**AG**) $A,G_{01} \rightarrow$ (**F**),(**BL**)
$A,G_{10} \rightarrow$ (**C**),(**J**) $A,G_{11} \rightarrow$ -, -

$B,L_{00} \rightarrow$ (**AG**), (**AG**) $B,L_{01} \rightarrow$ (**BL**), (**BL**)
$B,L_{10} \rightarrow$ -, - $B,L_{11} \rightarrow$ (**HK**), (**HK**)

$H,K_{00} \rightarrow$ -, - $H,K_{01} \rightarrow$ (**BL**), (**BL**)
$H,K_{10} \rightarrow$ (**E**), (**E**) $H,K_{11} \rightarrow$ (**HK**), (**HK**)

P_2= (A)(G)(BL)(C)(D)(E)(F)(HK)(J) **P_3**=P_2

William Sandqvist william@kth.se

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

$\mathbf{P_1}$= (AG)(BL)(C)(D)(E)(F)(HK)(J)
$\mathbf{P_2}$= (A)(G)(**BL**)(C)(D)(E)(F)(**HK**)(J)
$\mathbf{P_3}$=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

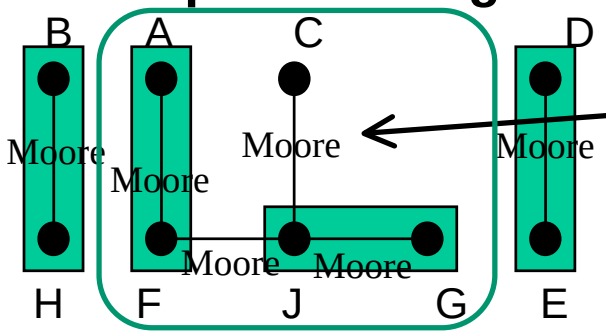
William Sandqvist william@kth.se

Ett illustrativt exempel …

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**)

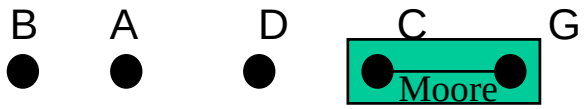
William Sandqvist william@kth.se

Ett illustrativt exempel …

Mer reducerad flödestabell

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

Kompatibilitets-graf



Slutlig flödestabell

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

Ny beteckning **C** för (**CG**)

Nu har alla ospecificerade tillstånd utnyttjats!

William Sandqvist william@kth.se

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

William Sandqvist william@kth.se