

Transistoren

Datamaskinarkitektur

Transistoren

Moore's lov
Integrerte
kretser
CMOS
NMOS
PMOS
NOT-port
OR-port
binær funksjon
AND
OR
NOT
Sannhetstabell
Logisk uttrykk
Logisk sum
Tegne krets
Forenkle kretser
Forenkle kretser
Boolsk algebra
Binær addisjon
Addisjonskrets
Metode
Forenkle
Tegne krets
Full Adder
2 Full Adder
3 Full Adder
Add

- Teoretisk fysikk's store oppdagelse i det tyvende århundre: kvantemekanikken
- La grunnlaget for halvlederteknologi og transistoren
- I 1956 fikk Shockley, Bardeen og Brattain Nobelprisen i fysikk for å konstruere transistoren
- Gjør det mulig å lage AND, OR og NOT porter ekstremt små
- Ledninger som er 5 nanometer brede
- Et hårstrå 100 000 nm

Integrerte kretser

Datamaskinarkitektur

Transistoren

Moore's lov

**Integrerte
kretser**

CMOS

NMOS

PMOS

NOT-port

OR-port

binær funksjon

AND

OR

NOT

Sannhetstabell

Logisk uttrykk

Logisk sum

Tegne krets

Forenkle kretser

Forenkle kretser

Boolsk algebra

Binær addisjon

Addisjonskrets

Metode

Forenkle

Tegne krets

Full Adder

2 Full Adder

3 Full Adder

Add

- CPUen Intel 4004, 1971, 2.300 transistorer,
- Intel Xeon, 2016, 7.2 milliarder transistorer
- 2017 Intel: 100 millioner transistorer på en kvadratmillimeter
- 10 nanometer teknologi
- 2020 TSMC (Taiwan Semiconductor Manufacturing Company) 5 nanometer silisium-brikker
- avstand fra kjerne til elektron i hydrogen: 0.05 nanometer
- Radius til et Silisium-atom: 0.11 nanometer
- De fysiske grensene nærmer seg
- CPU-frekvensen har ikke økt særlig mye de siste 15 årene

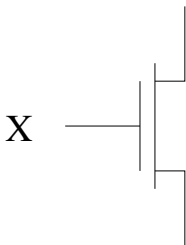
- CMOS (Complementary metal oxide semiconductor)
- teknologi for å lage integrerte kretser som brukes i alle mikroprosessorer
- komplementær: setter sammen to motsatte typer transistorer, NMOS og PMOS
- NMOS-transistor: n-type metal oxide semiconductor field effect transistor (MOSFET)
- PMOS-transistor: p-type metal oxide semiconductor

NMOS

Datamaskinarkitektur

Transistoren
Moore's lov
Integrerte
kretser
CMOS
NMOS
PMOS
NOT-port
OR-port
binær funksjon
AND
OR
NOT
Sannhetstabell
Logisk uttrykk
Logisk sum
Tegne krets
Forenkle kretser
Forenkle kretser
Boolsk algebra
Binær addisjon
Addisjonskrets
Metode
Forenkle
Tegne krets
Full Adder
2 Full Adder
3 Full Adder
Add

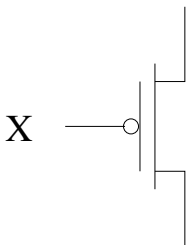
NMOS



X	
0	AV
1	PÅ

- Ingen spenning inn, bryter av
- Spenning inn, bryter på

PMOS



X	
0	PÅ
1	AV

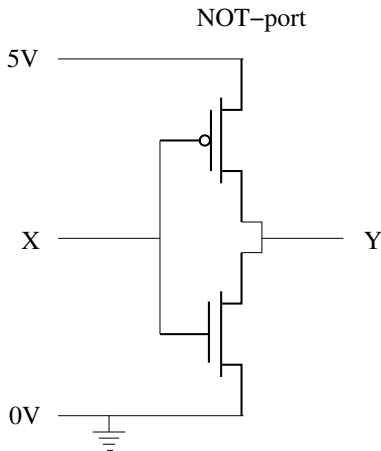
- Ingen spenning inn, bryter på
- Spenning inn, bryter av

NOT-port

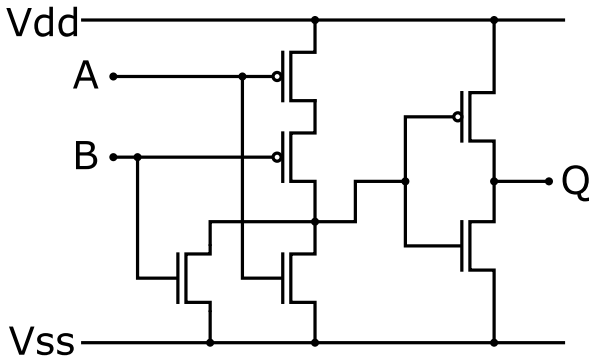
Datamaskinarkitektur

Transistoren
Moore's lov
Integrerte kretser
CMOS
NMOS
PMOS
NOT-port
OR-port
binær funksjon
AND
OR
NOT
Sannhetstabell
Logisk uttrykk
Logisk sum
Tegne krets
Forenkle kretser
Forenkle kretser
Boolsk algebra
Binær addisjon
Addisjonskrets
Metode
Forenkle
Tegne krets
Full Adder
2 Full Adder
3 Full Adder
Add

- NMOS og PMOS sammen: unngår unødvendig strømføring
- Reduserer varmeproduksjonen
- vesentlig problem for integrerte kretser
- NOT-port: to transistorer

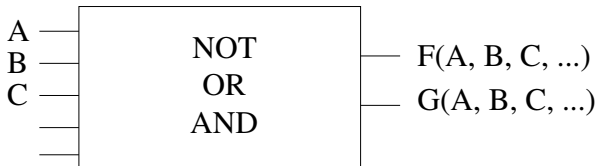


X	Y
0	1
1	0



- Vss er jord, null spenning
- Vdd er positiv spenning
- OR-port: 6 transistorer (samme for AND-port)

binær funksjon



- Alle mulige logiske operasjoner kan lages ved å sette sammen systemer av NOT, AND og OR-porter
- For å kunne lage alle typer CPU operasjoner, trenger man å kunne lage alle typer binære funksjoner

AND

Datamaskinarkitektur

Transistoren
Moore's lov
Integrerte
kretser
CMOS
NMOS
PMOS
NOT-port
OR-port
binær funksjon
AND
OR
NOT
Sannhetstabell
Logisk uttrykk
Logisk sum
Tegne krets
Forenkle kretser
Forenkle kretser
Boolsk algebra
Binær addisjon
Addisjonskrets
Metode
Forenkle
Tegne krets
Full Adder
2 Full Adder
3 Full Adder
Add

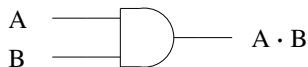
A	B	Ut = $A \cdot B = A \wedge B$
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

$$0 \cdot 0 = 0$$

$$0 \cdot 1 = 0$$

$$1 \cdot 0 = 0$$

$$1 \cdot 1 = 1$$



OR

Datamaskinarkitektur

Transistoren
Moore's lov
Integrerte
kretser
CMOS
NMOS
PMOS
NOT-port
OR-port
binær funksjon
AND

OR

NOT
Sannhetstabell
Logisk uttrykk
Logisk sum
Tegne krets
Forenkle kretser
Forenkle kretser
Boolsk algebra
Binær addisjon
Addisjonskrets
Metode
Forenkle
Tegne krets
Full Adder
2 Full Adder
3 Full Adder
Add

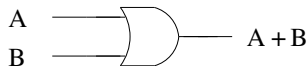
A	B	Ut = $A + B = A \vee B$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

$$0 + 0 = 0$$

$$0 + 1 = 1$$

$$1 + 0 = 1$$

$$1 + 1 = 1$$



NOT

Datamaskinarkitektur

Transistoren
Moore's lov
Integrerte
kretser
CMOS
NMOS
PMOS
NOT-port
OR-port
binær funksjon
AND
OR
NOT
Sannhetstabell
Logisk uttrykk
Logisk sum
Tegne krets
Forenkle kretser
Forenkle kretser
Boolsk algebra
Binær addisjon
Addisjonskrets
Metode
Forenkle
Tegne krets
Full Adder
2 Full Adder
3 Full Adder
Add

A	Ut = $\overline{A} = \neg A$
0	1
1	0

$$\overline{0} = 1$$

$$\overline{1} = 0$$

Sannhetstabell

Datamaskinarkitektur

Transistoren
Moore's lov
Integrerte
kretser
CMOS
NMOS
PMOS
NOT-port
OR-port
binær funksjon
AND
OR
NOT

Sannhetstabell

Logisk uttrykk
Logisk sum
Tegne krets
Forenkle kretser
Forenkle kretser
Boolsk algebra
Binær addisjon
Addisjonskrets
Metode
Forenkle
Tegne krets
Full Adder
2 Full Adder
3 Full Adder
Add

A	B	F(A,B)
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	1

- Når man lager en CPU-komponent vet man hvordan den skal virke
- Kan spesifiseres i en sannhetstabell
- For denne funksjonen: hvis $A = 0$ og $B = 0$ er input til vår funksjon, SKAL 1 være output
- Tilsvarende for de andre tre linjene

Logisk uttrykk

- Ut ifra en sannhetstabell kan man alltid skrive ned et logisk uttrykk for funksjonen $F(A,B)$
- Et produkt $A \cdot B$ vil kun være lik 1 hvis både A og B er lik 1, i alle andre tilfeller vil produktet være lik 0.
- Hvis en linje i sannhetstabellen viser at F skal være lik 1, kan man derfor skrive ned et produkt som gir 1 når man ganger sammen (AND'er) nøyaktig de to verdiene i denne linjen av sannhetstabellen.
- For første linje i sannhetstabellen over, må man derfor skrive ned uttrykket

$$\overline{A} \cdot \overline{B}$$

Logisk sum

- skriver ned tilsvarende uttrykk for alle linjer som gir 1 i sannhetstabellen
- Kan til slutt legge sammen alle leddene med OR-operatoren
- Blir tilsammen et korrekt uttrykk for funksjonen F, fordi om minst ett av leddene i et OR-uttrykk er 1 vil det totale uttrykket også bli 1.
- Dermed vil en slik sum av produkter alltid gi den riktige verdien for funksjonen F.
- I sannhetstabellen gir også den siste linjen 1. Denne linjen gir derfor uttrykket $A \cdot B$
- Dermed kan det logiske uttrykket for funksjonen skrives ned som

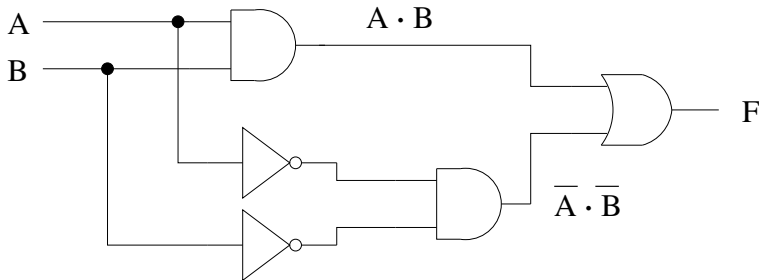
$$F(A, B) = \bar{A} \cdot \bar{B} + A \cdot B$$

Tegne krets

Datamaskinarkitektur

Transistoren
Moore's lov
Integrerte kretser
CMOS
NMOS
PMOS
NOT-port
OR-port
binær funksjon
AND
OR
NOT
Sannhetstabell
Logisk uttrykk
Logisk sum
Tegne krets
Forenkle kretser
Forenkle kretser
Boolsk algebra
Binær addisjon
Addisjonskrets
Metode
Forenkle
Tegne krets
Full Adder
2 Full Adder
3 Full Adder
Add

Tegning av den logiske kretsen $F(A, B) = A \cdot B + \bar{A} \cdot \bar{B}$.



Kan så lages i hardware.

Forenkle kretser

Datamaskinarkitektur

Transistoren
Moore's lov
Integrerte kretser
CMOS
NMOS
PMOS
NOT-port
OR-port
binær funksjon
AND
OR
NOT
Sannhetstabell
Logisk uttrykk
Logisk sum
Tegne krets
Forenkle kretser
Forenkle kretser
Boolsk algebra
Binær addisjon
Addisjonskrets
Metode
Forenkle
Tegne krets
Full Adder
2 Full Adder
3 Full Adder
Add

A	B	$F(A,B)$
0	0	0
0	1	1
1	0	0
1	1	1

Hva blir den boolske funksjonen?

Forenkle kretser

Datamaskinarkitektur

Transistoren
Moore's lov
Integrerte
kretser
CMOS
NMOS
PMOS
NOT-port
OR-port
binær funksjon
AND
OR
NOT

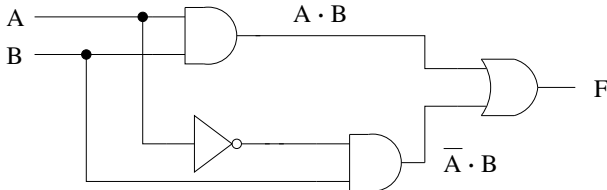
Sannhetstabell
Logisk uttrykk
Logisk sum
Tegne krets
Forenkle kretser

Forenkle kretser

Boolsk algebra
Binær addisjon
Addisjonskrets
Metode
Forenkle
Tegne krets
Full Adder
2 Full Adder
3 Full Adder
Add

A	B	F(A,B)
0	0	0
0	1	1
1	0	0
1	1	1

$$F(A, B) = \bar{A} \cdot B + A \cdot B \quad (1)$$



Boolsk algebra

Datamaskinarkitektur

Transistoren
Moore's lov
Integrerte
kretser
CMOS
NMOS
PMOS
NOT-port
OR-port
binær funksjon
AND
OR
NOT
Sannhetstabell
Logisk uttrykk
Logisk sum
Tegne krets
Forenkle kretser
Forenkle kretser
Boolsk algebra
Binær addisjon
Addisjonskrets
Metode
Forenkle
Tegne krets
Full Adder
2 Full Adder
3 Full Adder
Add

- $\bar{A} + A = 1$
- $1 \cdot X = X$

$$F(A, B) = \bar{A} \cdot B + A \cdot B = (\bar{A} + A) \cdot B = 1 \cdot B = B$$

A —

B ————— F

Ekstrem forenkling av kretsen til $F(A, B) = B$.

Binær addisjon

$$\begin{array}{r} \overset{1}{0} \overset{1}{1} \\ + 1 1 \\ \hline 1 0 \end{array}$$

Addisjonskrets

Datamaskinarkitektur

Transistoren
Moore's lov
Integrerte
kretser
CMOS
NMOS
PMOS
NOT-port
OR-port
binær funksjon
AND
OR
NOT
Sannhetstabell
Logisk uttrykk
Logisk sum
Tegne krets
Forenkle kretser
Forenkle kretser
Boolsk algebra
Binær addisjon
Addisjonskrets
Metode
Forenkle
Tegne krets
Full Adder
2 Full Adder
3 Full Adder
Add

$$\begin{array}{r} \text{C} \quad \text{X} \quad \text{Z} \\ + \quad \text{Y} \\ \hline \text{S} \end{array}$$

X	Y	Z	S	C
0	0	0	0	0
0	0	1	1	0
0	1	0	1	0
0	1	1	0	1
1	0	0	1	0
1	0	1	0	1
1	1	0	0	1
1	1	1	1	1

- 1 Skrive ned boolske uttrykk for funksjonene $S(X,Y,Z)$ og $C(X,Y,Z)$.
- 2 Forenkle uttrykkene med Boolsk algebra (eller Karnaugh-diagram).
- 3 Tegne en krets basert på det Boolske uttrykket som utfører nøyaktig denne operasjonen.

Forenkle

Datamaskinarkitektur

Transistoren
Moore's lov
Integrerte
kretser
CMOS
NMOS
PMOS
NOT-port
OR-port
binær funksjon
AND
OR
NOT
Sannhetstabell
Logisk uttrykk
Logisk sum
Tegne krets
Forenkle kretser
Forenkle kretser
Boolsk algebra
Binær addisjon
Addisjonskrets
Metode
Forenkle
Tegne krets
Full Adder
2 Full Adder
3 Full Adder
Add

$$S(X, Y, Z) = \bar{X} \cdot \bar{Y} \cdot Z + \bar{X} \cdot Y \cdot \bar{Z} + X \cdot \bar{Y} \cdot \bar{Z} + X \cdot Y \cdot Z$$

$$C(X, Y, Z) = \bar{X} \cdot Y \cdot Z + X \cdot \bar{Y} \cdot Z + X \cdot Y \cdot \bar{Z} + X \cdot Y \cdot Z$$

Man kan vise at man med Boolsk algebra kan forenkle C til

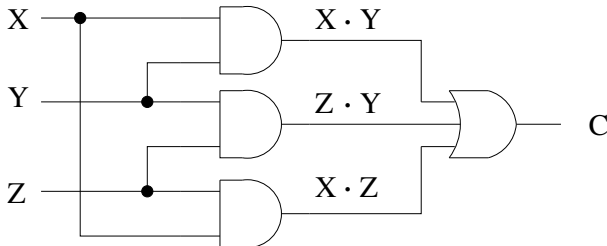
$$C(X, Y, Z) = X \cdot Y + Z \cdot Y + X \cdot Z$$

Tegne krets

Datamaskinarkitektur

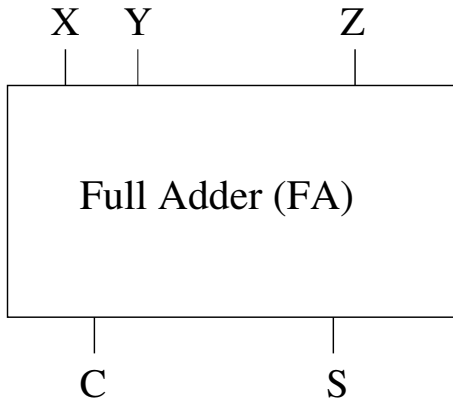
Transistoren
Moore's lov
Integrerte kretser
CMOS
NMOS
PMOS
NOT-port
OR-port
binær funksjon
AND
OR
NOT
Sannhetstabell
Logisk uttrykk
Logisk sum
Tegne krets
Forenkle kretser
Forenkle kretser
Boolsk algebra
Binær addisjon
Addisjonskrets
Metode
Forenkle
Tegne krets
Full Adder
2 Full Adder
3 Full Adder
Add

$$C(X, Y, Z) = X \cdot Y + Z \cdot Y + X \cdot Z$$



$S(X, Y, Z)$ kan også forenkles noe.

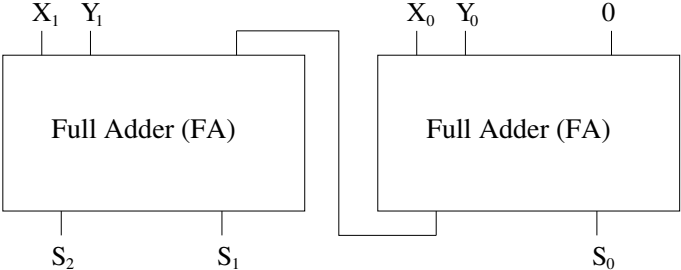
Full Adder



Datamaskinarkitektur

Transistoren
Moore's lov
Integrerte
kretser
CMOS
NMOS
PMOS
NOT-port
OR-port
binær funksjon
AND
OR
NOT
Sannhetstabell
Logisk uttrykk
Logisk sum
Tegne krets
Forenkle kretser
Forenkle kretser
Boolsk algebra
Binær addisjon
Addisjonskrets
Metode
Forenkle
Tegne krets
Full Adder
2 Full Adder
3 Full Adder
Add

2 Full Adder

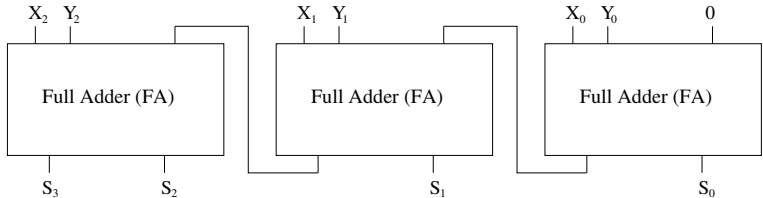


$$\begin{array}{r} X_1 X_0 \\ + Y_1 Y_0 \\ \hline S_2 S_1 S_0 \end{array}$$

3 Full Adder

Datamaskinarkitektur

Transistoren
Moore's lov
Integrerte kretser
CMOS
NMOS
PMOS
NOT-port
OR-port
binær funksjon
AND
OR
NOT
Sannhetstabell
Logisk uttrykk
Logisk sum
Tegne krets
Forenkle kretser
Forenkle kretser
Boolsk algebra
Binær addisjon
Addisjonskrets
Metode
Forenkle
Tegne krets
Full Adder
2 Full Adder
3 Full Adder
Add

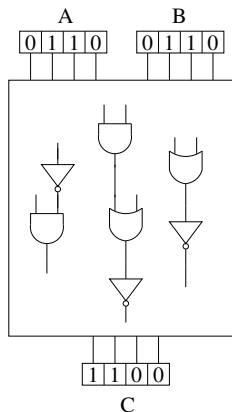


Tre Full Adder kretser skjøttet sammen slik at de regner ut det binære regnestykket $X_2X_1X_0 + Y_2Y_1Y_0 = S_3S_2S_1S_0$ korrekt for alle mulige verdier av X og Y .

Adderings-krets

Datamaskinarkitektur

Transistoren
Moore's lov
Integrerte kretser
CMOS
NMOS
PMOS
NOT-port
OR-port
binær funksjon
AND
OR
NOT
Sannhetstabell
Logisk uttrykk
Logisk sum
Tegne krets
Forenkle kretser
Forenkle kretser
Boolsk algebra
Binær addisjon
Addisjonskrets
Metode
Forenkle
Tegne krets
Full Adder
2 Full Adder
3 Full Adder
Add



$C = A + B$ ($12 = 6 + 6$). Logiske kretser med AND, OR og NOT er konstruert inne i boksen på en slik måte at de alltid regner ut riktig resultat. Kretsen leser fra og skriver til 4-bits registre.