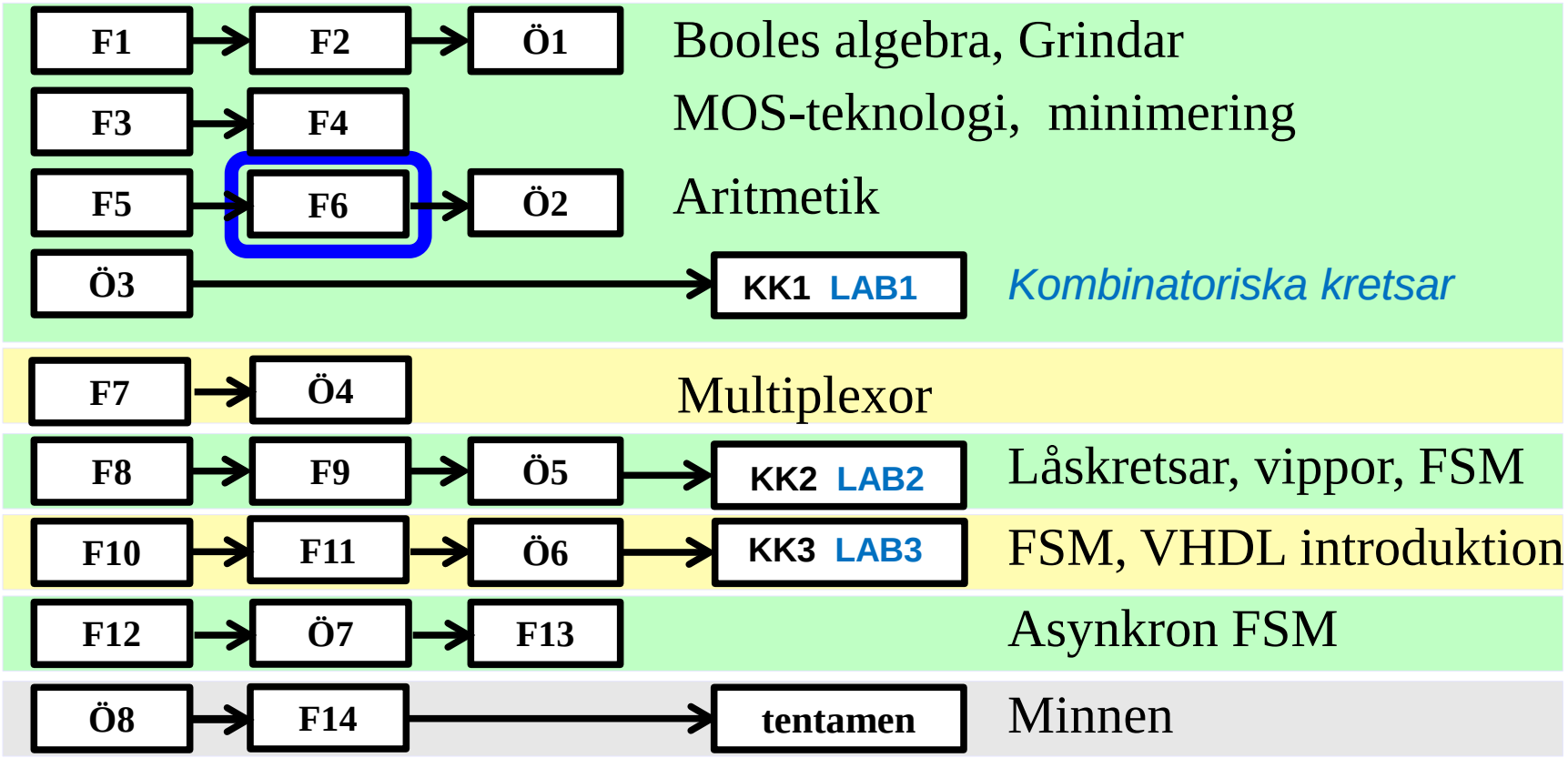
Digital Design IE1204

F6 Digital aritmetik II

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

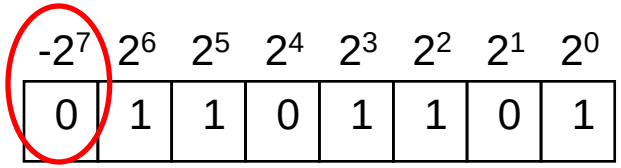
Talrepresentation

Ett tal kan representeras binärt på många sätt.
De vanligaste taltyperna som skall representeras är:

- Heltal, positiva heltal (eng. integers)
  ett-komplementet, två-komplementet, sign-magnitude
- Decimala tal med fix tal-område
  Fix-tal (eng. fixed-point)
- Decimala tal i olika talområden
  Flyt-tal (eng. floating-point)

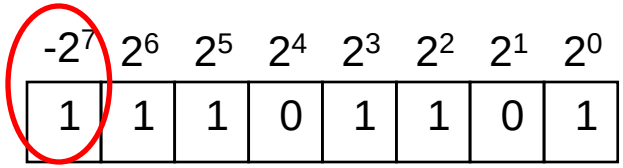
Heltal

Positiva Heltal:



$=1\cdot2^6 + 1\cdot2^5 + 1\cdot2^3 + 1\cdot2^2 + 1\cdot2^0 = 109$

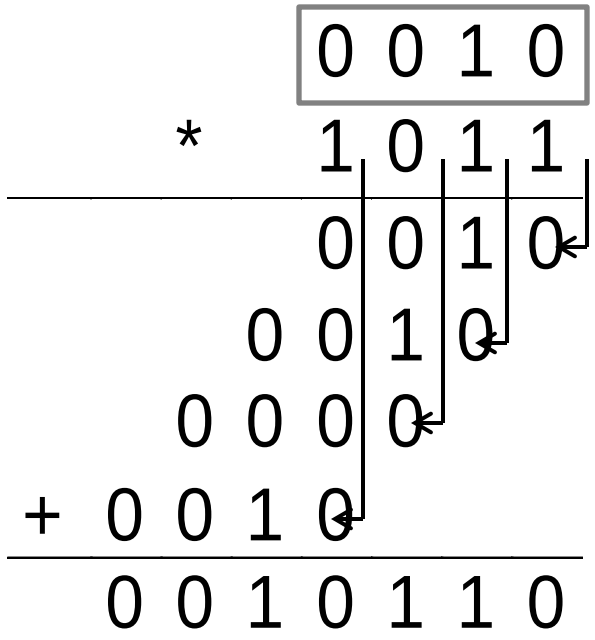
Negativa Heltal:



$= -1\cdot2^7 + 1\cdot2^6 + 1\cdot2^5 + 1\cdot2^3 + 1\cdot2^2 + 1\cdot2^0 = -19$

William Sandqvist william@kth.se

Multiplikation av två positiva heltal



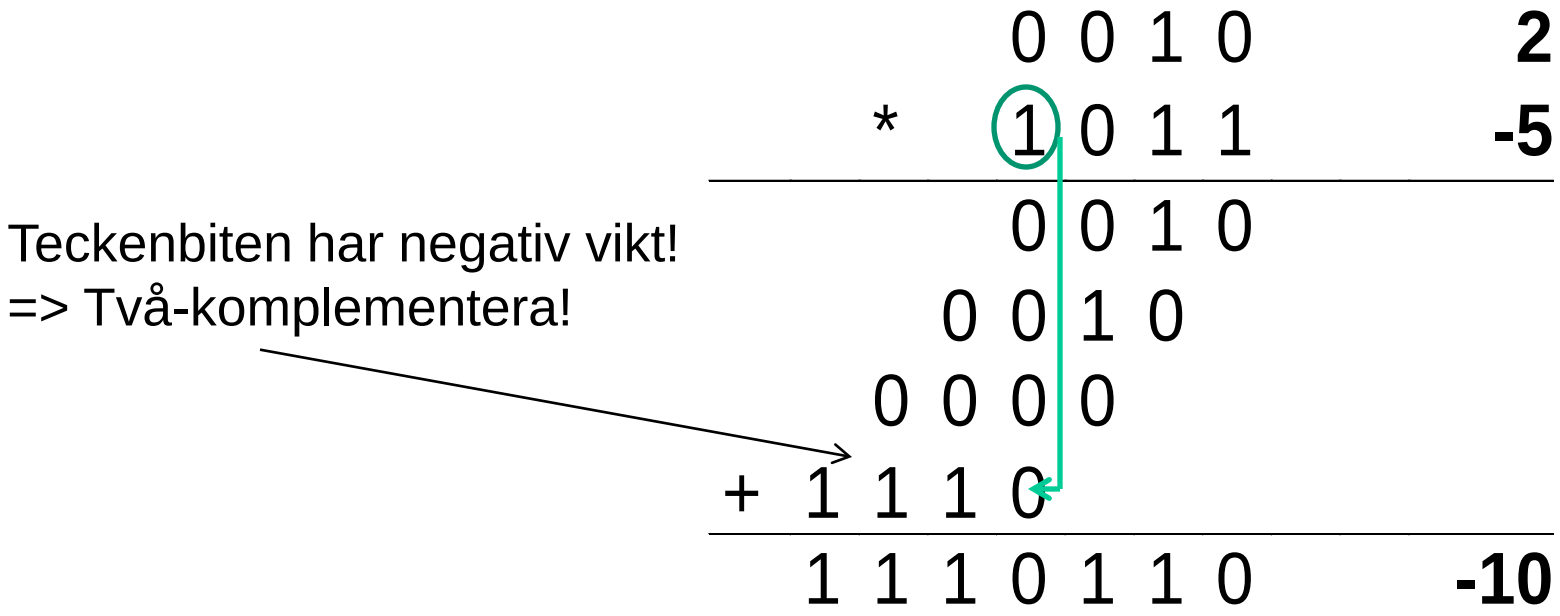
2
*11

Skifta, addera multiplikanden eller 0

=22

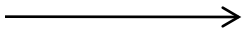
William Sandqvist william@kth.se

Multiplikation med teckenbit



Teckenbiten på det andra stället

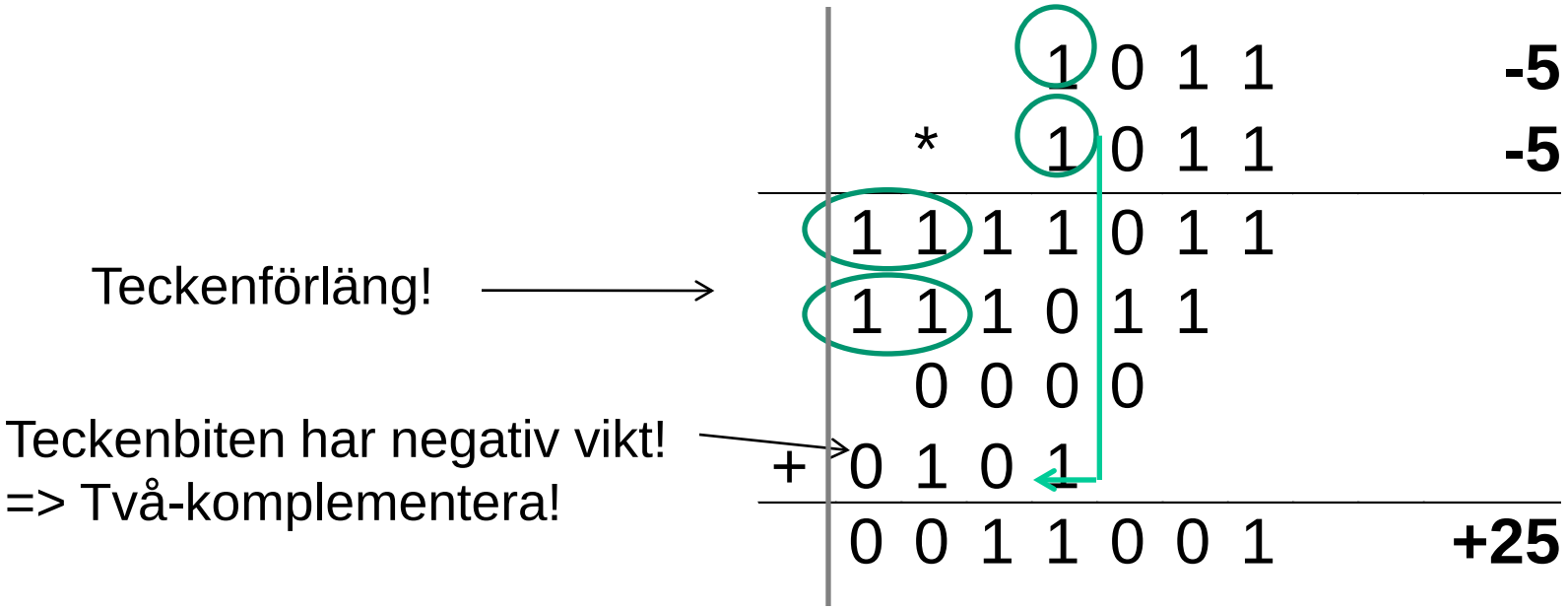
Teckenförläng!
(Sign Extension,
här till 7 bitar)



```
          1 0 1 1          -5
    *     0 0 1 0          2
  ---------------
          0 0 0 0
      1 1 1 0 1 1
        0 0 0 0
  + 0 0 0 0
  ---------------
    1 1 1 0 1 1 0          -10
```

William Sandqvist william@kth.se

Multiplikation av två negativa tal



Svar 7-bitar med tecken

Det här verkade komplicerat …

William Sandqvist william@kth.se

Eller så gör vi det enkelt för oss

Använd enbart positiva tal i multiplikationen

Konvertera till positiva tal
Håll reda på resultatets tecken

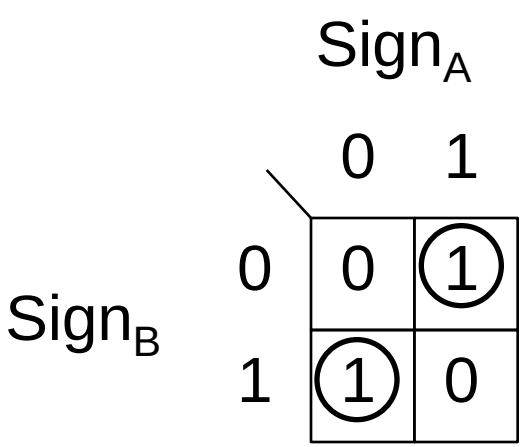
$(+)\cdot(+) \Rightarrow (+) \quad (+)\cdot(-) \Rightarrow (-)$

$(-)\cdot(+) \Rightarrow (-) \quad (-)\cdot(-) \Rightarrow (+)$

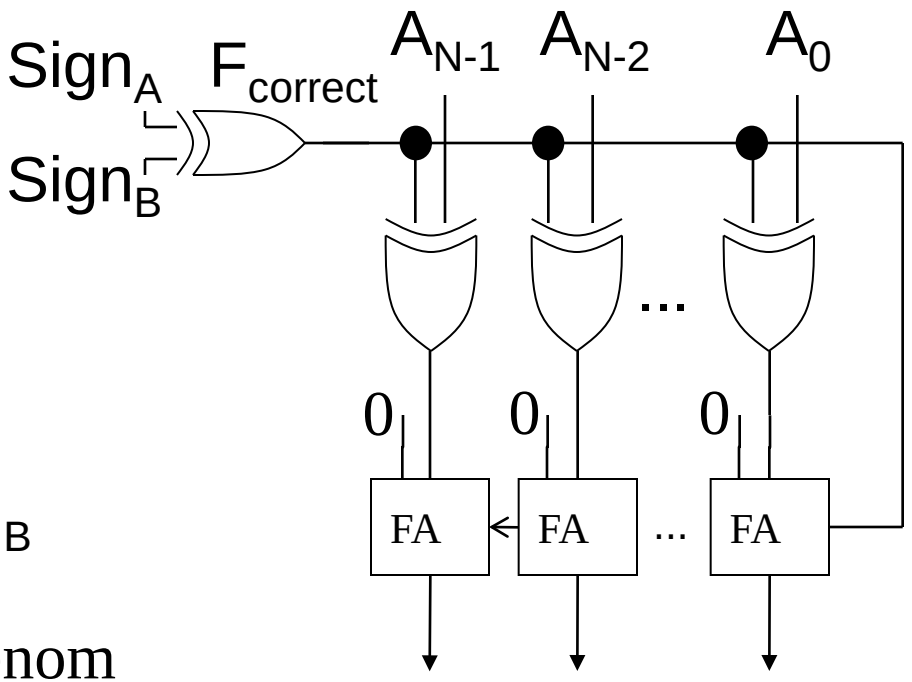
Två-komplementera till negativt tal om nödvändigt

William Sandqvist william@kth.se

Enkel lösning, forts …



$F_{correct}=Sign_A \oplus Sign_B$



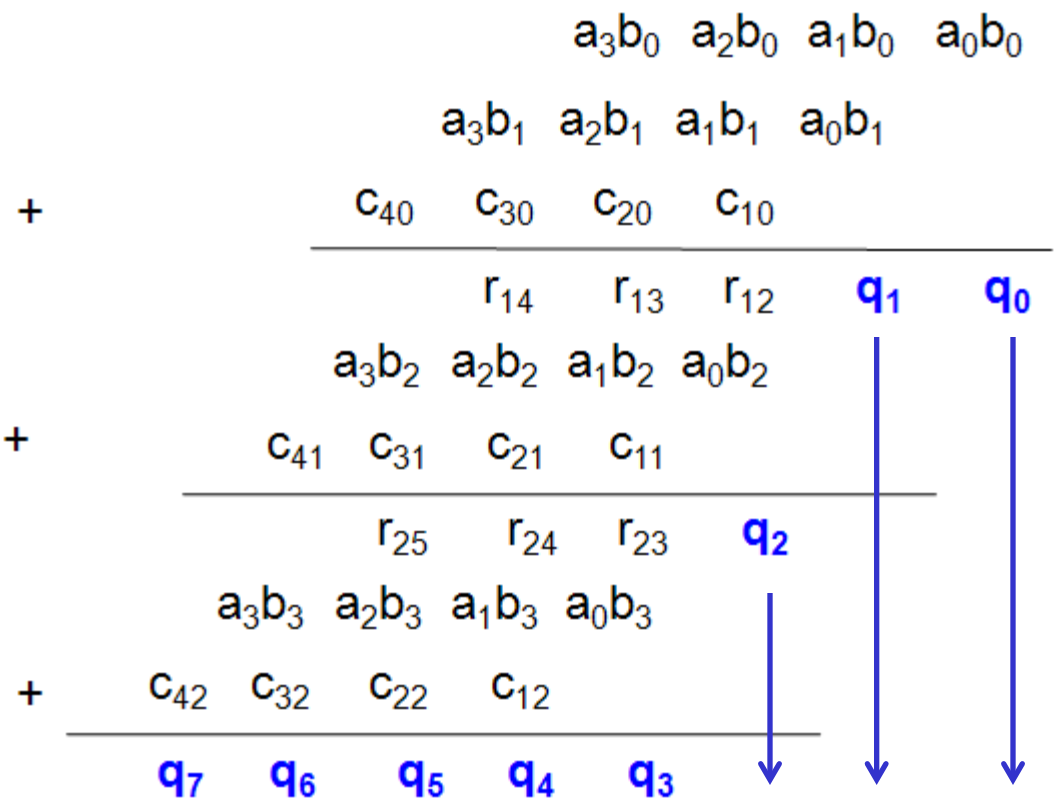
Korrektionen sker genom att man invertera bitarna och lägg till 1

2's complement of Product, when correction is needed.

William Sandqvist william@kth.se

Multiplikation (två positiva tal)

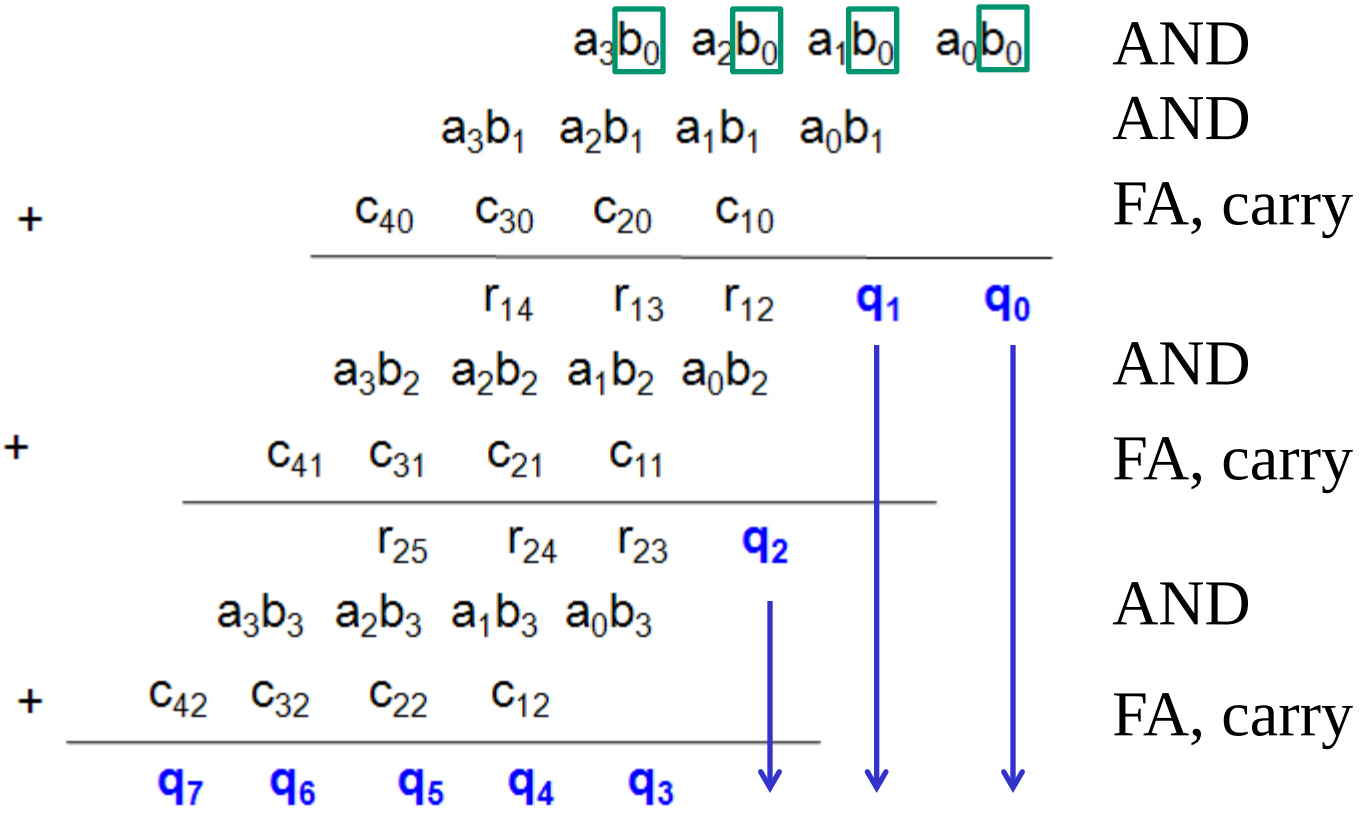
$$(a_3a_2a_1a_0)\cdot(b_3b_2b_1b_0)=(q_7q_6q_5q_4q_3q_2q_1q_0)$$



William Sandqvist william@kth.se

Multiplikation (två positiva tal)

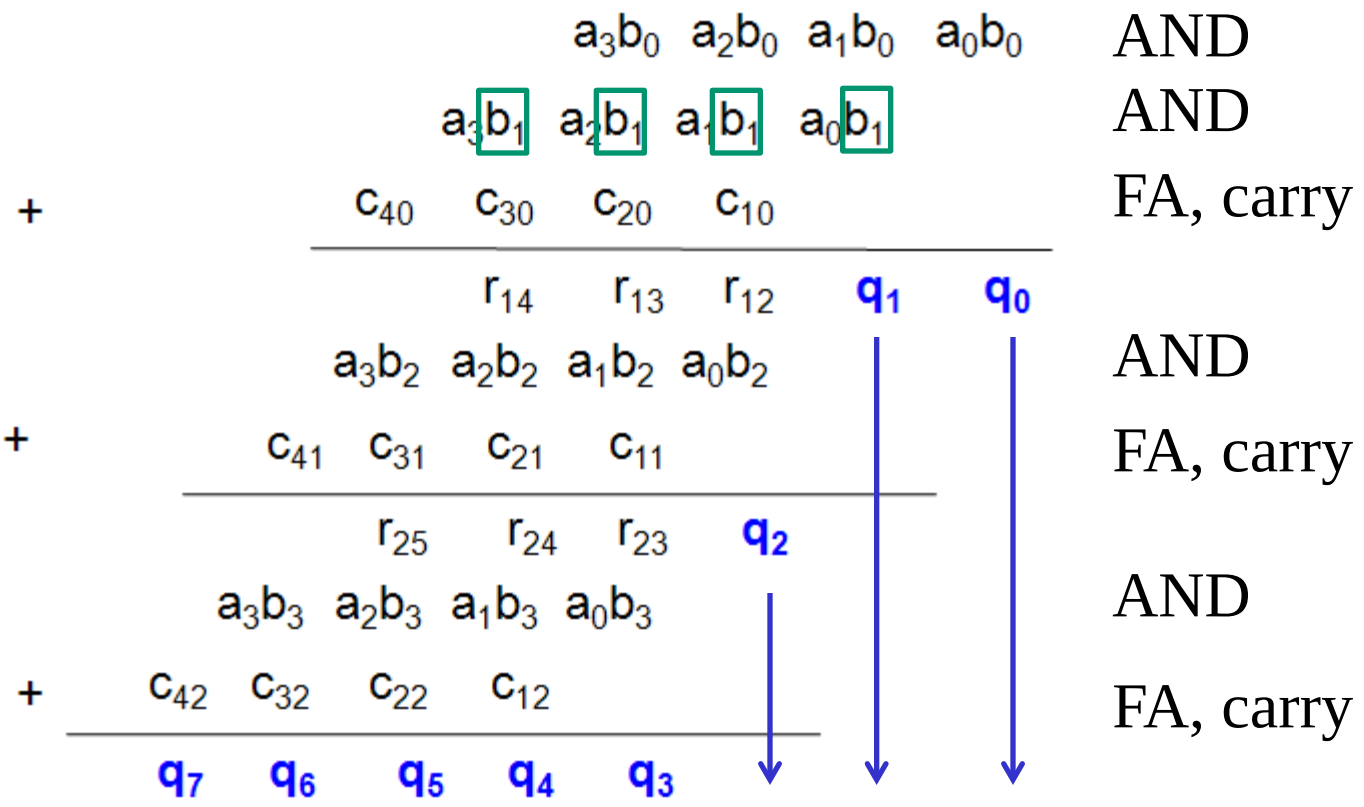
$$(a_3a_2a_1a_0)\cdot(b_3b_2b_1b_0)=(q_7q_6q_5q_4q_3q_2q_1q_0)$$



William Sandqvist william@kth.se

Multiplikation (två positiva tal)

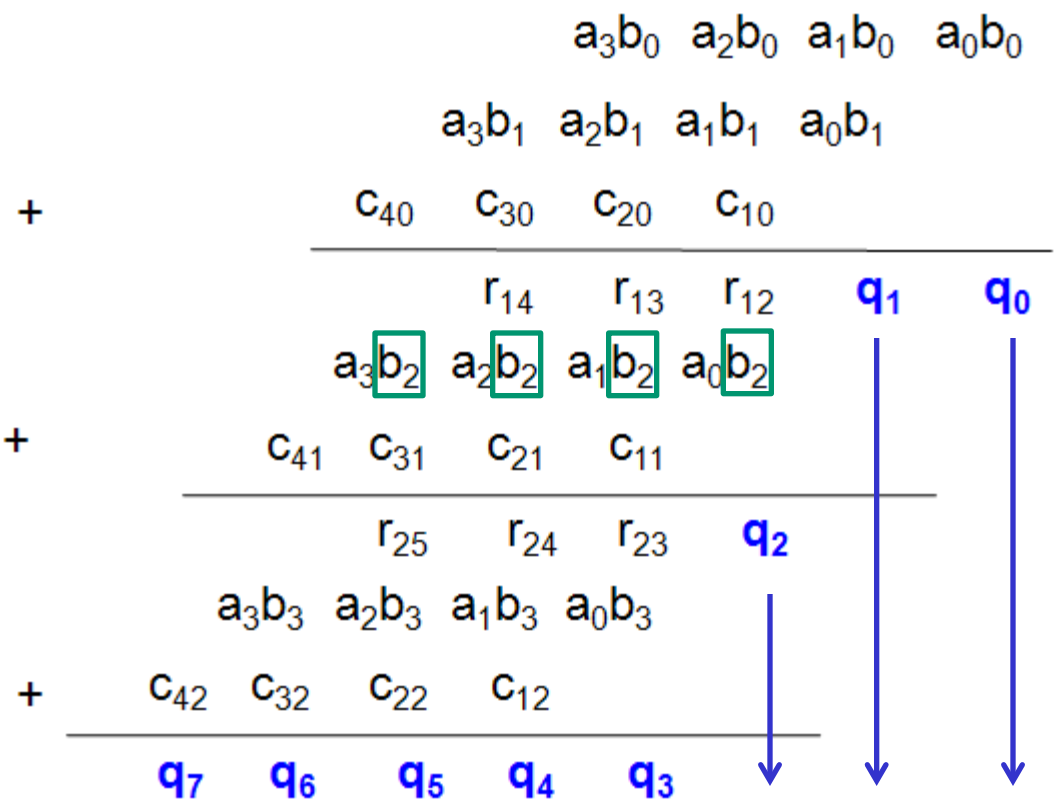
$$(a_3a_2a_1a_0)\cdot(b_3b_2b_1b_0)=(q_7q_6q_5q_4q_3q_2q_1q_0)$$



William Sandqvist william@kth.se

Multiplikation (två positiva tal)

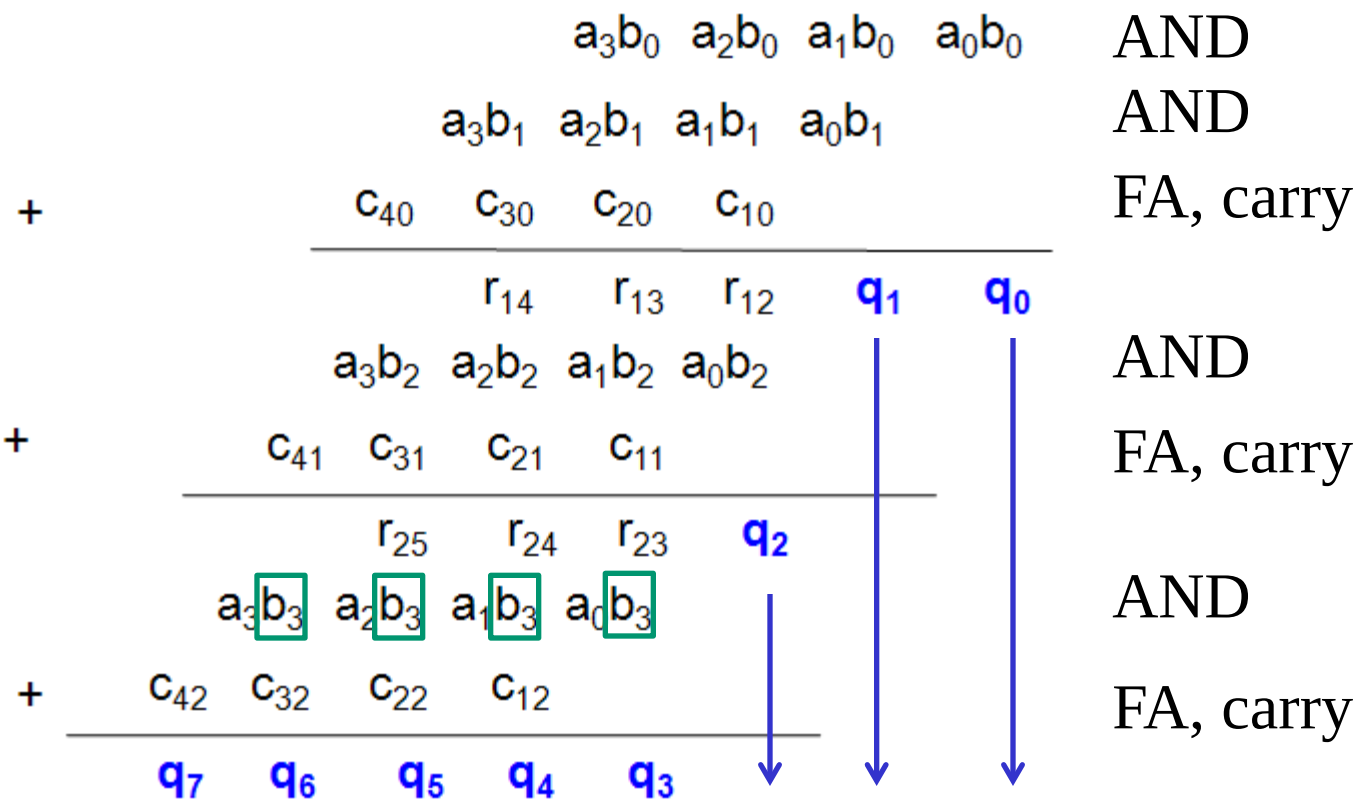
$$(a_3a_2a_1a_0)\cdot(b_3b_2b_1b_0)=(q_7q_6q_5q_4q_3q_2q_1q_0)$$



William Sandqvist william@kth.se

Multiplikation (två positiva tal)

$$(a_3a_2a_1a_0)\cdot(b_3b_2b_1b_0)=(q_7q_6q_5q_4q_3q_2q_1q_0)$$

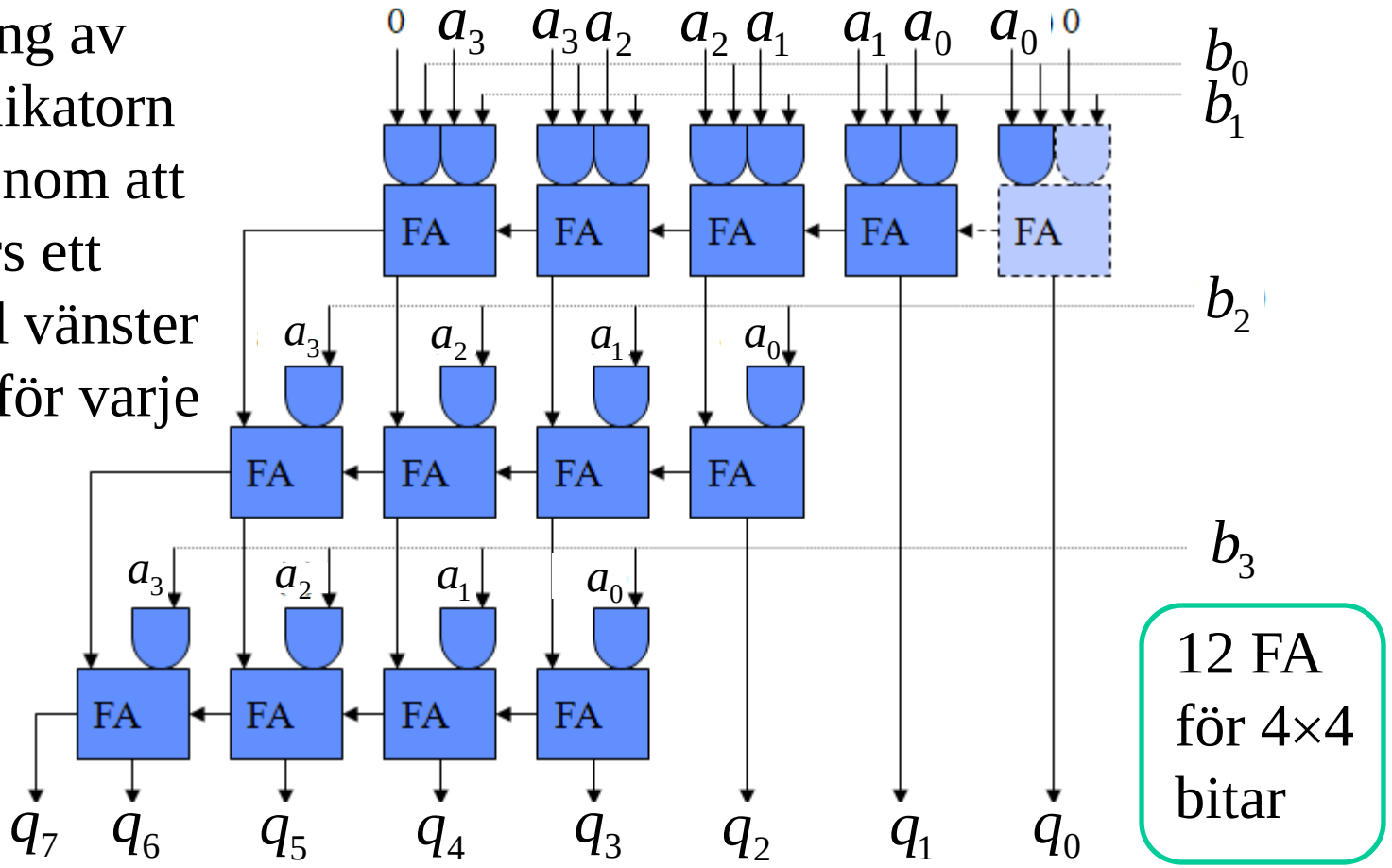


William Sandqvist william@kth.se

$$(a_3a_2a_1a_0)\cdot(b_3b_2b_1b_0)=(q_7q_6q_5q_4q_3q_2q_1q_0)$$

Multiplikation (två positiva tal)

Skiftning av multiplikatorn sker genom att den förs ett steg till vänster i nätet för varje nivå



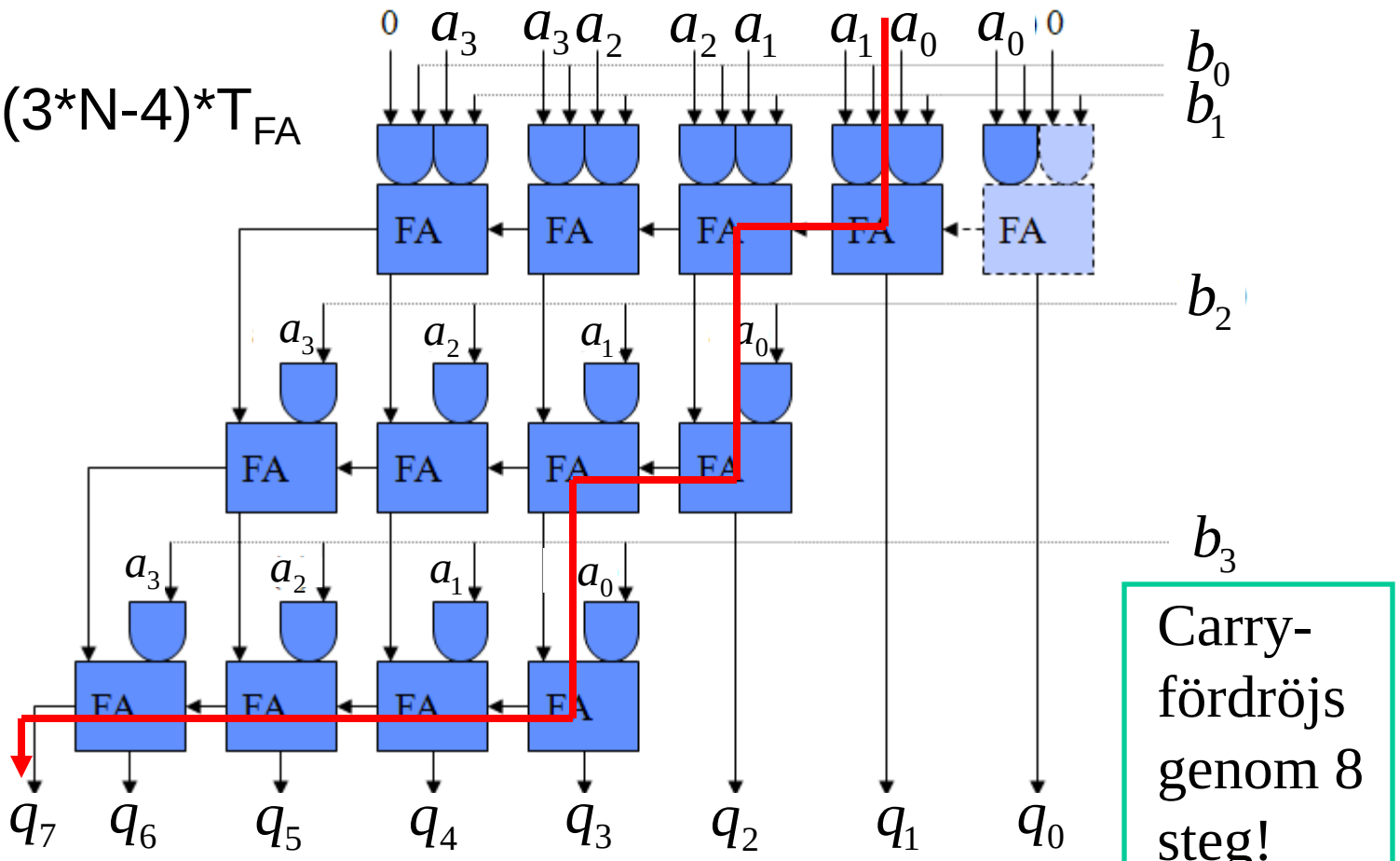
12 FA för 4×4 bitar

William Sandqvist william@kth.se

$$(a_3a_2a_1a_0)\cdot(b_3b_2b_1b_0)=(q_7q_6q_5q_4q_3q_2q_1q_0)$$

Multiplikation (två positiva tal)

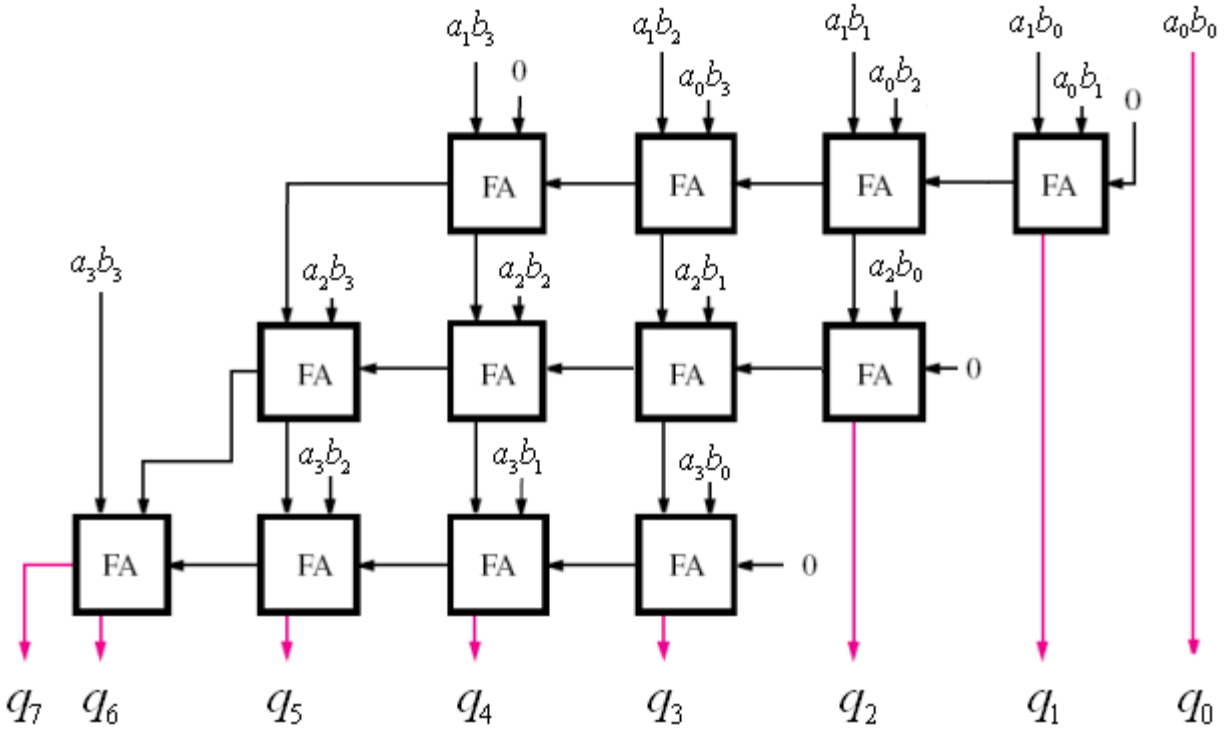
T_{MUL}~(3*N-4)*T_{FA}



Carry-fördröjs genom 8 steg!

William Sandqvist william@kth.se

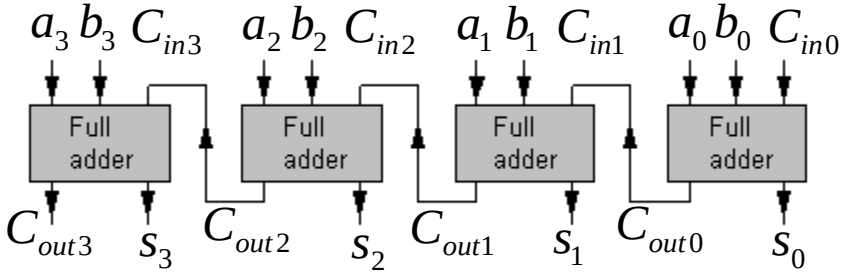
Kan bitarna adderas i någon annan ordning?



William Sandqvist william@kth.se

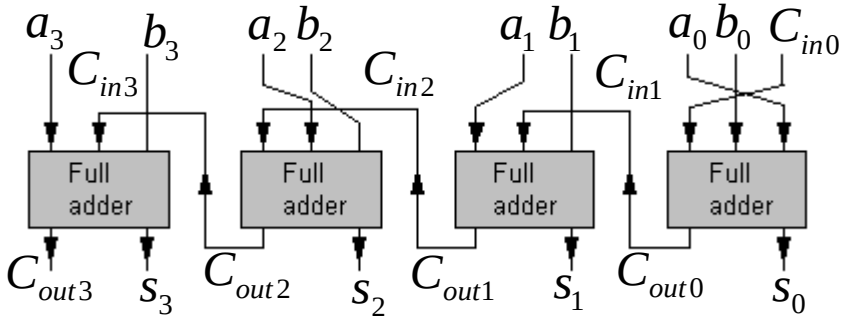
Snabbfråga

Ripple Carry-adderaren:



- Vad händer om man *förväxlar* ledningarna a b C_{in} ?

Här har någon rört till det ordentligt med ledningarna!



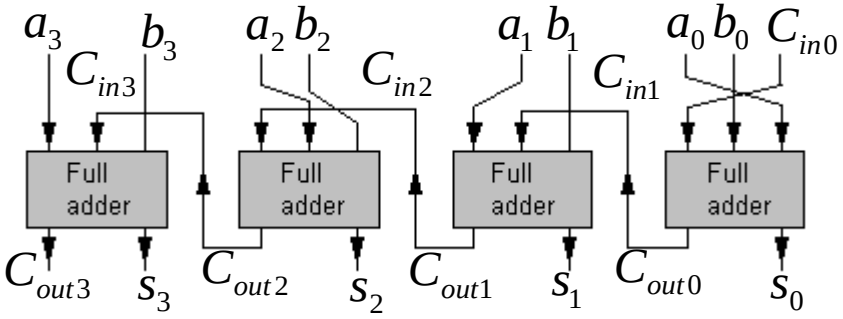
a) Katastrof!

b) Don’t care!

Diskutera fram svaret tillsammans med din bänkgranne!

William Sandqvist william@kth.se

Snabbfråga



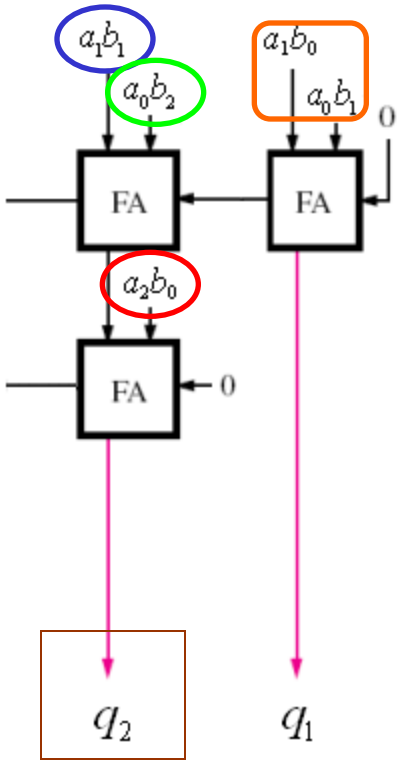
b) Don’t care!

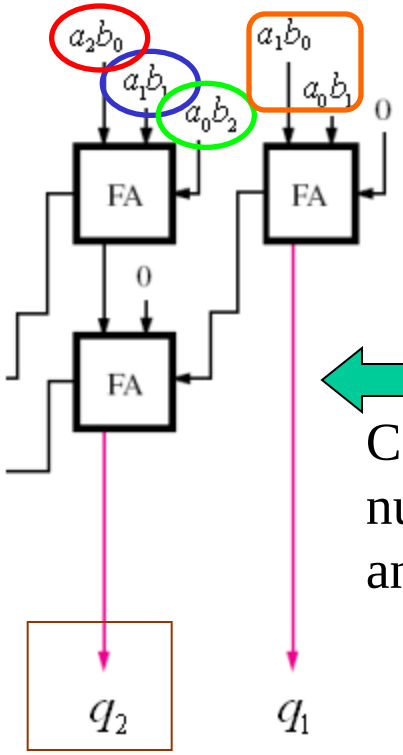
- Summabiten är lika med ”**udda paritet”** av inbitarna.
- Carry out är lika med ”**majoritetsvärdet”** av inbitarna.

I ingendera fallen har bitarnas inbördes ordning någon som helst betydelse.

Kan bitarna adderas i någon annan ordning?

Så här får q_2 samma resultat men med en annan bitordning!





Carry förs nu direkt till andra raden!

William Sandqvist william@kth.se

$$(a_3a_2a_1a_0)\cdot(b_3b_2b_1b_0)=(q_7q_6q_5q_4q_3q_2q_1q_0)$$

En **snabbare** lösning - Carry-Save Multiplier (BV: sida 311)

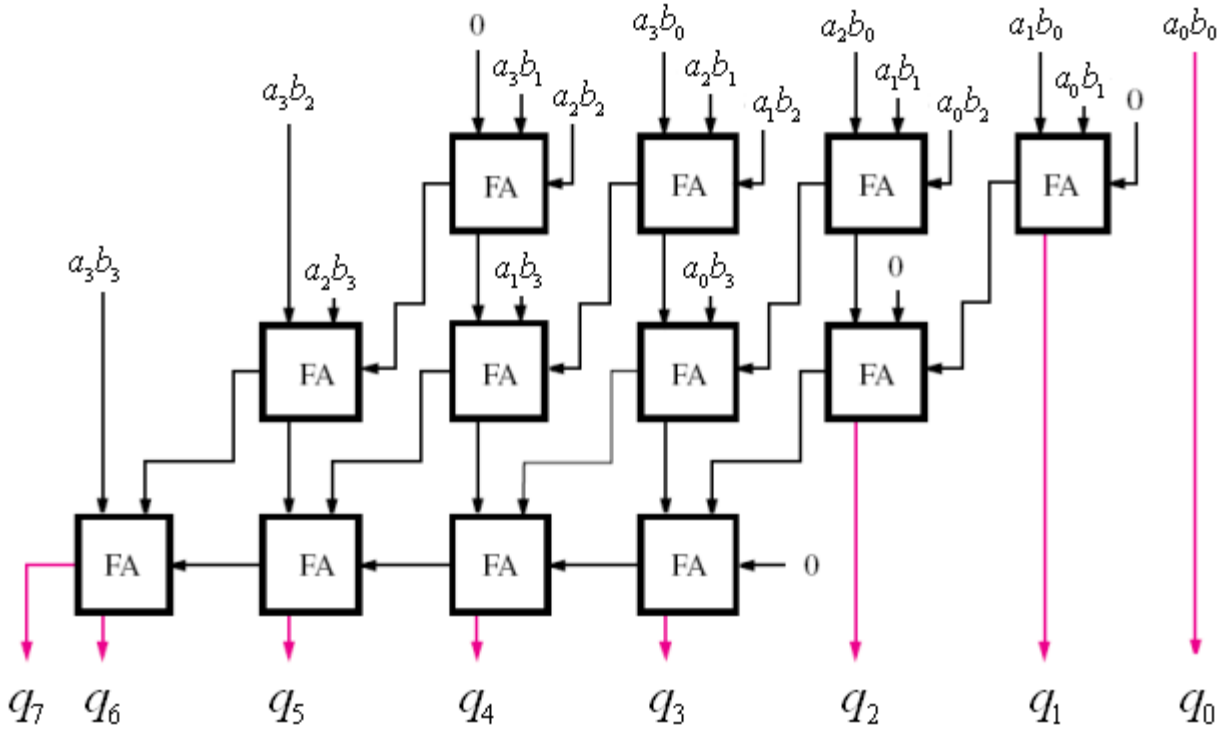


Figure 5.45 Multiplier carry-save array.

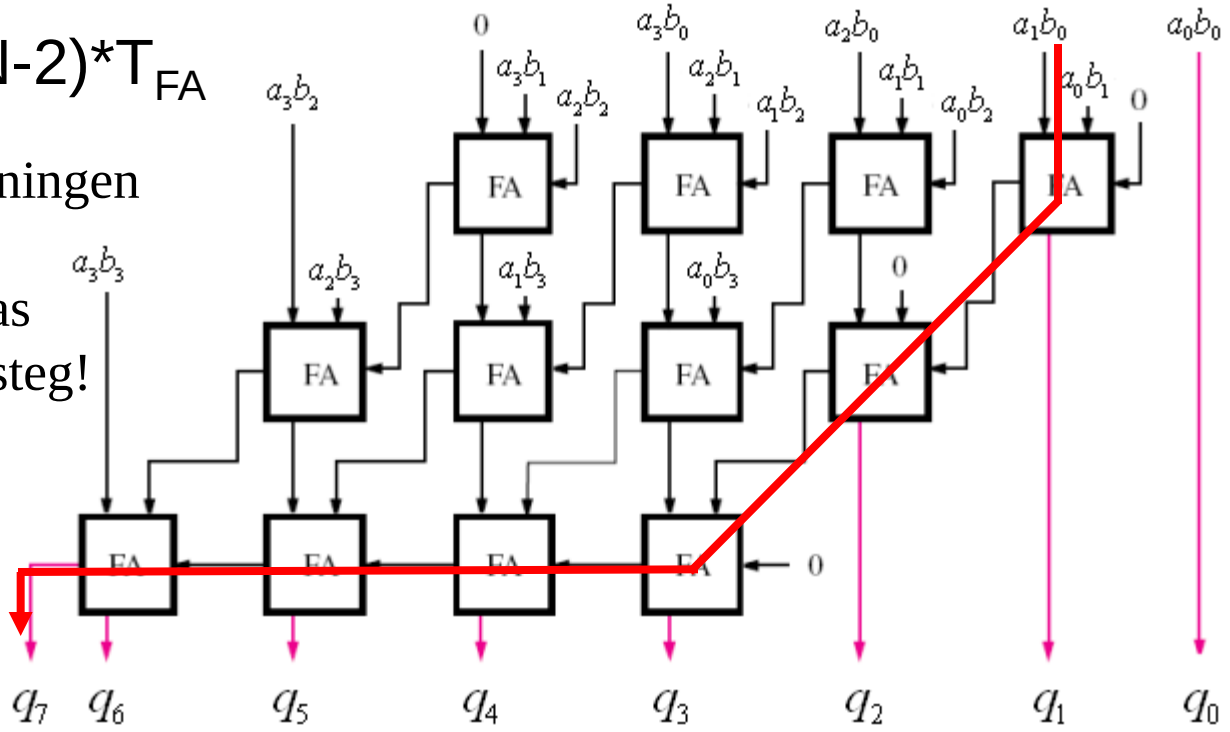
William Sandqvist william@kth.se

$$(a_3a_2a_1a_0)\cdot(b_3b_2b_1b_0)=(q_7q_6q_5q_4q_3q_2q_1q_0)$$

En **snabbare** lösning - Carry-Save Multiplier (BV: sida 311)

$T_{MUL} \sim (2*N-2)*T_{FA}$

Minskar fördröjningen eftersom carry utgången kopplas direkt till nästa steg!



Carry-fördröjs nu genom 6 steg!

Figure 5.45 Multiplier carry-save array.

William Sandqvist william@kth.se

$$(a_3a_2a_1a_0)\cdot(b_3b_2b_1b_0)=(q_7q_6q_5q_4q_3q_2q_1q_0)$$

En **snabbare** lösning - Carry-Save Multiplier (BV: sida 311)

Extra tips:
snabb Carry-look ahead adderare här!

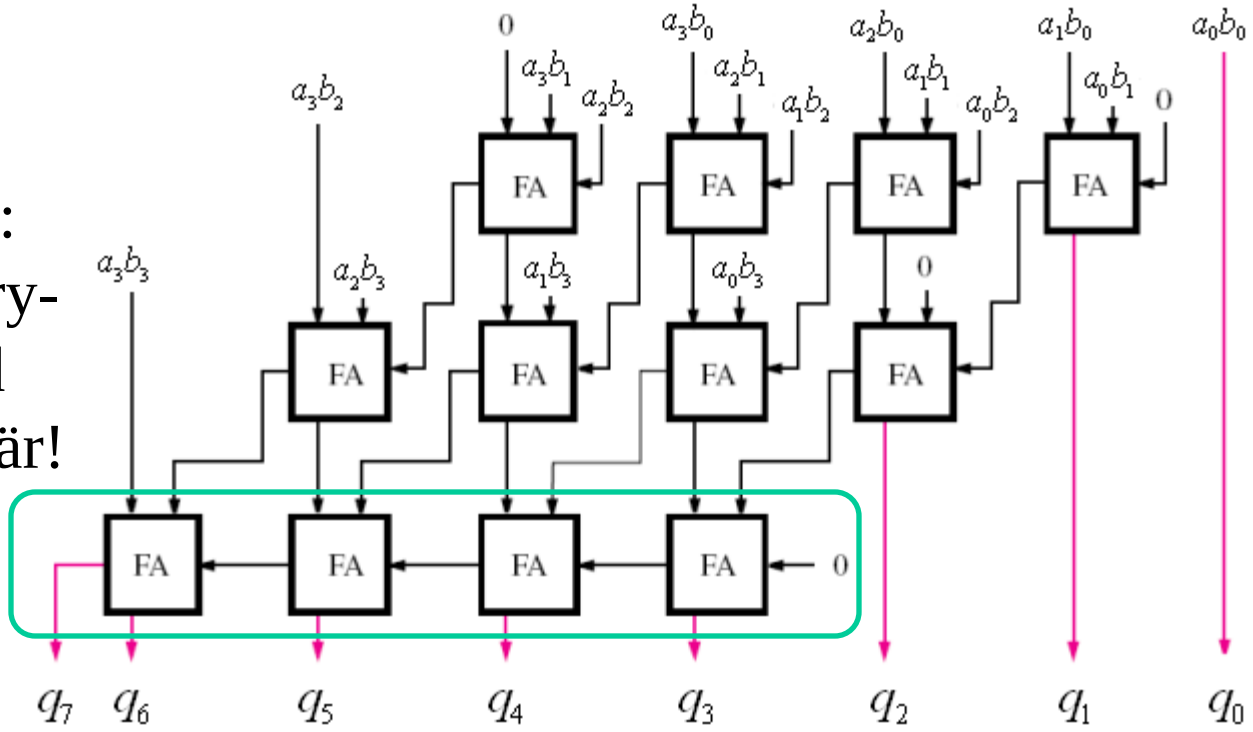


Figure 5.45 Multiplier carry-save array.

William Sandqvist william@kth.se

William Sandqvist william@kth.se

Multiplikation med två

0101*2 = 1010	(5*2=10)
1010*2 = 10100	(-6*2=-12)
01010101*2 = 010101010	(85*2=190)
10010101*2 = 100101010	(-107*2=-214)

jmfr multiplikation med 10 i basen 10:

63*10 = 630, -63*10 = -630 etc.

William Sandqvist william@kth.se

Multiplikation med 2^n

$0101*2 = 1010$ (5*2=10)
$0101*2^2 = 10100$ (5*4=20)
$0101*2^3 = 101000$ (5*8=40)
$0101*2^4 = 1010000$ (5*16=80)

jmfr multiplikation med 10 i basen 10:

6*10 = 60, 6*100 = 600, 6*1000 = 6000 etc.

William Sandqvist william@kth.se

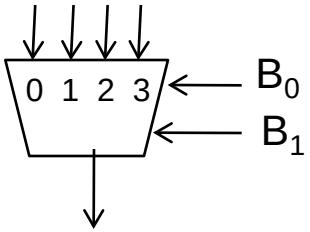
Multiplikation med 2^n

En multiplikation med 2^n kan göras med genom att skifta alla bitar n steg till vänster och att fylla på med nollor

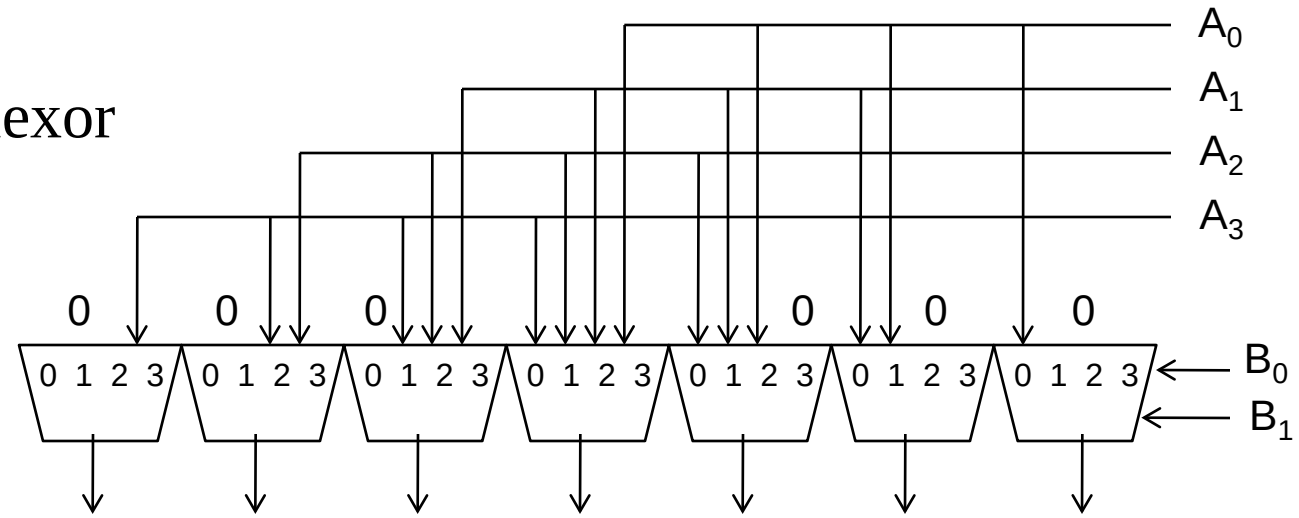
13×8 kan beräknas genom att skifta (01011) tre bitar till höger

- **Resultat: 01011000 motsvarar $(104)_{10}$**
- **Observera att man behöver flera bitar för att representera resultatet!**

Barrel-shifter



Multiplexor



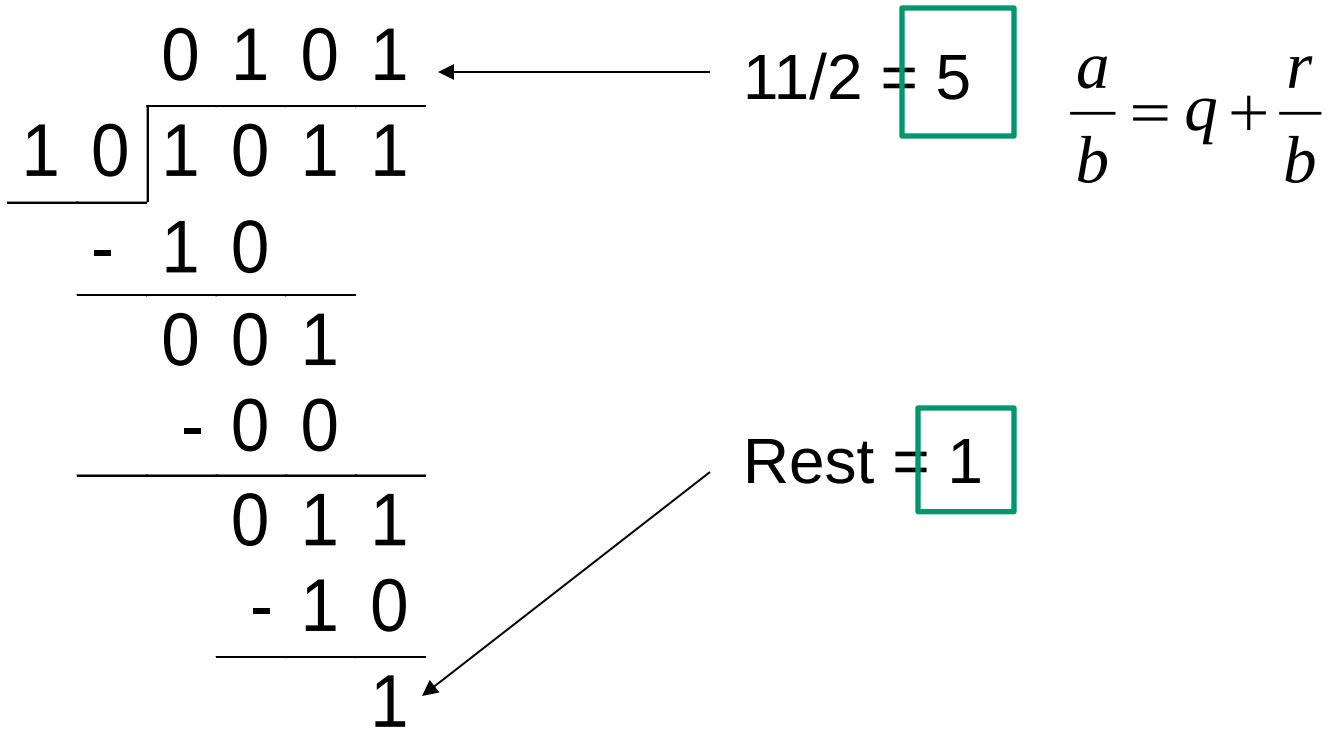
MUX

Multiplikation med (2^0, 2^1, 2^2, 2^3) – dvs 1, 2, 4, 8

$$(S_6 S_5 S_4 S_3 S_2 S_1 S_0) = (A_3 A_2 A_1 A_0) \cdot 2^{(B_1 B_0)}$$

William Sandqvist william@kth.se

Division mellan två positiva heltal (BV sid 693 fig 10.21 b)



Lite mer detaljerat …

$$\frac{a}{b} = q + \frac{r}{b}$$

```
        0 1 0 1
    ---------
1 0 | 0 1 0 1 1
    - 0 0
    -------
        1 0
      - 1 0
      -----
        0 0 1
          - 0 0
        -------
            0 1 1
              - 1 0
            -------
                1
```

11/2 = 5

Rest = 1

William Sandqvist william@kth.se

Lite mer detaljerat …

$$\frac{a}{b} = q + \frac{r}{b} \qquad \frac{11}{2} = 5 + \frac{1}{2}$$

a:		0	1	0	1	1
b:	1	0				

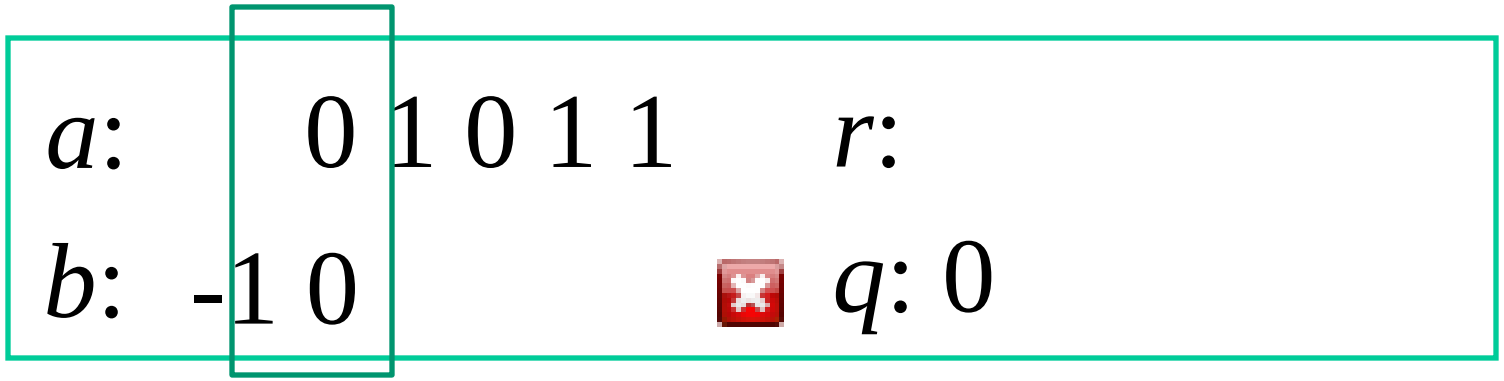
r:

q:

William Sandqvist william@kth.se

Lite mer detaljerat …

$$\frac{a}{b} = q + \frac{r}{b} \qquad \frac{11}{2} = 5 + \frac{1}{2}$$



William Sandqvist william@kth.se

Lite mer detaljerat …

$$\frac{a}{b} = q + \frac{r}{b} \qquad \frac{11}{2} = 5 + \frac{1}{2}$$

a:		0	1	0	1	1	r:	
b:	-1	0					q:	0 0

William Sandqvist william@kth.se

Lite mer detaljerat …

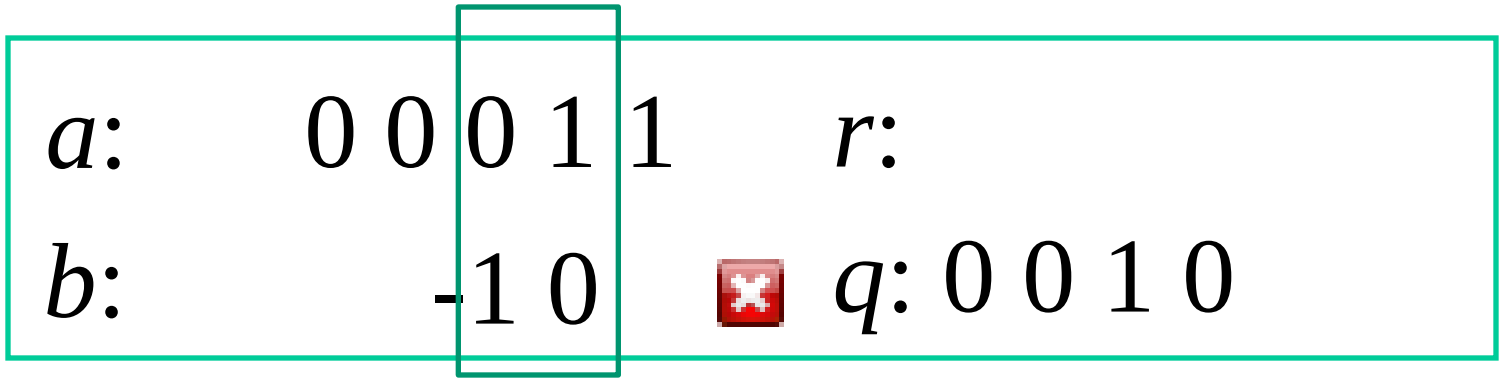
$$\frac{a}{b} = q + \frac{r}{b} \qquad \frac{11}{2} = 5 + \frac{1}{2}$$

a:	0	1	0	1	1		r:	
b:		-1	0			✔	q: 0	0 1

William Sandqvist william@kth.se

Lite mer detaljerat …

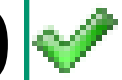
$$\frac{a}{b} = q + \frac{r}{b} \qquad \frac{11}{2} = 5 + \frac{1}{2}$$



Lite mer detaljerat …

$$\frac{a}{b} = q + \frac{r}{b} \qquad \frac{11}{2} = 5 + \frac{1}{2}$$

a:	0	0	0	1 1
b:			-1	0



r:

q: 0 0 1 0 1

William Sandqvist william@kth.se

Lite mer detaljerat …

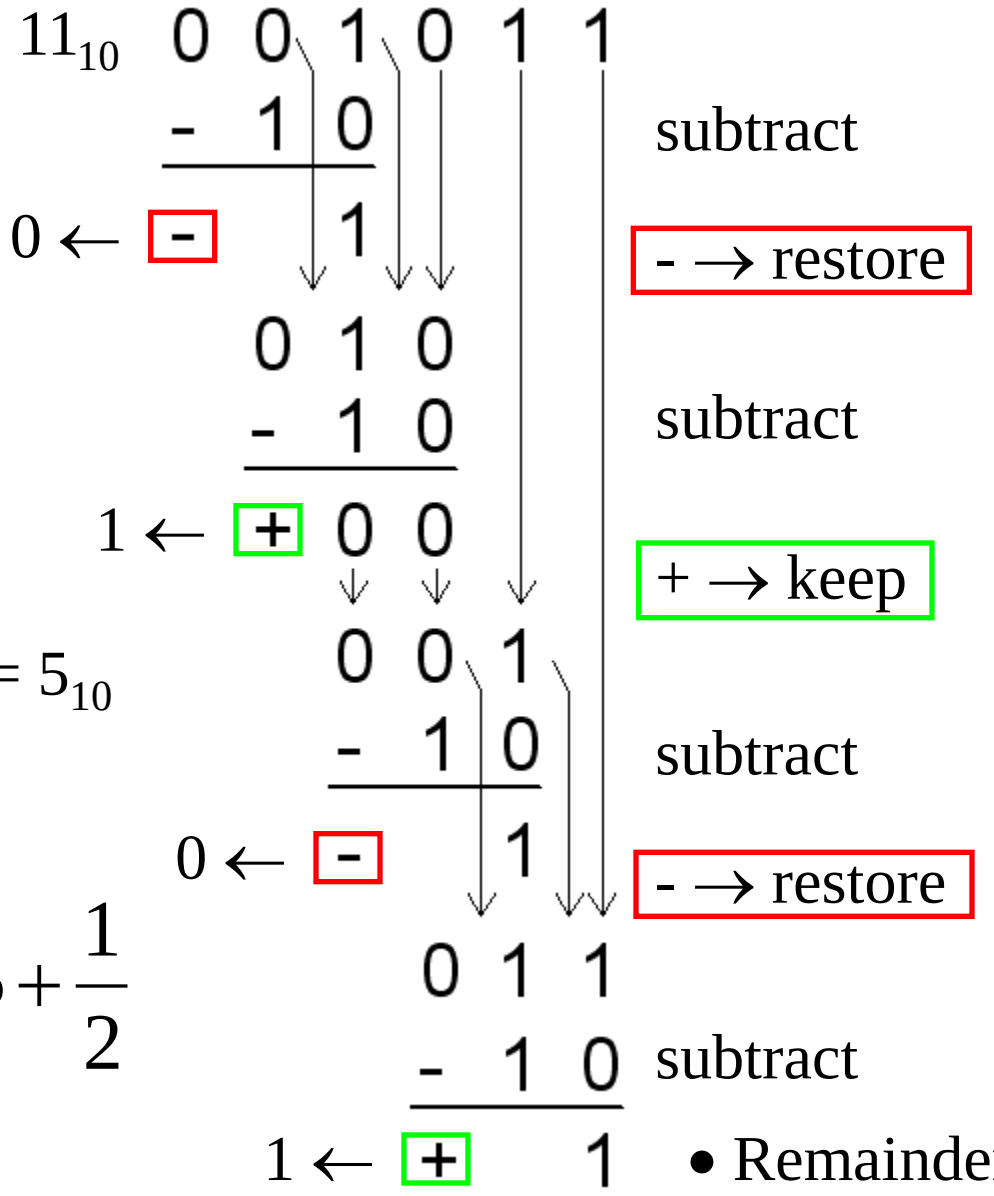
$$\frac{a}{b} = q + \frac{r}{b} \qquad \frac{11}{2} = 5 + \frac{1}{2}$$

0 0 0 0 1 → r: 1

q: 0 0 1 0 1

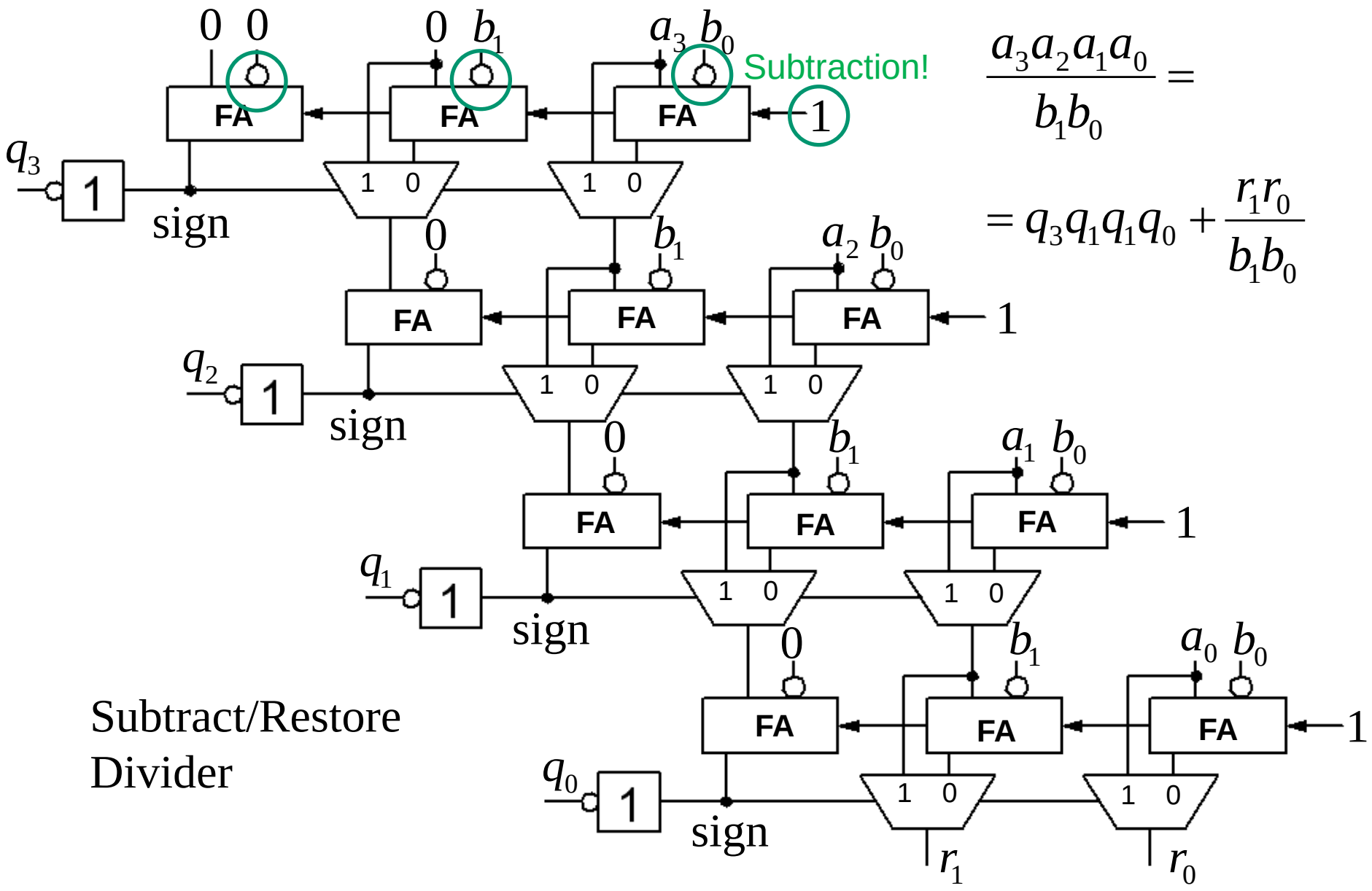
William Sandqvist william@kth.se

- Dividend $1011_2 = 11_{10}$
- Divisor $10_2 = 2_{10}$



- Quotient $0101_2 = 5_{10}$

$$\frac{a}{b} = q + \frac{r}{b} \qquad \frac{11}{2} = 5 + \frac{1}{2}$$

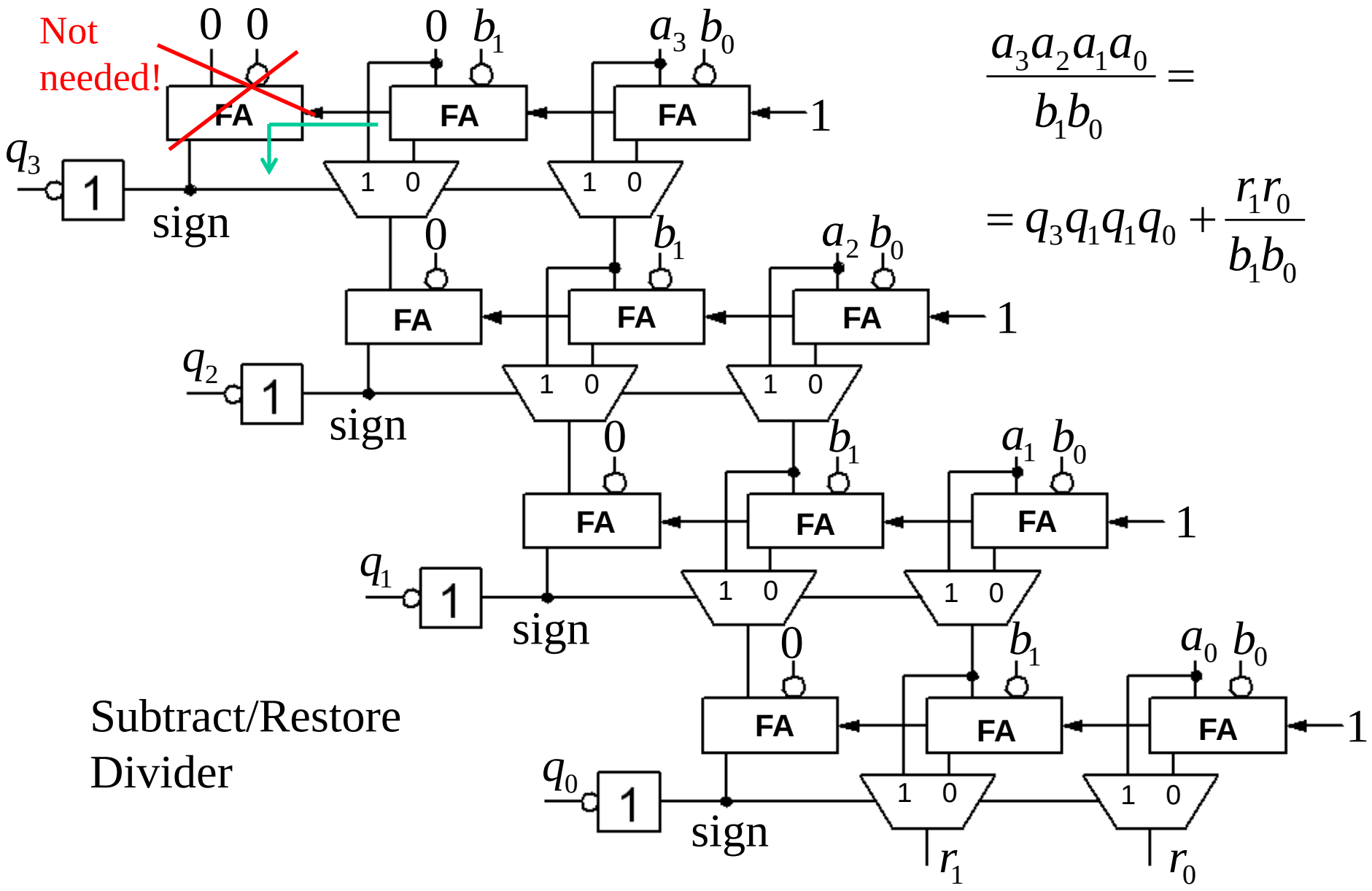


$$\frac{a_3 a_2 a_1 a_0}{b_1 b_0} =$$

$$= q_3 q_1 q_1 q_0 + \frac{r_1 r_0}{b_1 b_0}$$

Subtract/Restore Divider

William Sandqvist william@kth.se



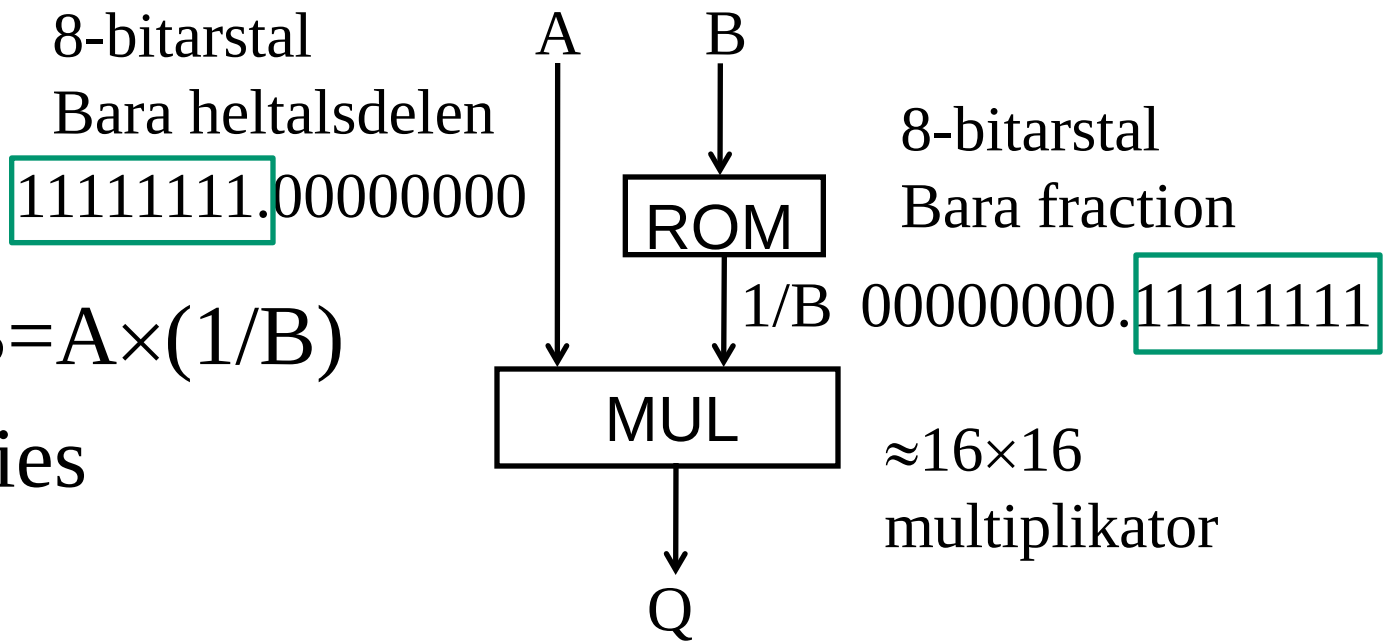
$$\frac{a_3 a_2 a_1 a_0}{b_1 b_0} =$$

$$= q_3 q_1 q_1 q_0 + \frac{r_1 r_0}{b_1 b_0}$$

Subtract/Restore Divider

William Sandqvist william@kth.se

Using a multiplier and a ROM for division



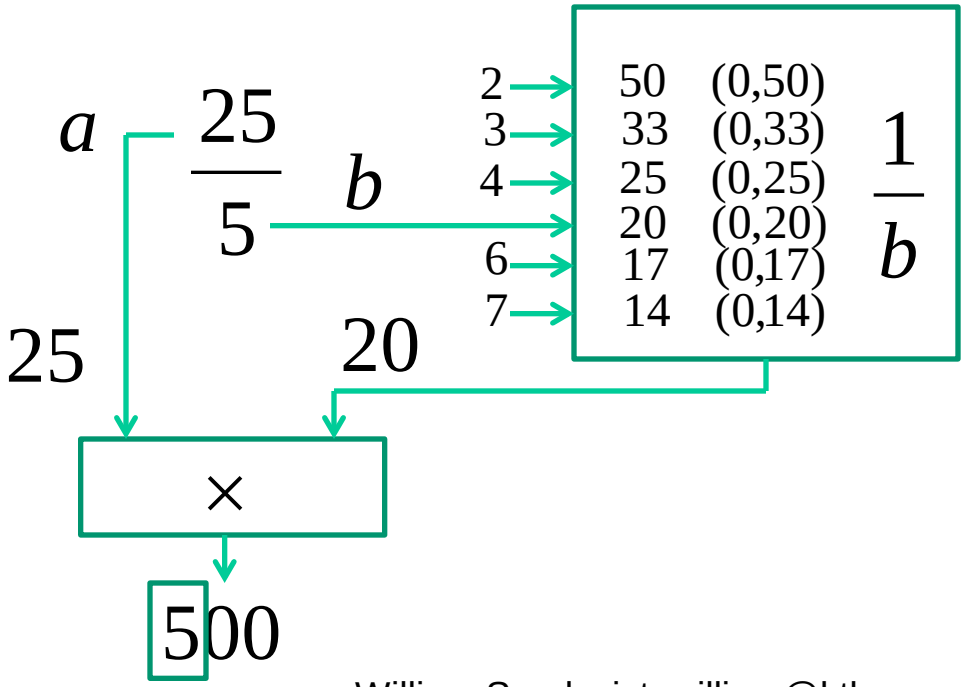
$$Q=A/B=A\times(1/B)$$

- Properties
  - Fast
  - **VERY** big multiplicator!

Hur många Byte måste ROM innehålla om A och B är 8 bitars tal?

Using a multiplier and a ROM for division

$$\frac{a}{b} = \frac{25}{5} = 25 \times \frac{1}{5} = 25{,}0 \cdot 0{,}2 = 5{,}00$$



The **Pentium** bug was about wrong value in a lookup table!

William Sandqvist william@kth.se

Division med negativa heltal

Division med negativa tal är ganska knepigt.
Ett sätt att utföra divisionen ändå

Konvertera till positiva tal
Håll reda på resultatets tecken

$$(+)\cdot(+)\Rightarrow(+) \quad (+)\cdot(-)\Rightarrow(-)$$

$$(-)\cdot(+)\Rightarrow(-) \quad (-)\cdot(-)\Rightarrow(+)$$

Två-komplementera till negativt tal om nödvändigt

William Sandqvist william@kth.se

Division med 2

0 → 01010/2 = 00101 (10/2 = 5)
1 → 10100/2 = 11010 (-12/2 = -6)

jmfr division med 10 i basen 10:
630/10 = 63, -630/10 = -63 etc.

William Sandqvist william@kth.se

Logiskt och **Aritmetisk** shift höger

Man skiljer mellan logisk och aritmetiskt shift

***Logisk shift* höger shiftar bara till höger. Bitarna skall ej tolkas som ett tal. Man fyller bara på med 0:or.**

***Aritmetisk shift* höger behandlar bitarna som ett tal. Teckenbiten behålls vid shift. Man fyller på till vänster med teckenbiten.**

Division med 2^n

$1010/2 = 101$ (10/2=5)

$10100/2^2 = 101$ (20/4=5)

$101000/2^3 = 101$ (40/8=5)

$1010000/2^4 = 101$ (80/16=5)

jmfr division med 10 i basen 10:

60/10 = 6, 600/100 = 6, 6000/1000 = 6 etc.

William Sandqvist william@kth.se

Division med 2^n

En division med 2^n kan göras med genom att skifta alla bitar n steg till höger och att fylla på med nollor

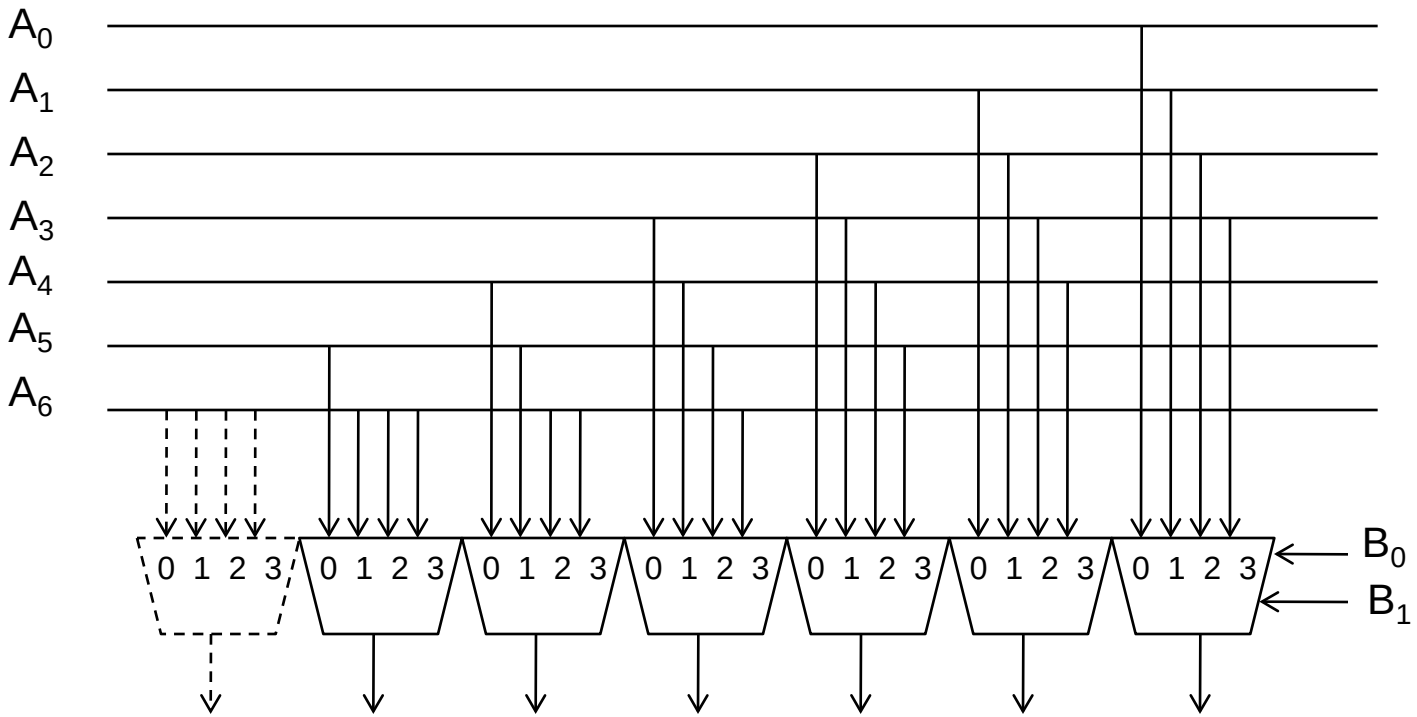
Observera att resultatet inte nödvändigtvis är korrekt, eftersom man egentligen behöver bitar ”efter kommatecknet” (det är heltalsdivision).

17/4 motsvarar att skifta 010001 2-bitar till höger

- **Resultat: 000100 = $(4)_{10}$**
- **Eftersom $(0.25)_{10}$ inte kan representeras är resultatet inte korrekt!**

William Sandqvist william@kth.se

Barrel-shifter



Division med (2^0, 2^1, 2^2, 2^3) – dvs 1, 2, 4, 8

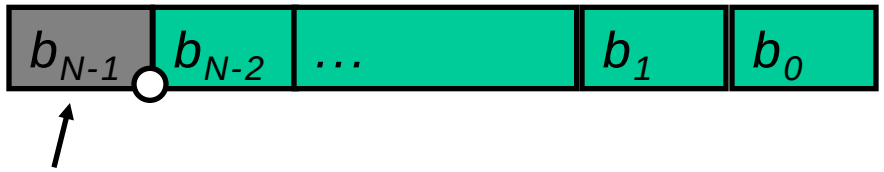
$$(S_6 S_5 S_4 S_3 S_2 S_1 S_0) = (A_7 A_6 A_5 A_4 A_3 A_2 A_1 A_0) / 2^{(B_1 B_0)}$$

William Sandqvist william@kth.se

Fix-tal (Fixed-point numbers)

Två-komplementsrepresentation

$B = b_{N-1} . b_{N-2} \ldots b_1 b_0$ where $b_i \in \{0,1\}$



Sign Bit

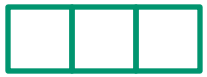
Decimalt värde

$$FiP(B) = -b_{N-1} 2^0 + b_{N-2} 2^{-1} + \ldots + b_1 2^{-(N-2)} + b_0 2^{-(N-1)}$$

Detta format kallas också för Q_{N-1}-*format* eller *fractional representation*

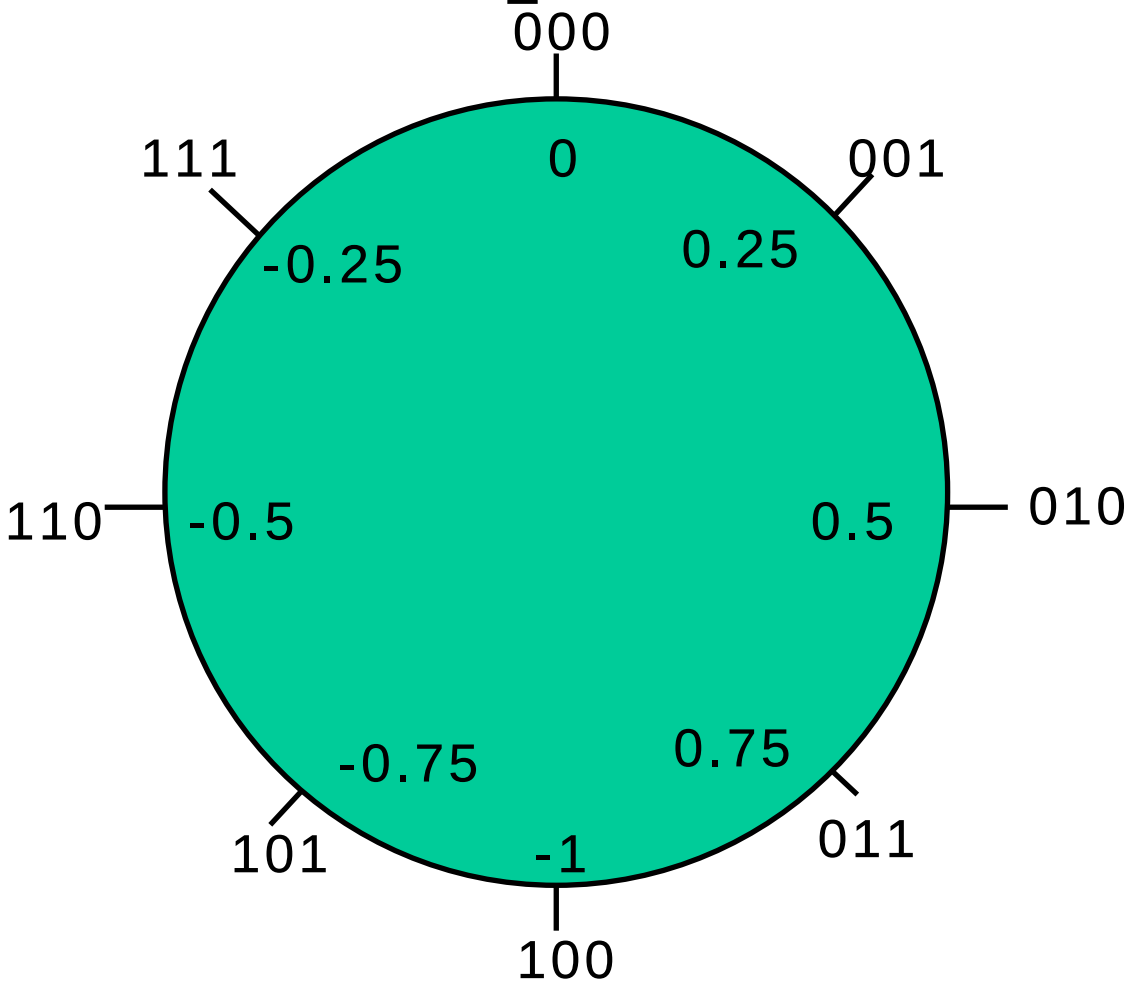
William Sandqvist william@kth.se

Fixed-Point Q2-Representation



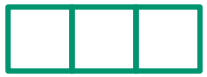
Se detta som ett pedagogiskt exempel:
Tre-bitars fixpunktstal

Ett talsystem med bara 8 tal är ju i praktiken oanvändbart!

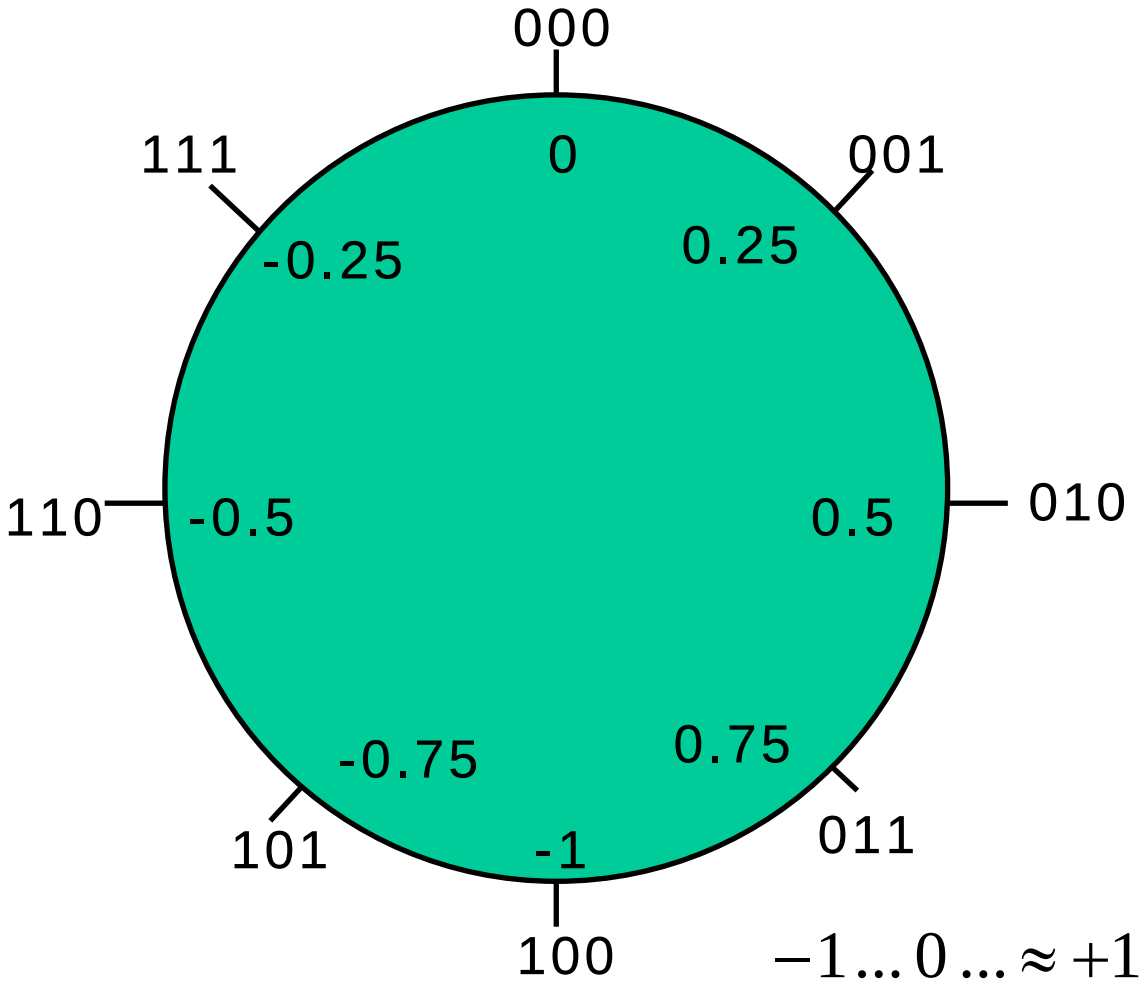


William Sandqvist william@kth.se

Fixed-Point Q2-Representation



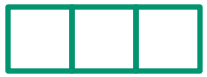
0.11	0,75
0.10	0,5
0.01	0,25
0.00	0
1.11	−0,25
1.10	−0,5
1.01	−0,75
1.00	−1.0

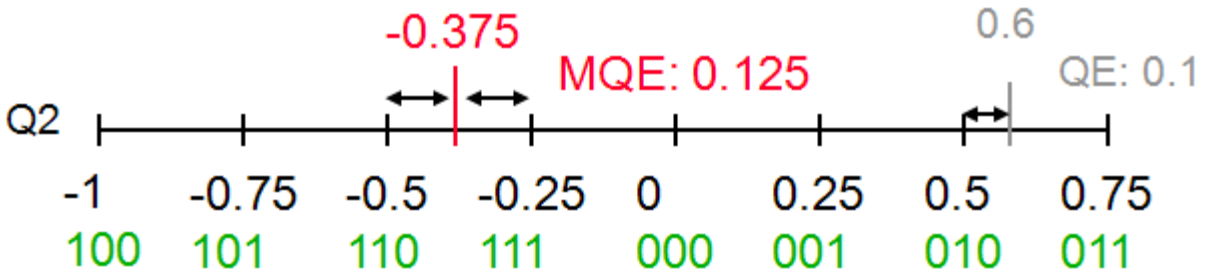


$-1 \ldots 0 \ldots \approx +1$

William Sandqvist william@kth.se

Maximalt kvantiseringsfel





- Maximum Quantization Error:
  - Since not all numbers can be represented, quantization errors occur.

Multiplikation i Q-formatet

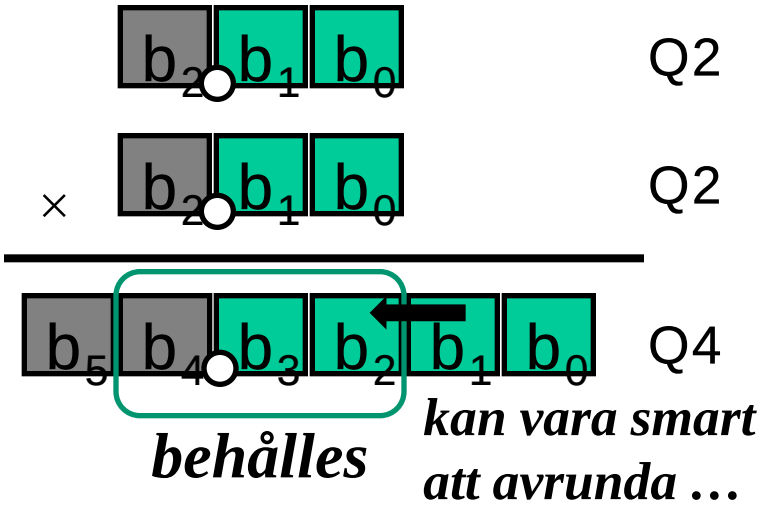
Multiplikation orsakar inte overflow i Q-formatet, men kan resultera i *förlust av precision*

$(1.10)_2 \times (0.11)_2$

$= (1.1010)_2$ (Q4-format)

$= (1.10)_2$ (Q2-format)

Generellt:



Q-formatet

Fixpunktsmultiplikation och fixpunktsdivision utnyttjar samma hårdvara som heltalsmultiplikation och heltalsdivision.

Användning: Digitala filter – tex. ljudkortet

William Sandqvist william@kth.se

William Sandqvist william@kth.se

Flyt-tal (eng. Floating-Point Numbers)

- Ett flyt-tal representeras med en ***tecken-bit***, *exponent-bitar* och en mantissa *(**fraktions-bitar**)*

- Värdet beräknas som

  $FlP(B) = (-1)^s * (1.m) * 2^{\pm exp}$

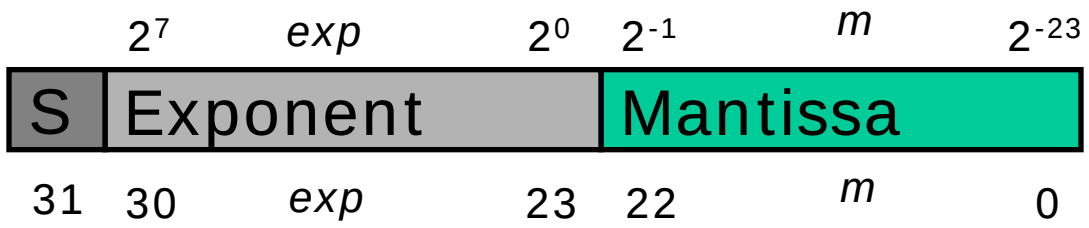
- Ofta är *exp* biaserad (har en offset), vilket då ger

  $FlP(B) = (-1)^s * (1.m) * 2^{exp-(bias)}$

William Sandqvist william@kth.se

IEEE-754

- Flyttals-standarden IEEE-754 definierar ett 32-bit flyttal som



- Värdet beräknas för en 8-bitars exponent enligt nedan

$$FlP(B) = (-1)^s * (1.m) * 2^{exp-(127)}$$

- Specialla bit pattern har reserverats för att representera negativ och positiv nolla

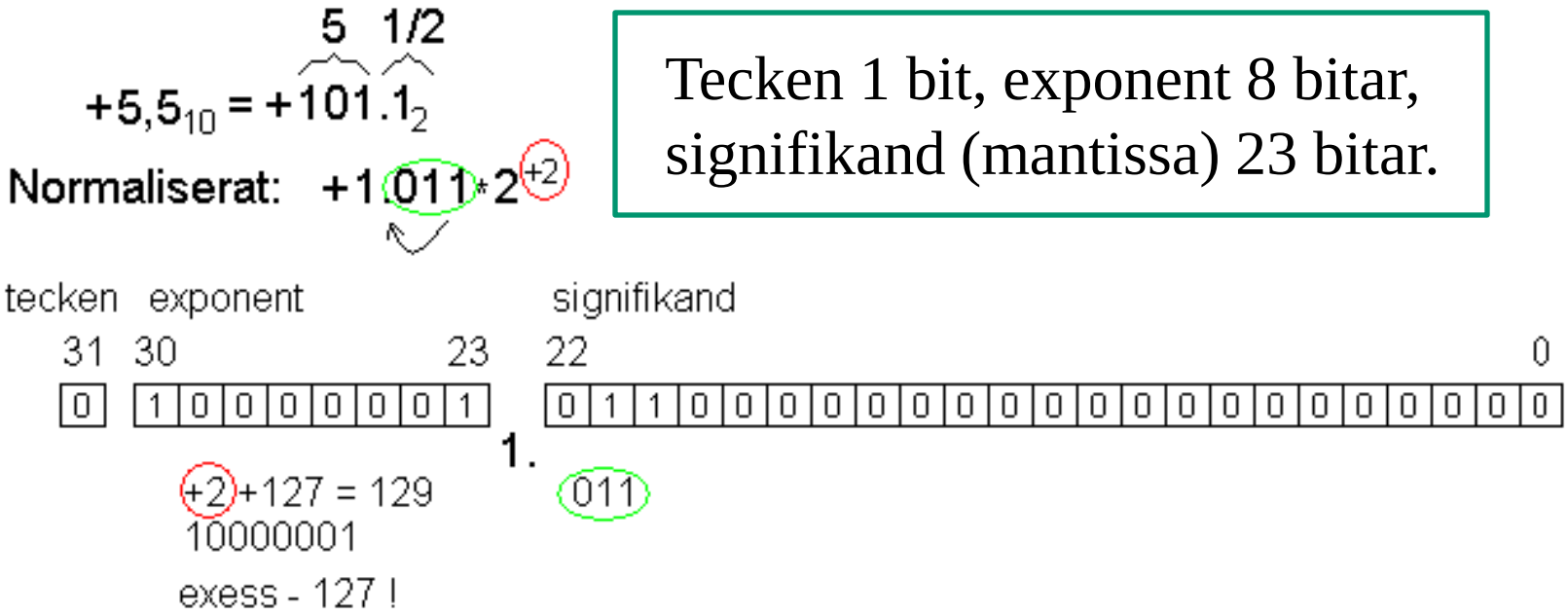
Floating-Point Numbers (IEEE)

- Exponent Values 1 to 254: normalized non-zero floating-point numbers; biased exponent (-126...+127)
- Exponent of zero and fraction of zero: positive or negative zero
- Exponent of ones and fraction of zero: positive or negative infinity
- Exponent of zero and fraction of non-zero: Denormalized number (true exponent is –126), represent numbers from 0 to 2^{-126}

  $$FlP(B) = (-1)^s * (\mathbf{0}.m) * 2^{-126}$$

- Exponent of ones with a non-zero fraction: ***NotANumber*** (Exception Condition)
- There is also a standard for a 64-bit number

IEEE – 32 bit float



Genom att exponenteten skrivs exess–127 kan flyttal storlekssorteras med vanlig heltalsaritmetik!

Behandlas igen i Datortekniken …

William Sandqvist william@kth.se

Decimalt additionsexempel

normalized aligned

$a = 123456.7 = 1.234567 \cdot 10^5$

$b = 101.7654 = 1.017654 \cdot 10^2 = 0.001017654 \cdot 10^5$

Det **tal som är minst** (här **b**) skiftas (align) så båda talen får ***samma*** exponent.

$c = a + b$

$$\begin{array}{rl} & 1.234567 \cdot 10^5 \\ + & 0.001017654 \cdot 10^5 \\ \hline & 1.235584654 \cdot 10^5 \end{array}$$

Svaret kan behöva normaliseras (skiftas).

Flyttalsoperationer är mycket krävande, om man inte har specialiserad hårdvara - ***addition*** *kan vara mer krävande än multiplikation!*

William Sandqvist william@kth.se

Addition med flyttal

- Givet två flyttal:

$$a = a_{frac} \cdot 2^{a_{\exp}}$$

$$b = b_{frac} \cdot 2^{b_{\exp}}$$

- Summan av dessa tal är:

$$c = a + b$$

Det tal som är minst skiftas

$$= \begin{cases} (a_{frac} + (b_{frac} \cdot 2^{-(a_{\exp} - b_{\exp})})) * 2^{a_{\exp}} & , \text{if } a_{\exp} \geq b_{\exp} \\ (b_{frac} + (a_{frac} \cdot 2^{-(b_{\exp} - a_{\exp})})) * 2^{b_{\exp}} & , \text{if } b_{\exp} \geq a_{\exp} \end{cases}$$

William Sandqvist william@kth.se

Subtraktion med flyttal

- Givet två flyttal:

$$a = a_{frac} \cdot 2^{a_{\exp}}$$

$$b = b_{frac} \cdot 2^{b_{\exp}}$$

- Differensen mellan dessa tal är:

$$c = a - b$$

Det tal som är minst skiftas

$$= \begin{cases} (a_{frac} - (b_{frac} \cdot 2^{-(a_{\exp} - b_{\exp})})) * 2^{a_{\exp}} & , \text{if } a_{\exp} \geq b_{\exp} \\ (b_{frac} - (a_{frac} \cdot 2^{-(b_{\exp} - a_{\exp})})) * 2^{b_{\exp}} & , \text{if } b_{\exp} \geq a_{\exp} \end{cases}$$

William Sandqvist william@kth.se

Decimalt multiplikationsexempel

$$c = a \cdot b$$

$$a = 4{,}734612 \cdot 10^{3} \qquad b = 5{,}417242 \cdot 10^{5}$$

$$c = 4{,}734612 \cdot 5{,}417242 \cdot 10^{3+5} = 25{,}648538980104 \cdot 10^{8}$$

$$c = 2{,}564854 \cdot 10^{9}$$ ***normalisera***

Resultatet har fler siffror än vad som ryms – avrunda.

Multiplikation innebär att man gör en addition av exponenterna, och en multiplikation med fraktionsdelarna. Svaret måste sedan normaliseras (skiftas).

William Sandqvist william@kth.se

Multiplikation med flyttal

- Givet två flyttal:

$$a = a_{frac} \cdot 2^{a_{\exp}}$$

$$b = b_{frac} \cdot 2^{b_{\exp}}$$

- Produkten av dessa tal är:

Enklare!

$$c = a * b$$

$$= \left(a_{frac} * b_{frac} \cdot 2^{a_{\exp} + b_{\exp}} \right)$$

William Sandqvist william@kth.se

Division med flyttal

- Givet två flyttal:

$$a = a_{frac} \cdot 2^{a_{\exp}}$$

$$b = b_{frac} \cdot 2^{b_{\exp}}$$

- Kvoten mellan dessa tal är:

$$c = a / b$$

$$= \left(a_{frac} / b_{frac} \cdot 2^{a_{\exp} - b_{\exp}} \right)$$

Uppstädning efter flyttals-operationer...

- När en flyttals-operation är klar måste den normaliseras
  - Mantissans skiftas tills dess första bit är 1
  - För varje skift-steg så räknas exponenten upp eller ned med ett.
  - Mantissans bitar till höger om den första ettan sparas

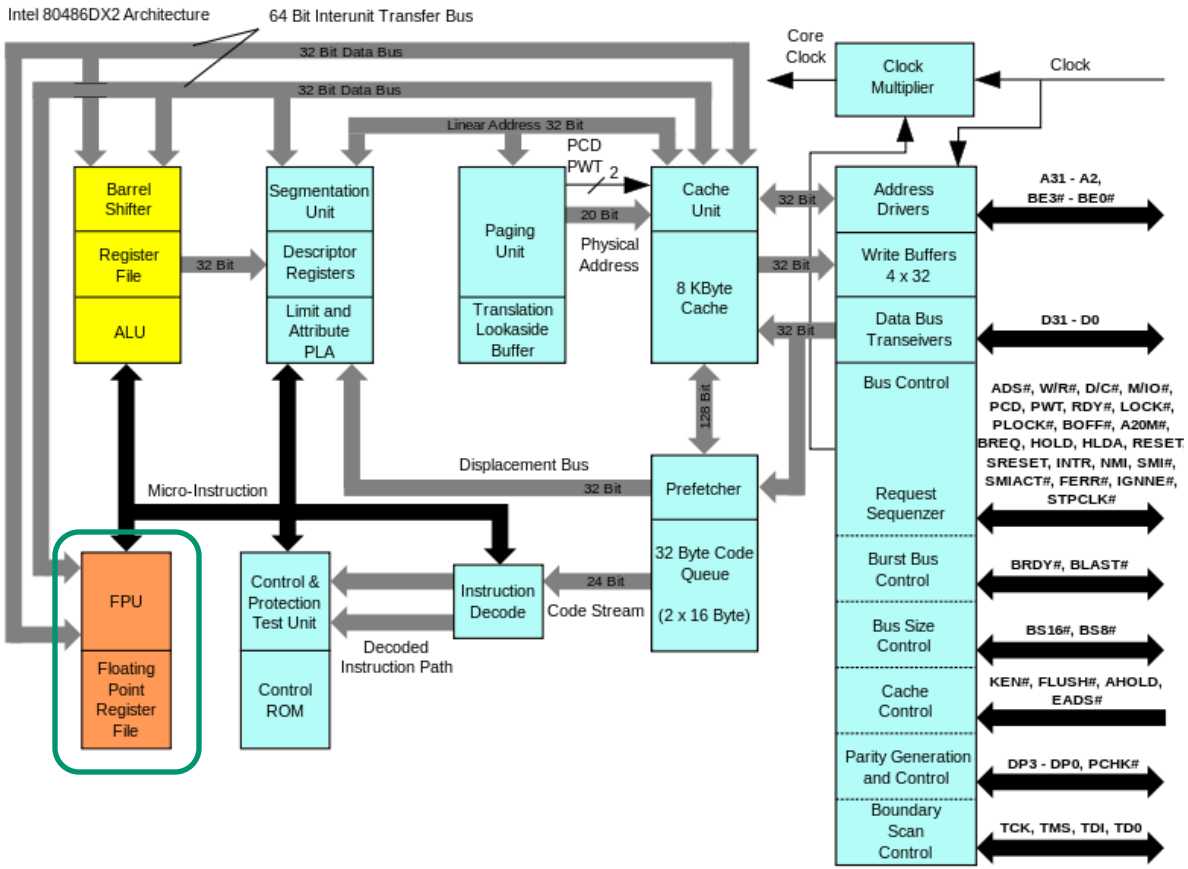
$$FlP(B) = (-1)^s * (1.m) * 2^{exp-(127)}$$

  - Om exponenten är noll är mantissans första bit 0

$$FlP(B) = (-1)^s * (0.m) * 2^{-(126)}$$

Flyttalsenhet

Det krävs mycket kod och beräkningstid för att utföra flyttalsoperationer med en dator som saknar hårdvarustöd för detta. PC-datorerna har haft inbyggda flyttalsenheter från och med 486 (1989).



William Sandqvist william@kth.se

Dyraste mjukvarubuggen?

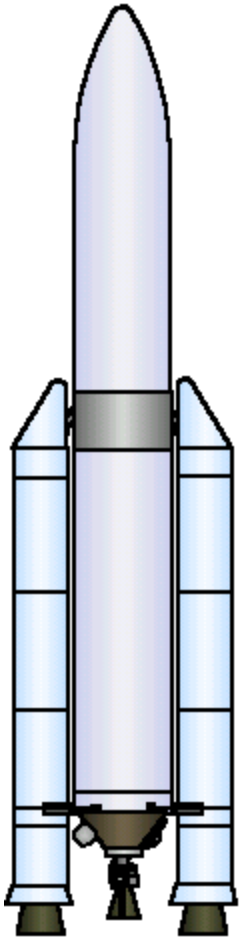
ESA rocket crashes at launch - 1996

`double` (64-bitars flyttal)

Översättningen blev fel –
rymdes inte!

`signed short int` (16-bitars 2-komplementtal)

Användes i systemet för horisontel bias
Någon hade sovit under föreläsningen ”aritmetik2”!



Fixed-Point vs. Floating-Point

- Fixed-Point operationer fungerar pss som heltals-operations och är snabbare
- Fixed-point värden behöver skalas, vilket ofta leder till förlust av precision
- Kostnaden för att bygga hårdvara är signifikant större för flyttals-processorer/räknare

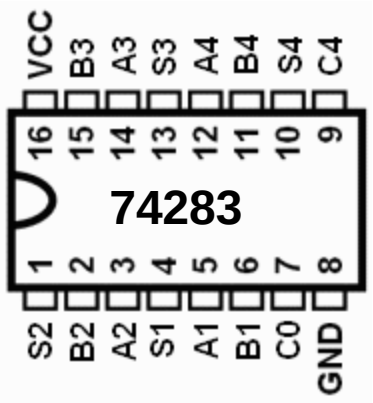
Sammanfattning

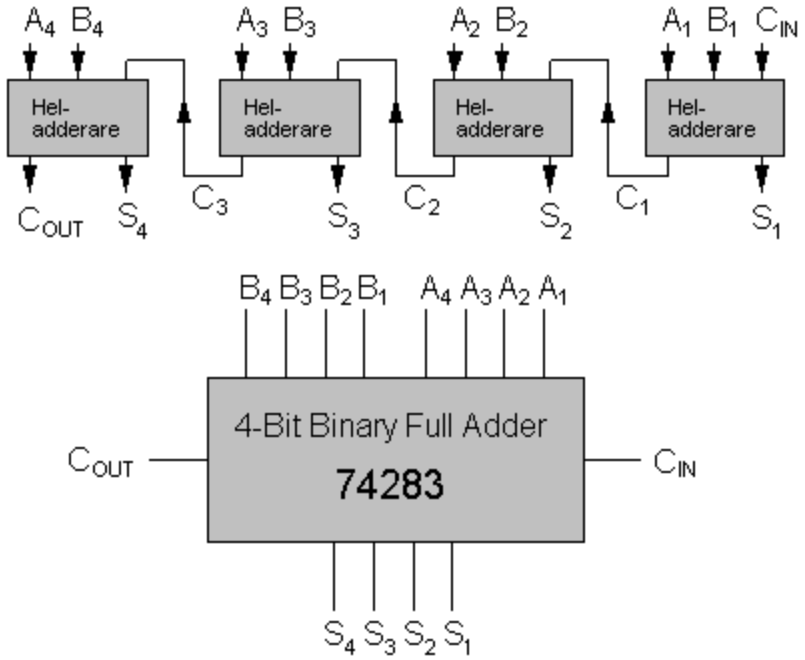
- **Multiplikation och division av heltal**
  - Konvertera negativa tal till sitt positiva dito.
  - Utför multiplikationen eller divisionen
  - Håll reda på vilket tecken resultatet skall ha
  - Konvertera positivt resultat till sitt negativa dito om resultatet skall vara negativt

- **Multiplikation med potenser av 2 (mul med $2^{k)}$**
  - Implementeras som ett skift till vänster med k steg
- **Division med potenser av 2 (div med $2^{k)}$**
  - Implementeras som ett (aritmetiskt) skift till höger med k steg. Teckenbiten kopieras till vänster.

William Sandqvist william@kth.se

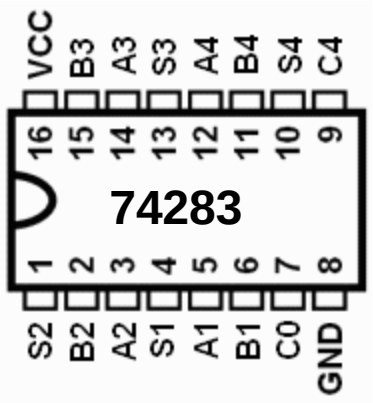
Addition vid Lab1

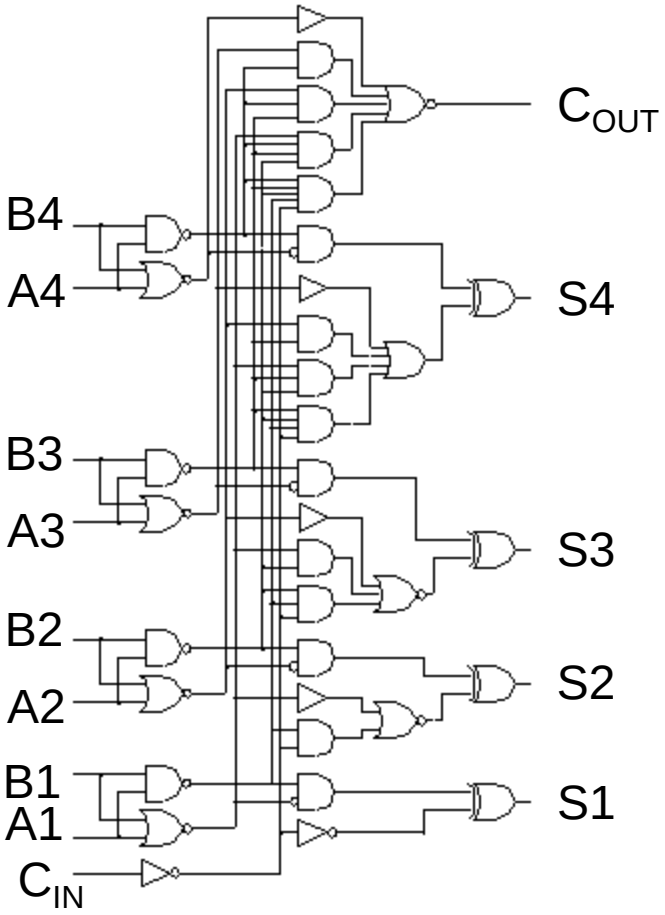




William Sandqvist william@kth.se

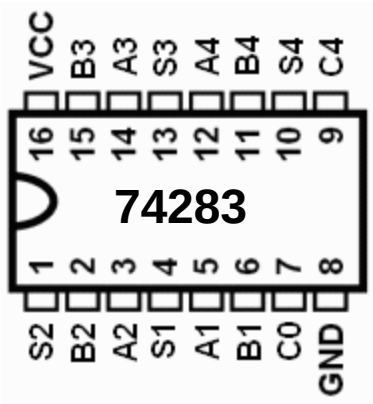
Addition vid Lab1

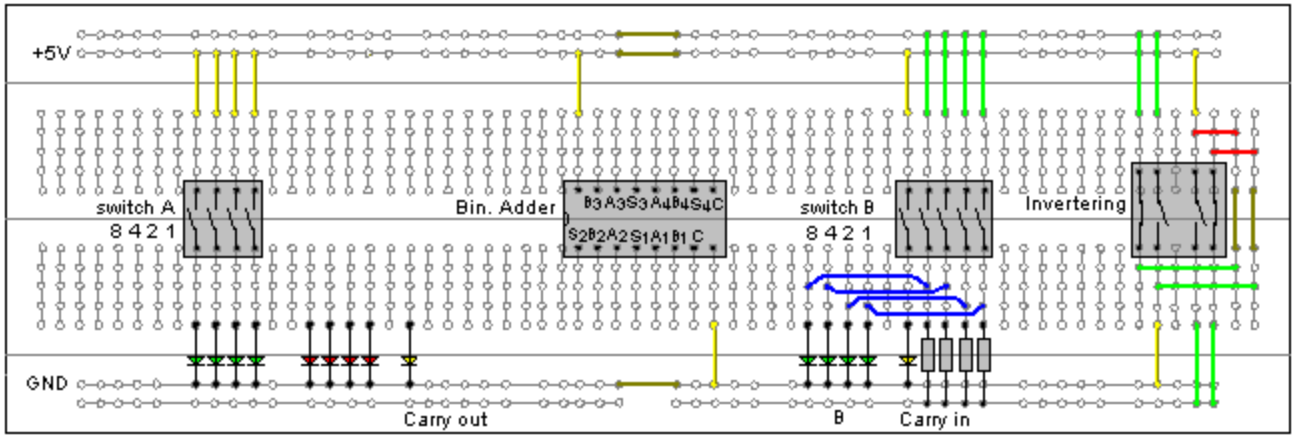




William Sandqvist william@kth.se

Addition vid Lab1

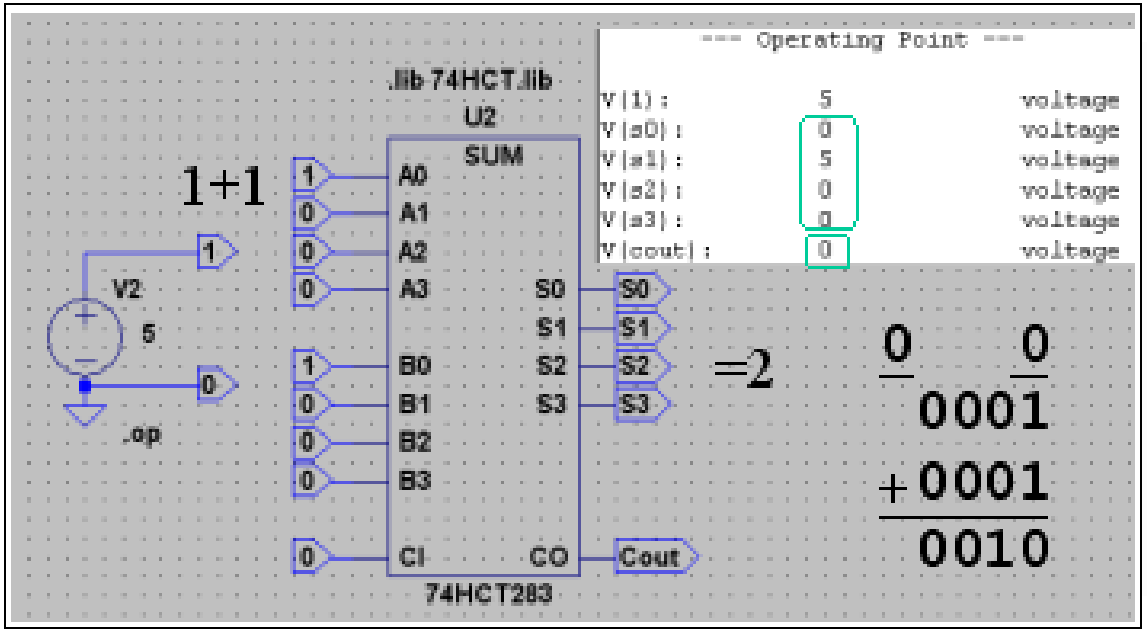


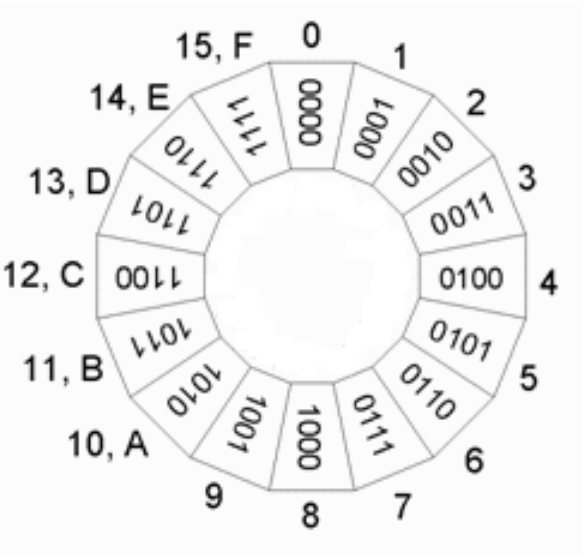


Kopplingsdäck med 4-bitsadderararkrets 74283.

William Sandqvist william@kth.se

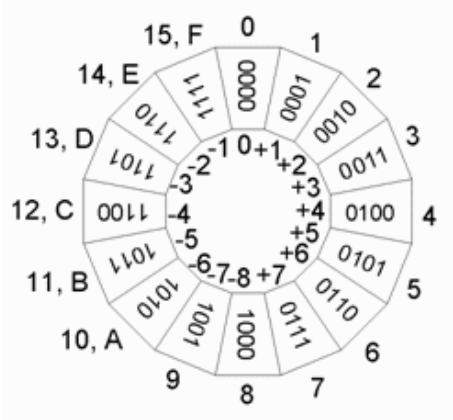
Simulera addition

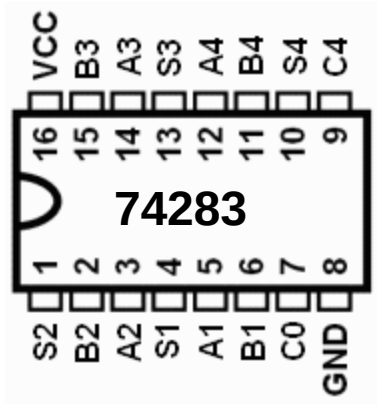




William Sandqvist william@kth.se

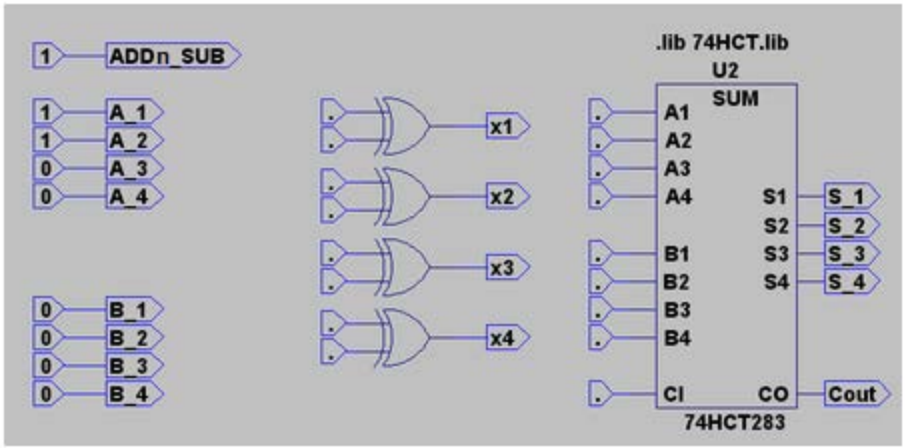
Subtraktion vid Lab1

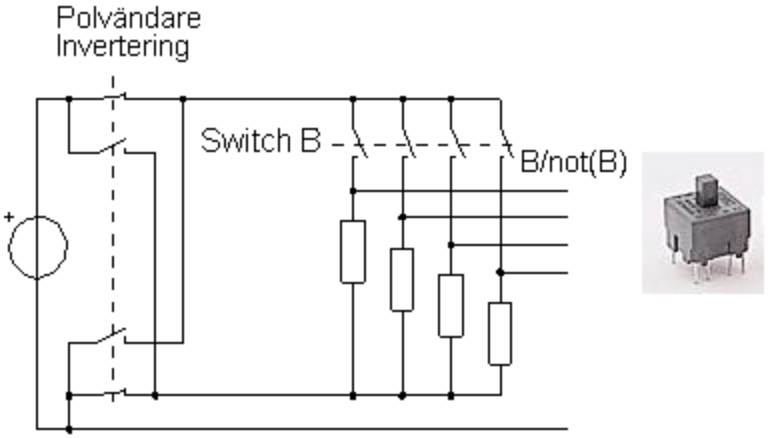




Inverteringen sker med en kontakt i stället för med XOR-grindar!

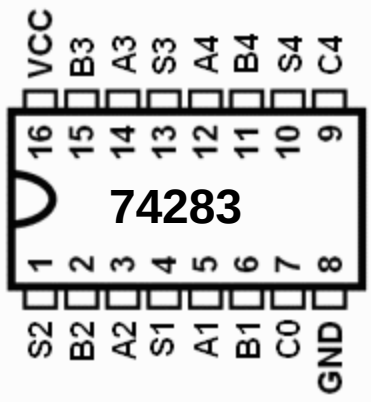
Rita klart …



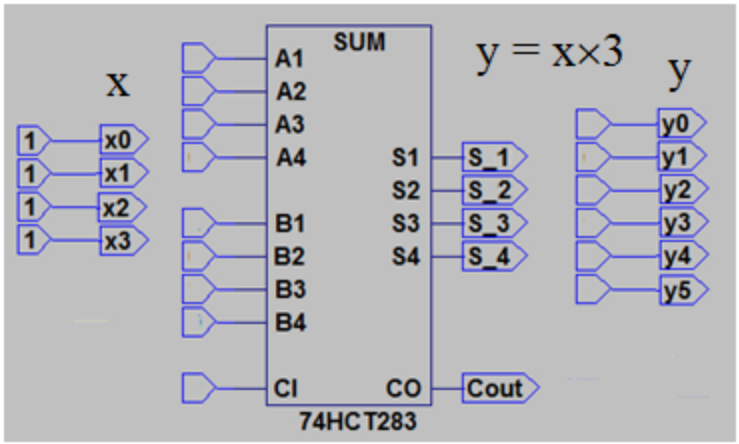


William Sandqvist william@kth.se

Multiplikation med konstant



?



Antag att vi behöver multiplicera ett tal *x* med 3. Det kan man göra som $2 \cdot x + 1 \cdot x = 3 \cdot x$.

Multiplikation med den jämna 2-potensen 2, sker genom att man "skiftar" anslutningarna för talets inbitar *ett* steg åt vänster.

- Eller som $2 \cdot (x + 0{,}5 \cdot x) = 3 \cdot x$ *Smartare!*

William Sandqvist william@kth.se

William Sandqvist william@kth.se