

# Analogt ↔ Digital

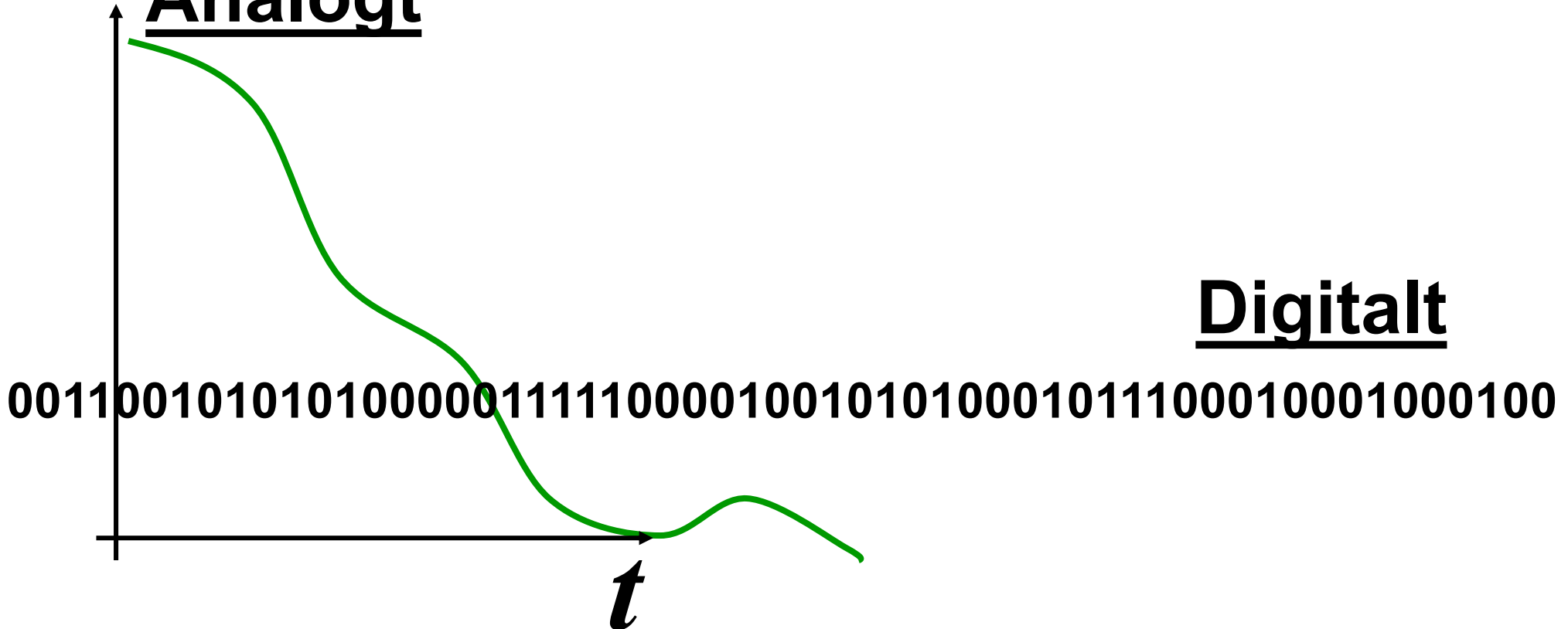
Erik Lind  
Viktor Öwall  
Bertil Larsson



# Analoga och Digitala Signaler

Analogt

Digitalt

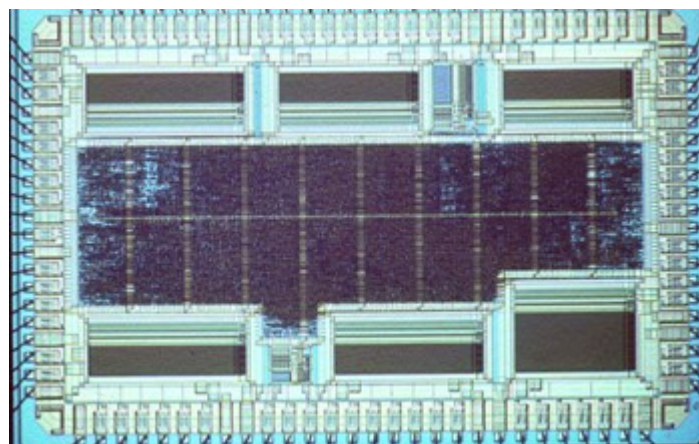
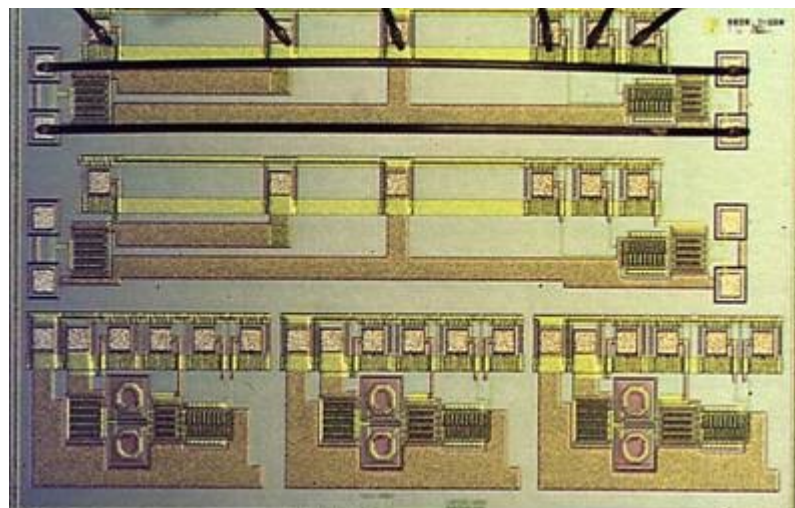


# Analogt kontra Digitalt

## Analogt



- få komponenter
- låg effektförbrukning
- höga frekvenser (GHz)
- låg precision (1-10%)



## Digitalt

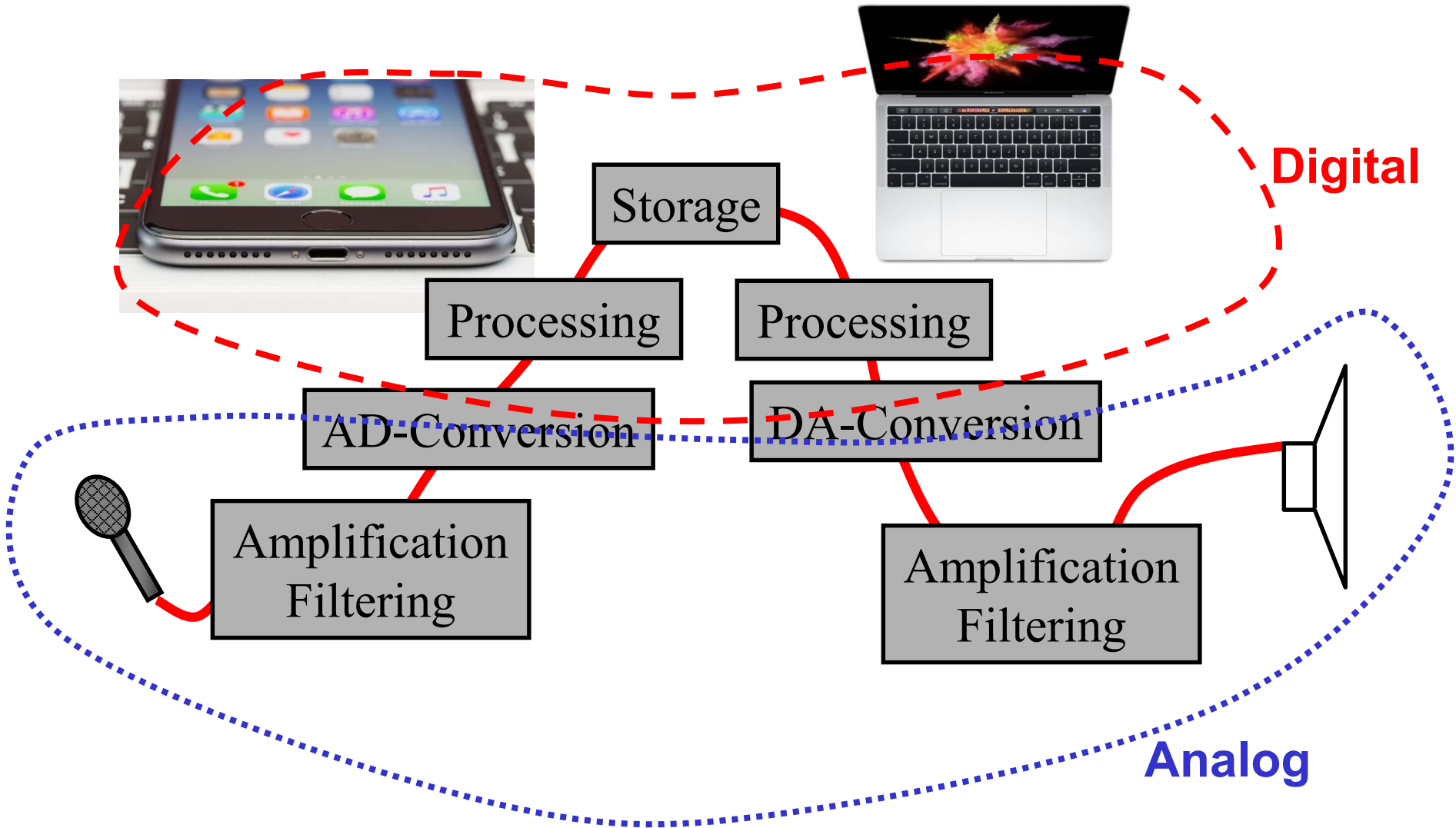
- Hög precision  $\pi: 10^{13}$
- Komplexare algoritmer
- Lagringskapacitet

**Elektronik + programmering**

# Analogt kontra Digitalt



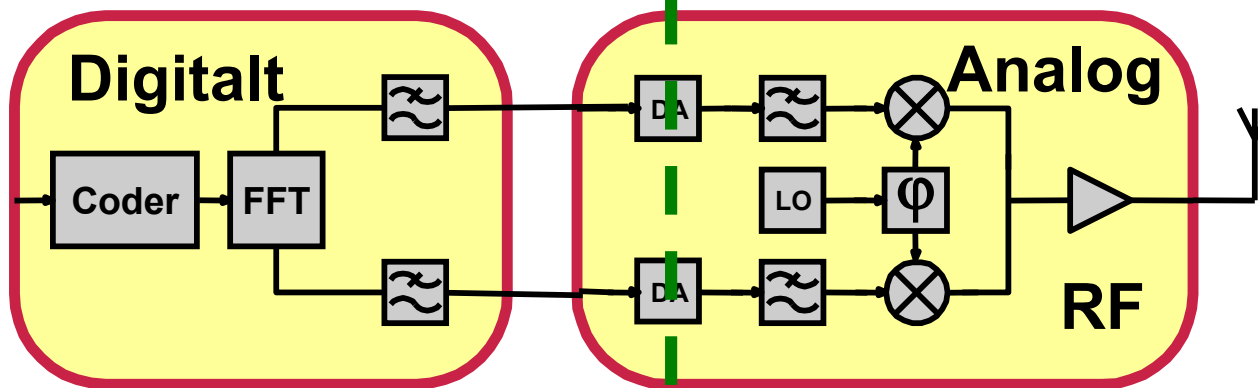
**20 Hz-20 kHz : Lätt att skapa med en processor på 1 GHz.**



# AD/DA i Trådlös Kommunikation

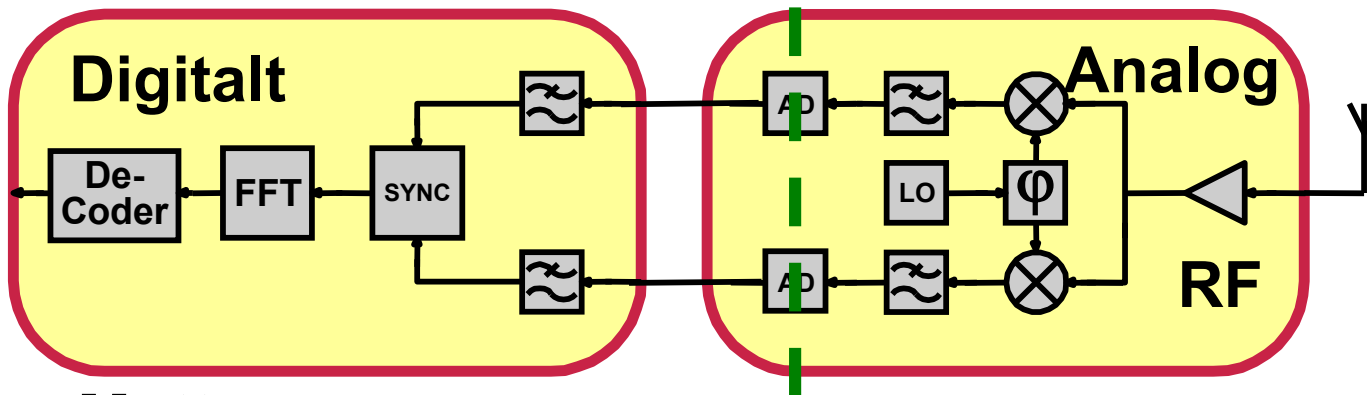
Gränssnitt Analogt/Digitalt

Sändare



Där vi kan använda digital elektronik vill vi göra det!

Mottagare



Mottagare

# Binära Talsystemet

**MSB =**  
**Most Significant Bit**

**LSB =**  
**Least Significant Bit**  
**Minsta förändringen**

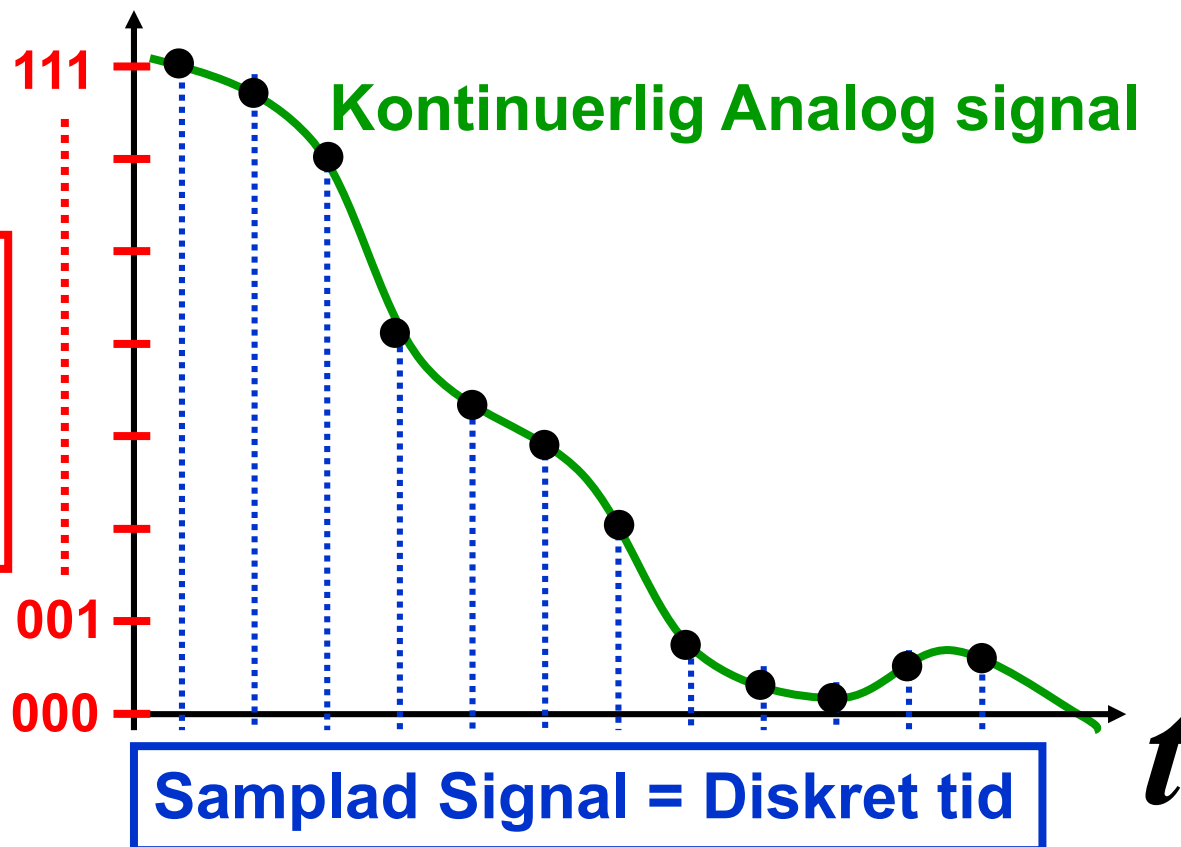
**N bitar**  
↓  
**2<sup>N</sup> ord**

	$2^2$	$2^1$	$2^0$	
	0	0	0	(0)
	0	0	1	(1)
	0	1	0	(2)
	0	1	1	(3)
	1	0	0	(4)
	1	0	1	(5)
	1	1	0	(6)
	1	1	1	(7)

$V_{fs} =$   
**V full scale =**  
**1LSB\*2<sup>N</sup>**  
(Med denna definition  
kan inte  $V_{fs}$  nås)  
 $V_{outmax} = V_{LSB}(2^N - 1)$



# Digitala Signaler

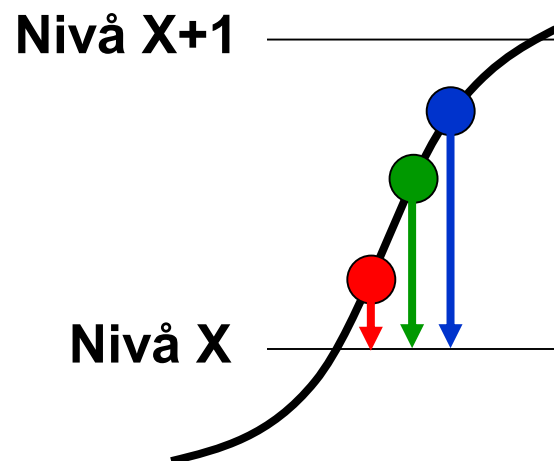


**Digital Signal = Diskret tid och amplitud**

# Dynamik och Upplösning

Antal bitar	Antal Intervall	Upplösning $V_{fs}=0.5V$	Dynamik $20\log(2^N)$
4	16	0.03125 V	24dB
8	256	2 mV	48dB
12	4096	0.12 mV	72dB
16	65 536	7.6 $\mu$ V	96dB
24	16 777 216	29.8 nV	144dB

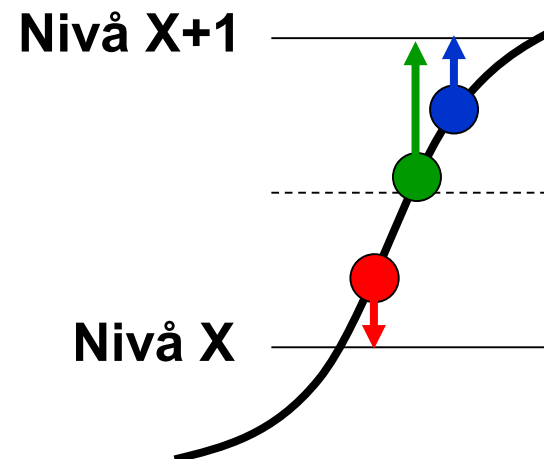
# Kvantiseringsfel



## Trunkering

Alla värden mellan två nivåer approximeras åt samma håll

Maximalt fel = 1LSB



## Avrundning

Värden approximeras antingen upp eller ner

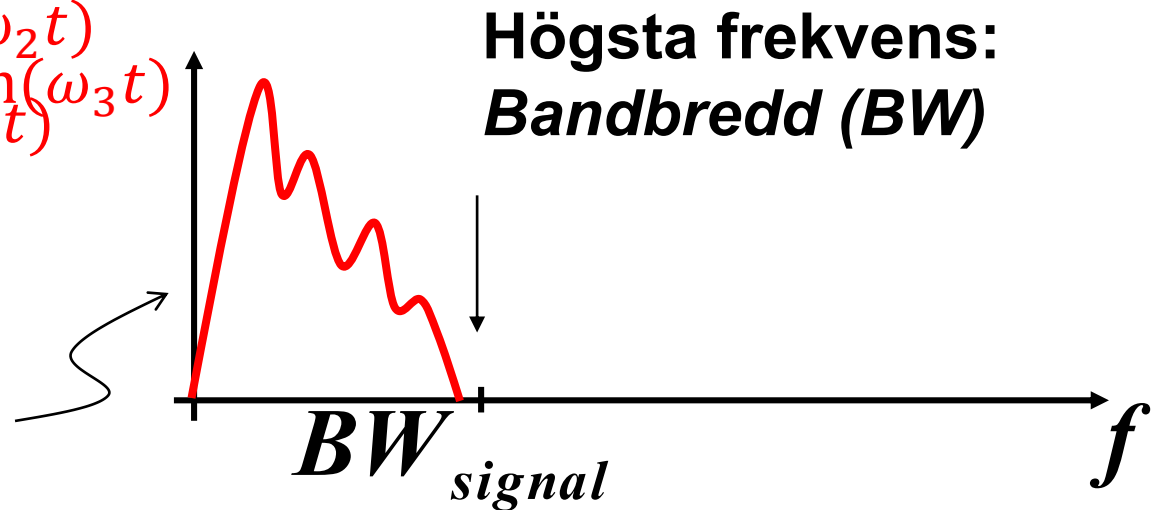
Maximalt fel = 1/2 LSB

# Bandbredd hos signal

Alla verkliga signaler kan uttryckas som en serie av cosinustermer med olika frekvens.



$$\begin{aligned} &A_1 \sin(\omega_1 t) \\ &A_2 \sin(\omega_2 t) \\ &A_3 \sin(\omega_3 t) \\ &A_4 \sin(\omega_4 t) \\ &\dots \end{aligned}$$



Nicola Kuperus, Adult.

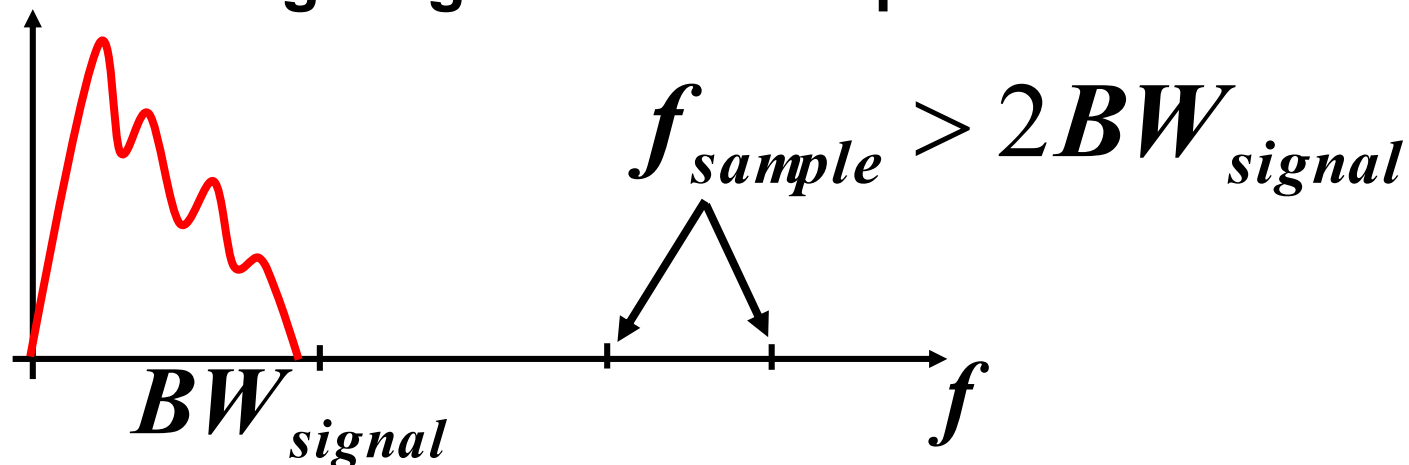
**Audio: BW 20Hz – 20 kHz**

# Nyquists Samplingsteorem

Om man samplar en analog signal med en bandbredd,  $BW_{signal}$ , med en samplingsfrekvens

$$f_{sample} > 2BW_{signal}$$

kan den analoga signalen återskapas.



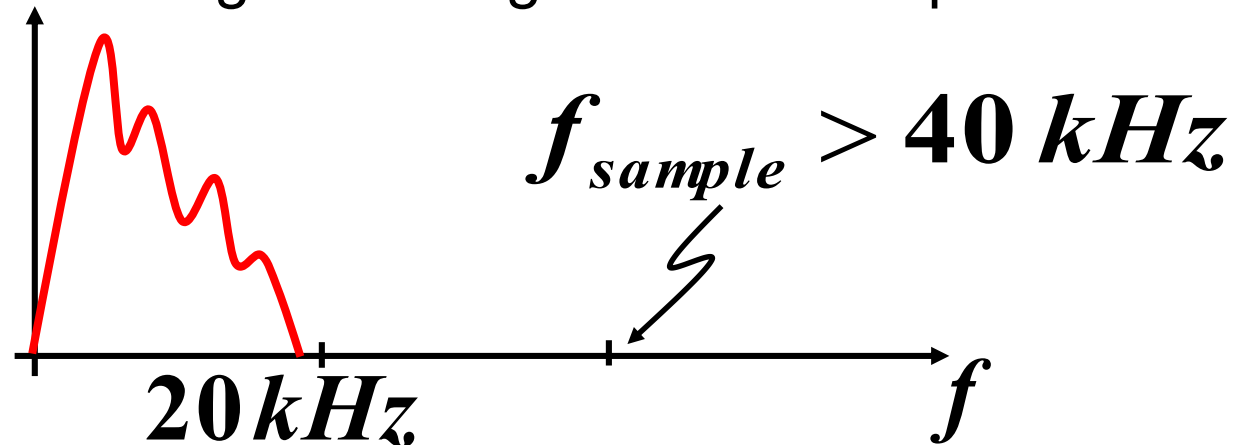
Mer om detta i Digital Signalbehandling

# Nyquists Samplingsteorem - Audio

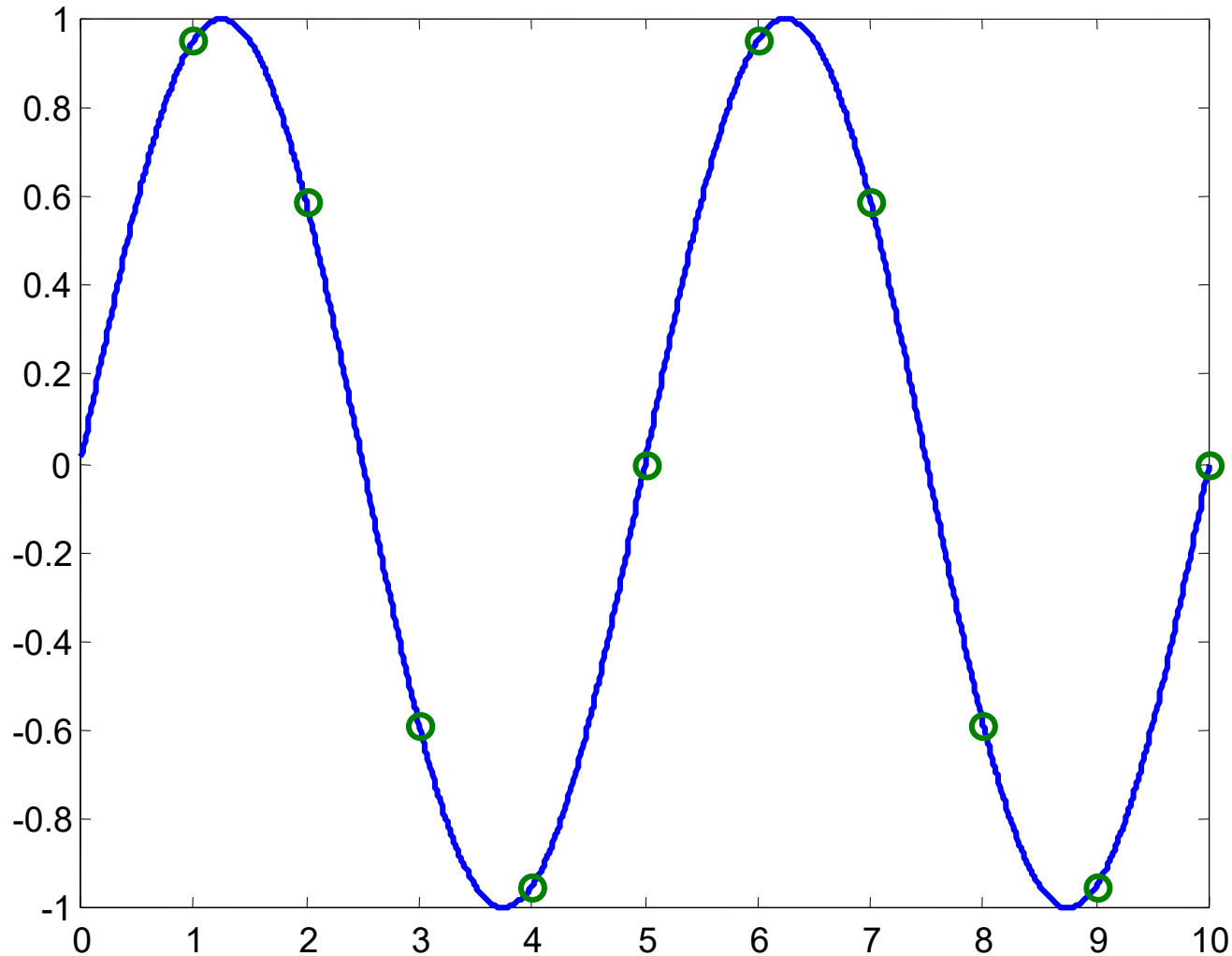
Det mänskliga örat har en bandbredd 20Hz-20kHz, om

$$f_{sample} > 2 \times 20kHz = 40kHz$$

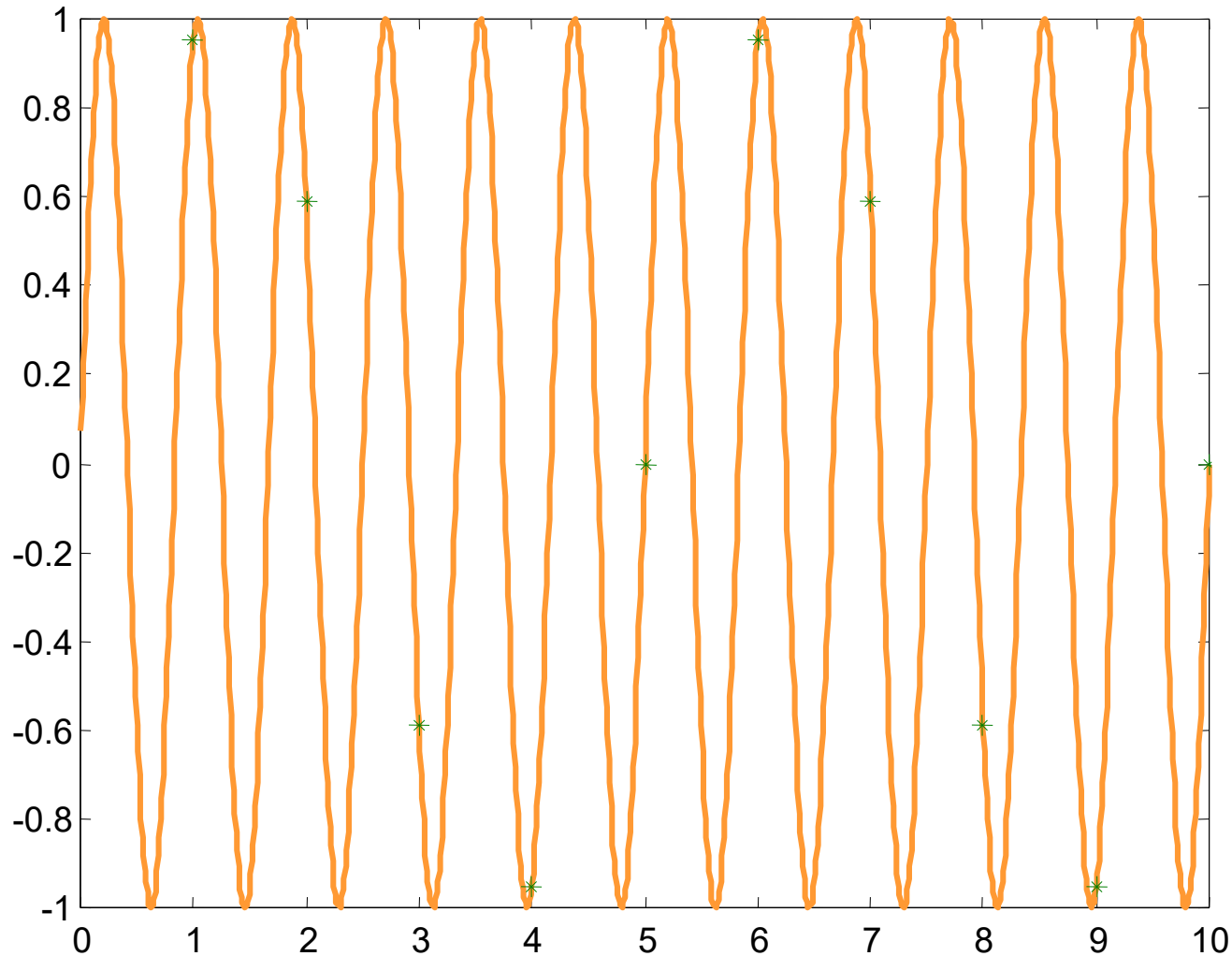
kan den analoga audiosignalen återskapas.



# Sampling – $f_s > 2f_{signal}$

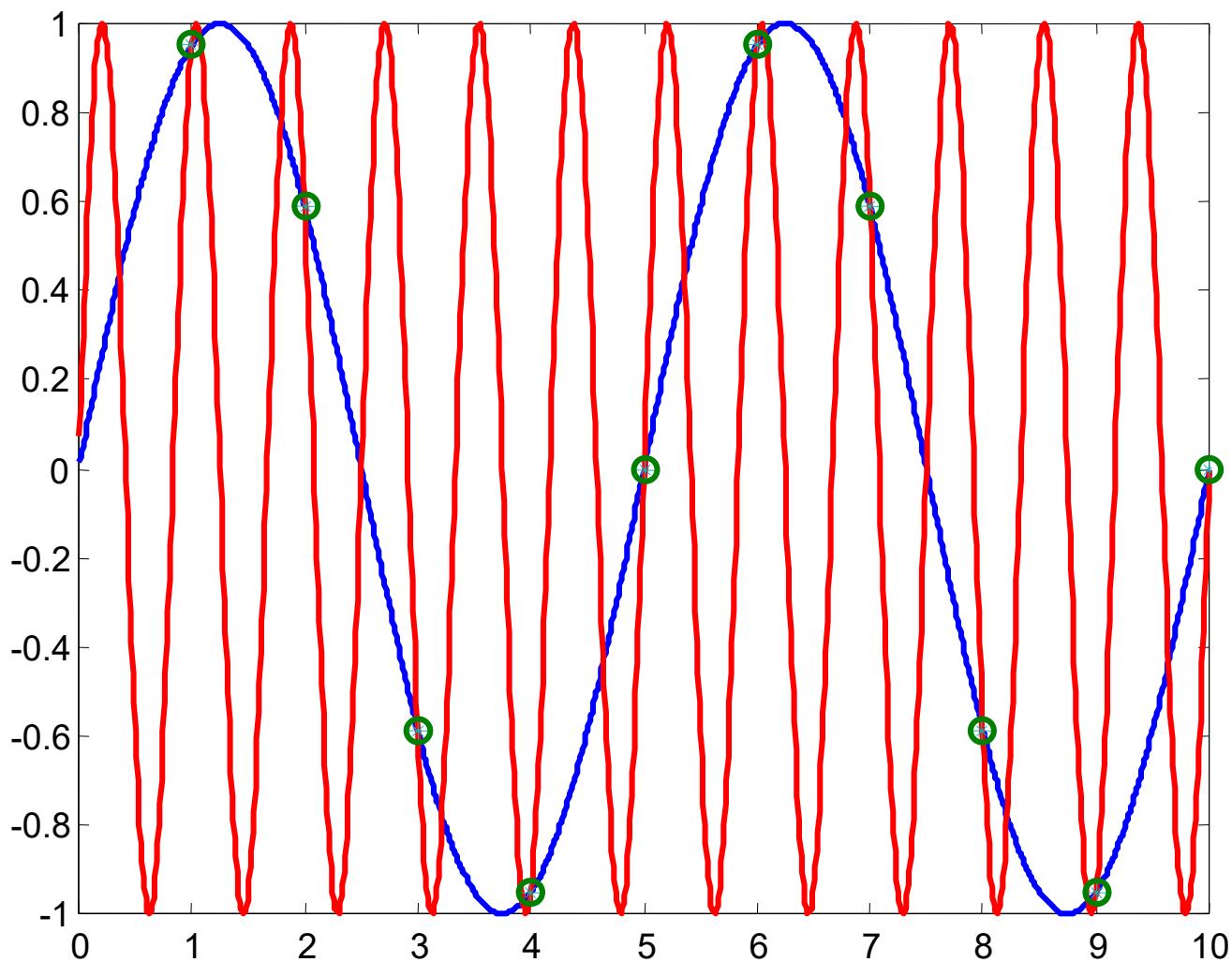


# Sampling – $f_s < 2f_{\text{signal}}$

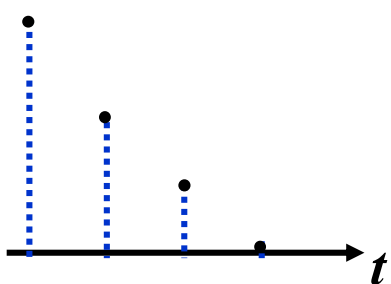
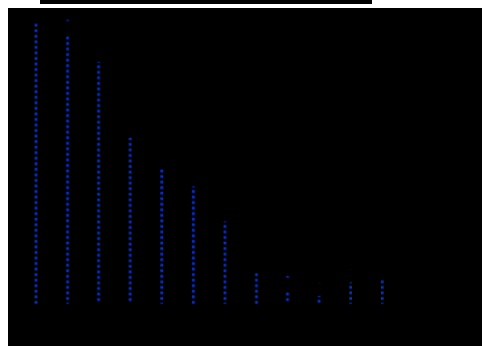
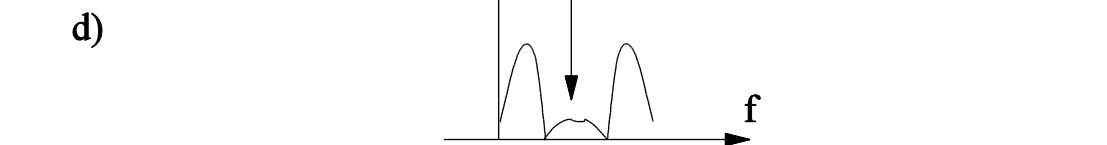
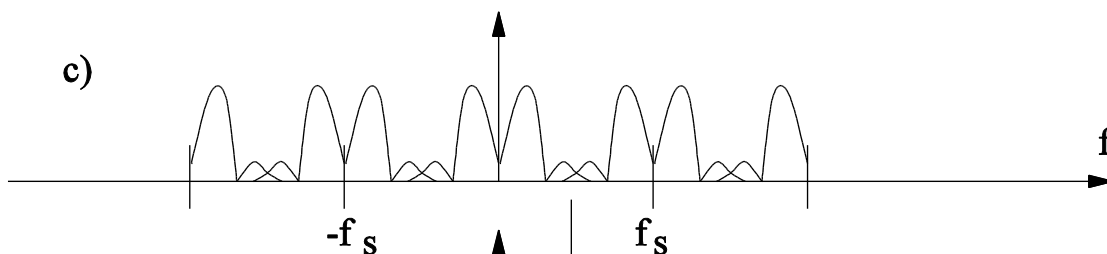
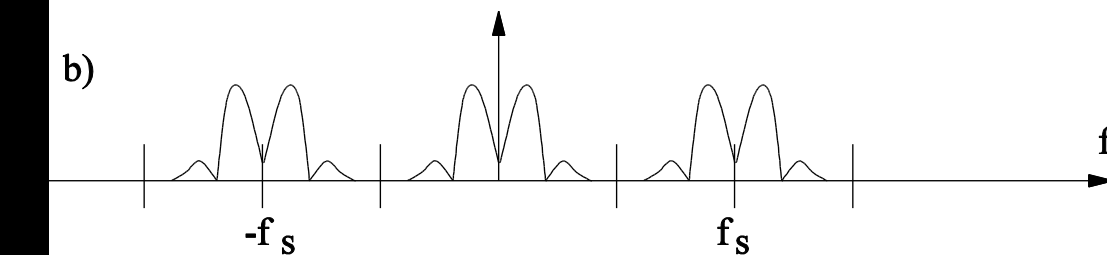
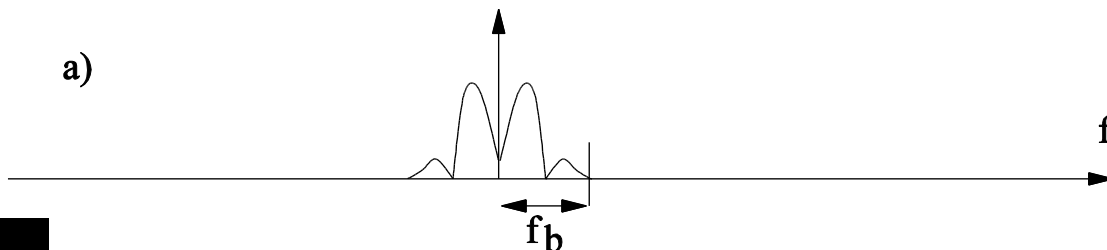
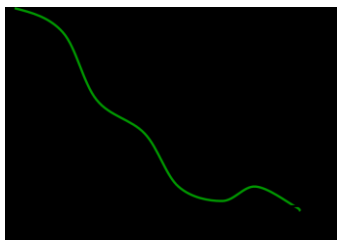




# Signalerna kan förväxlas - vikning

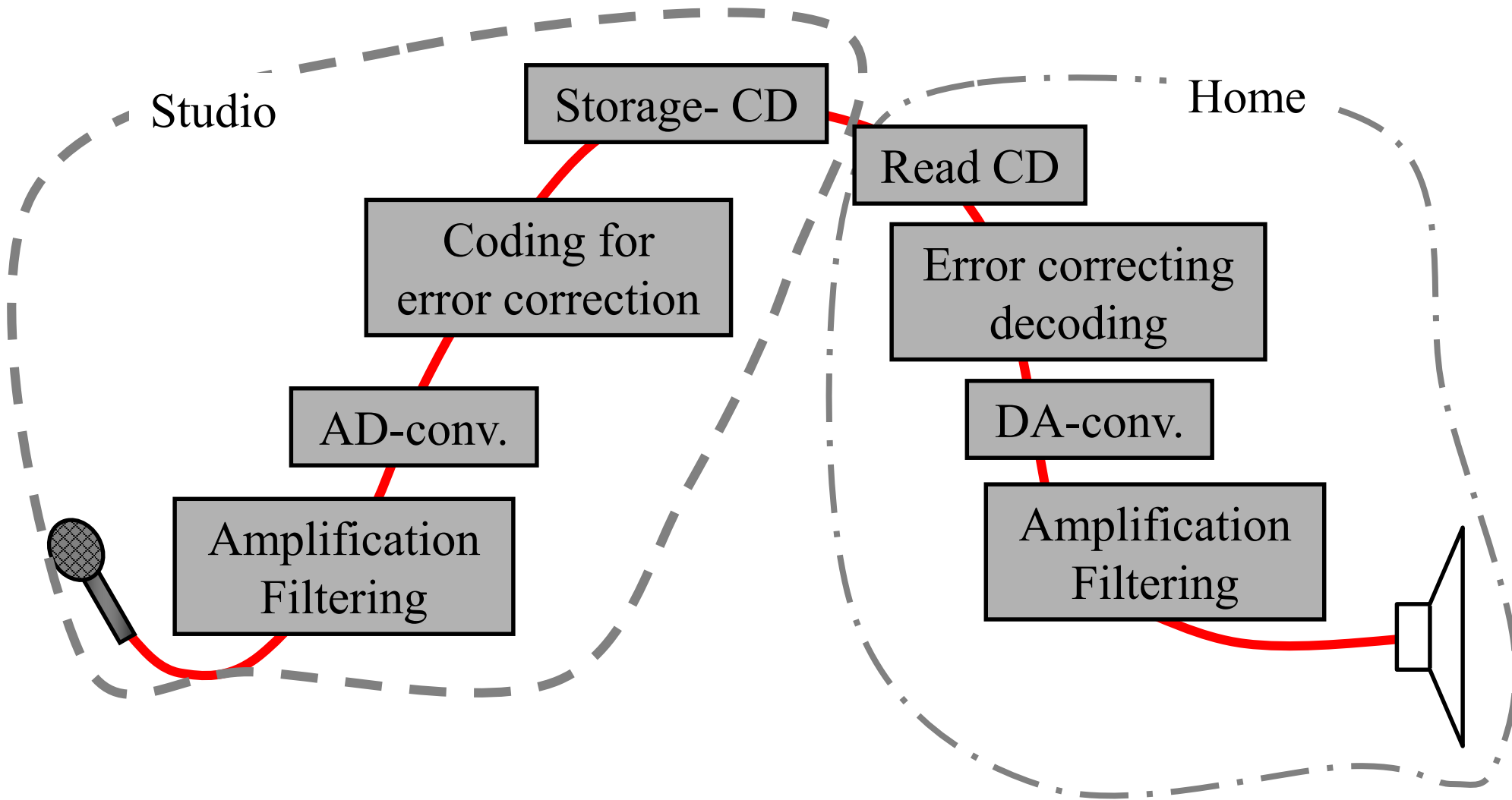


# Vikning vid $f_s < 2f_b$



Negativa frekvenser kommer från komplex representation.

# Exempel: Digitalt ljud, CD/DVD



# CD kontra FLAC

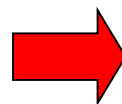
Specification	CD Audio	FLAC
Sampling Rate	44.1 kHz	<655 kHz
Sampling Accuracy	16-bit	<32-bit
Number of Possible Output Levels	65,536 (96 dB)	$<4.295 \times 10^9$ (192 dB)

**Hörsel – Dynamik 130 dB**

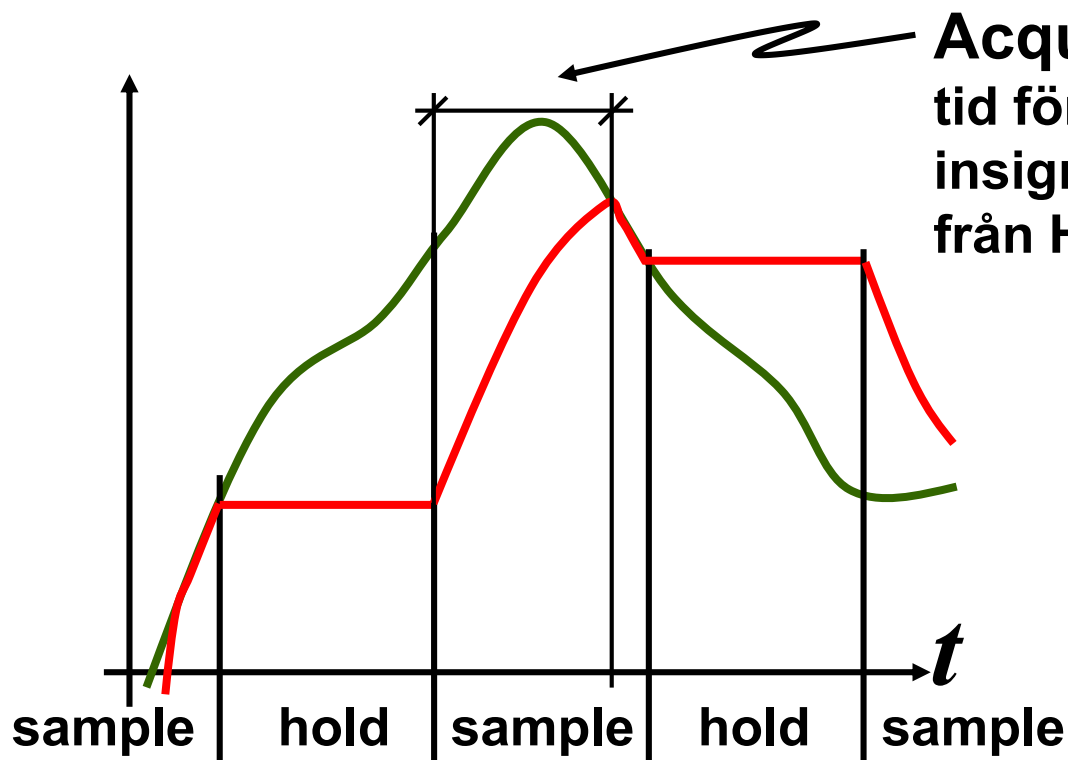
# Sample & Hold

# Sample & Hold

Under AD-omvandlingen får inte det analoga värdet ändras



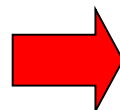
Sample & Hold krets



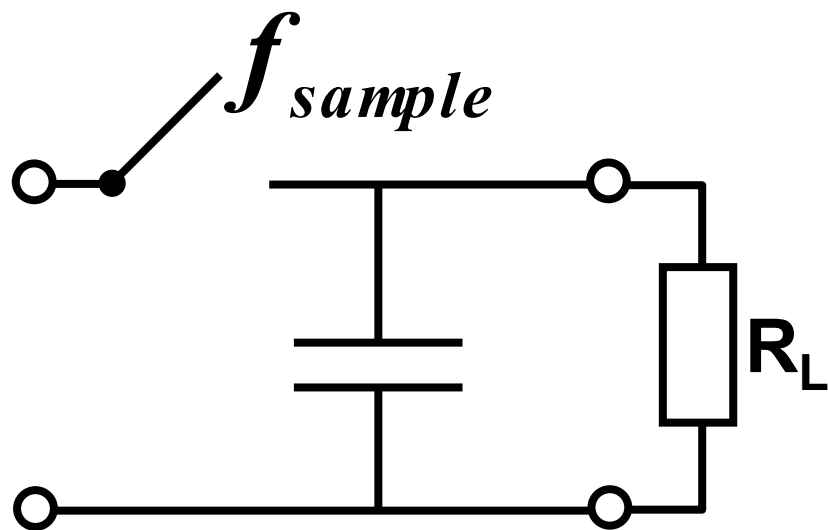
Acquisition time =  
tid för utsignalen att följa  
insignalen när man går  
från HOLD till SAMPLE

# Sample & Hold

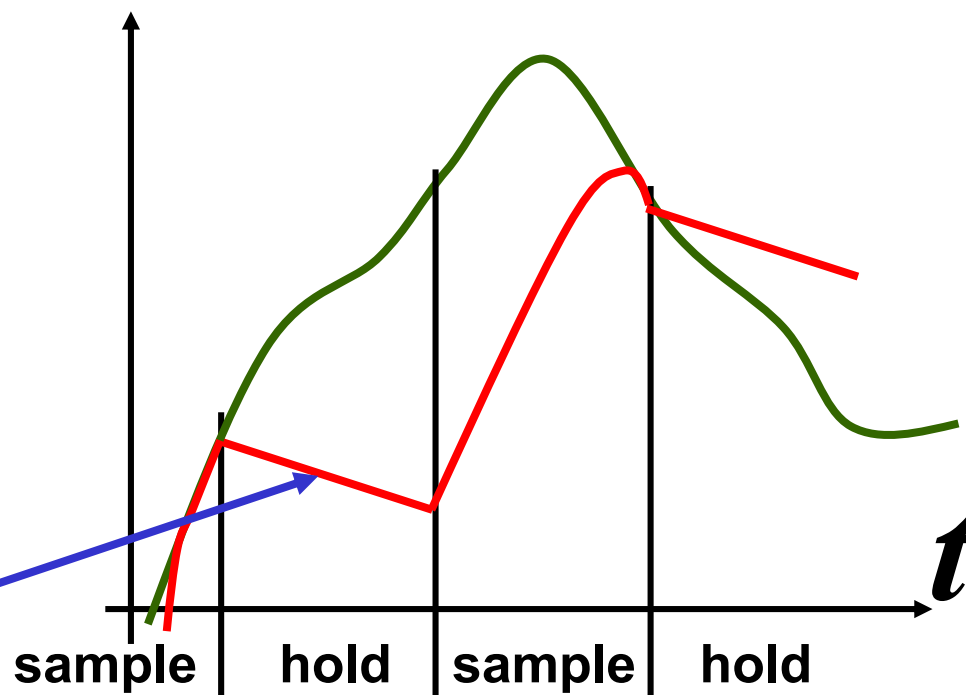
Spara ett analogtvärde



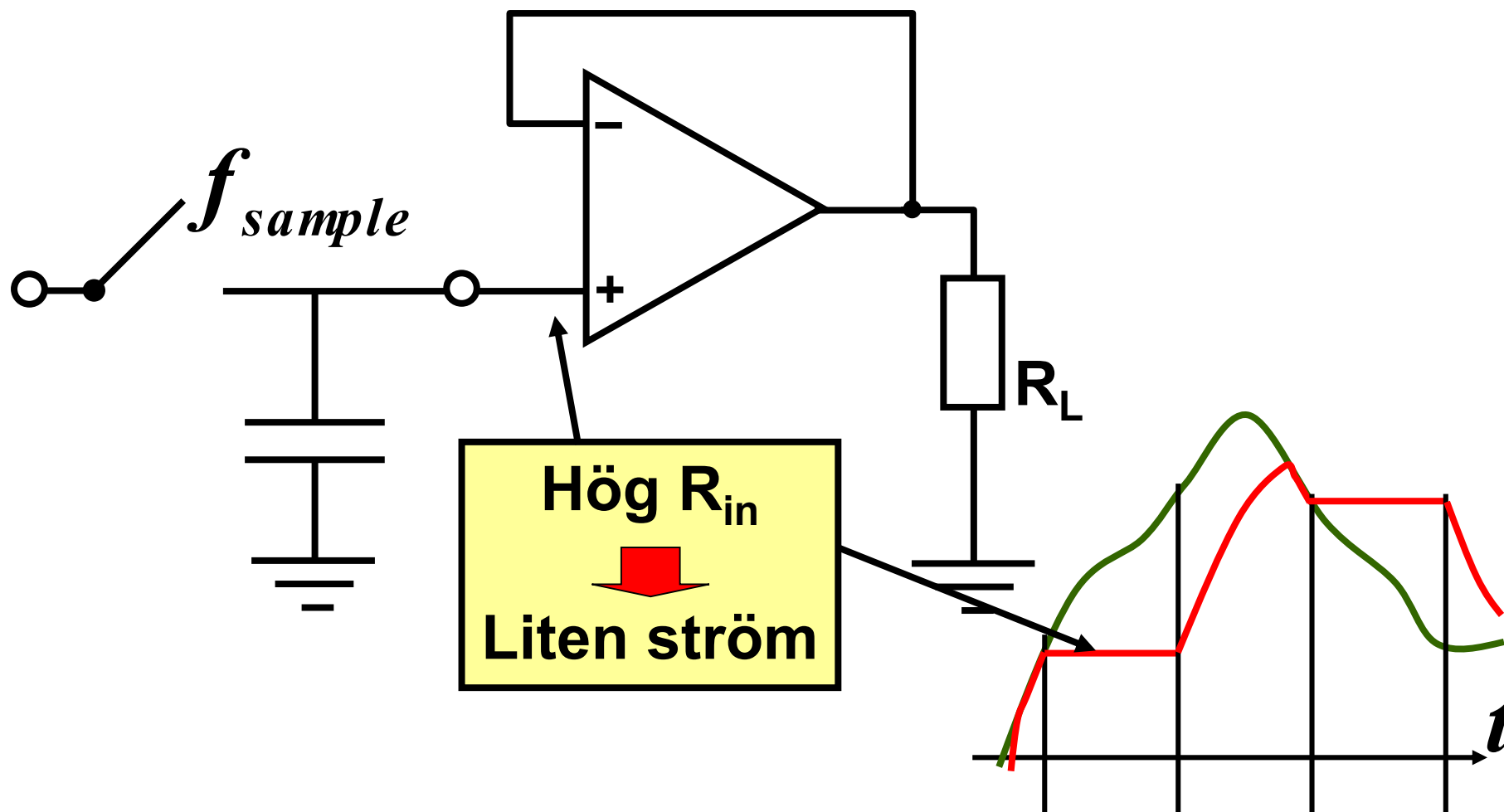
Kondensator



**Droop rate =  
Kondensatorn  
laddas ur**

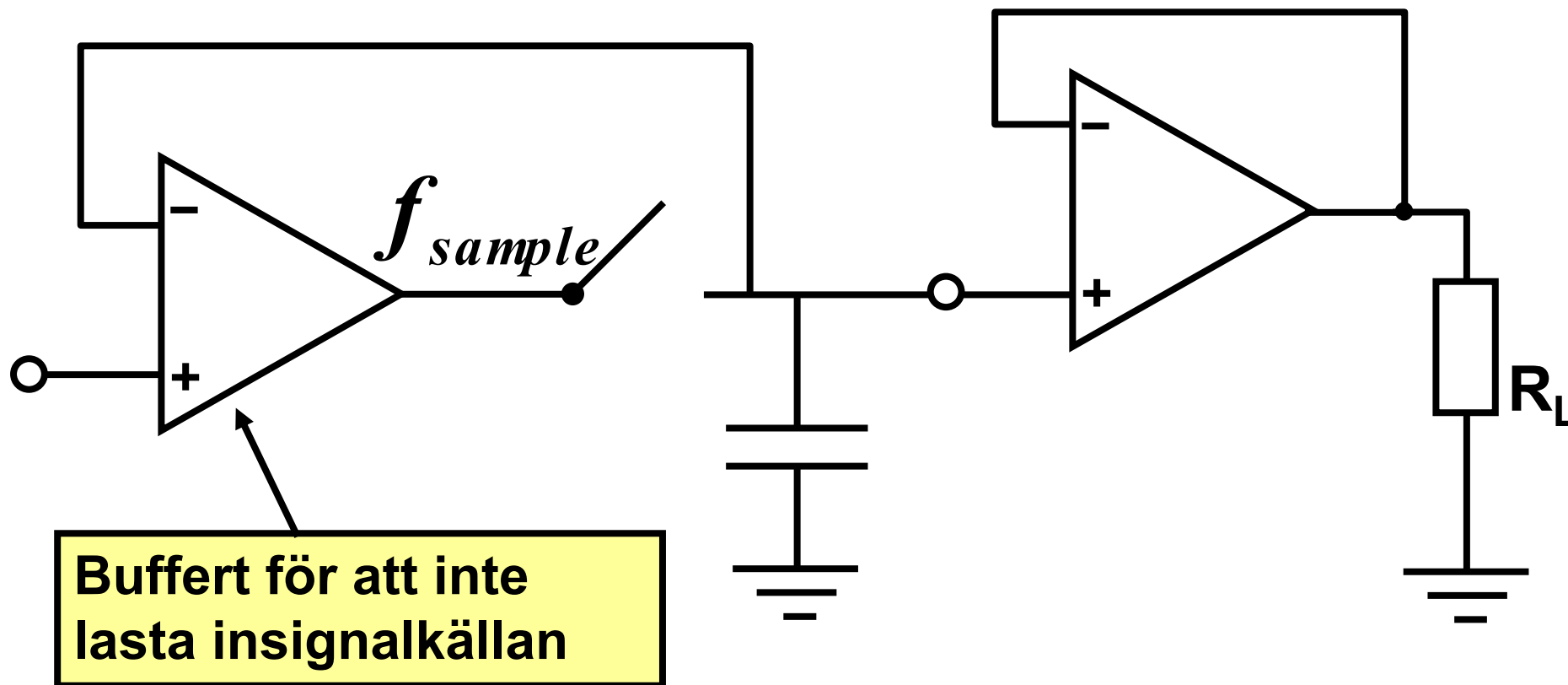


# Sample & Hold med Buffer

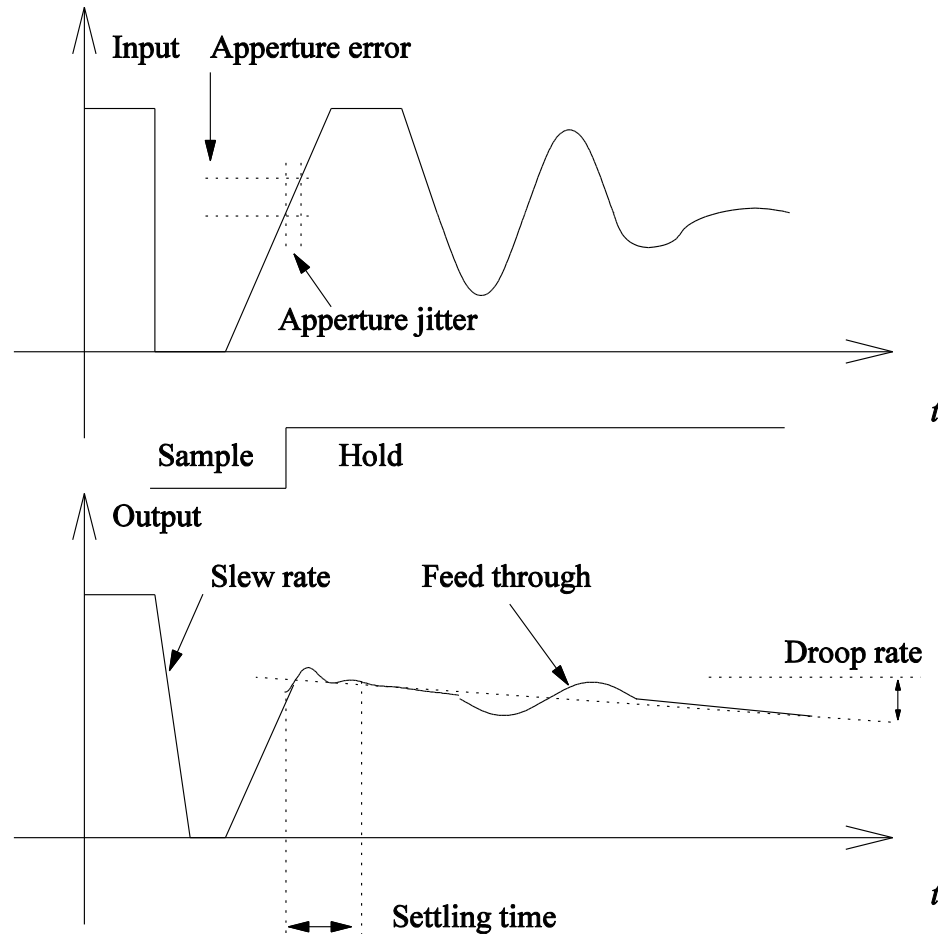




# Sample & Hold med Buffer

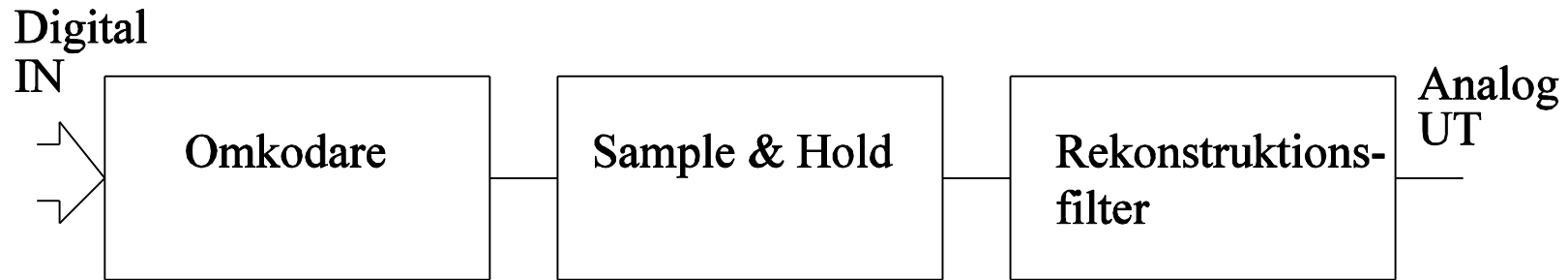


# Fel vid S&H

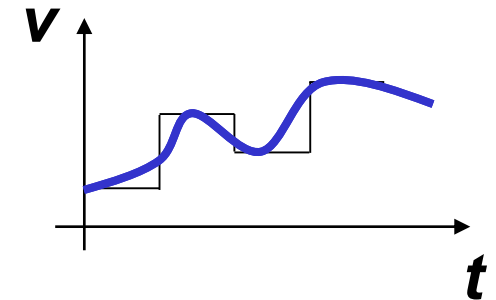
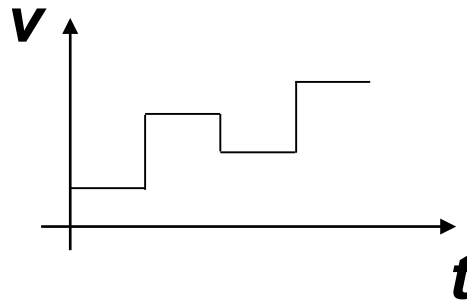


# **Digital till Analog omvandling**

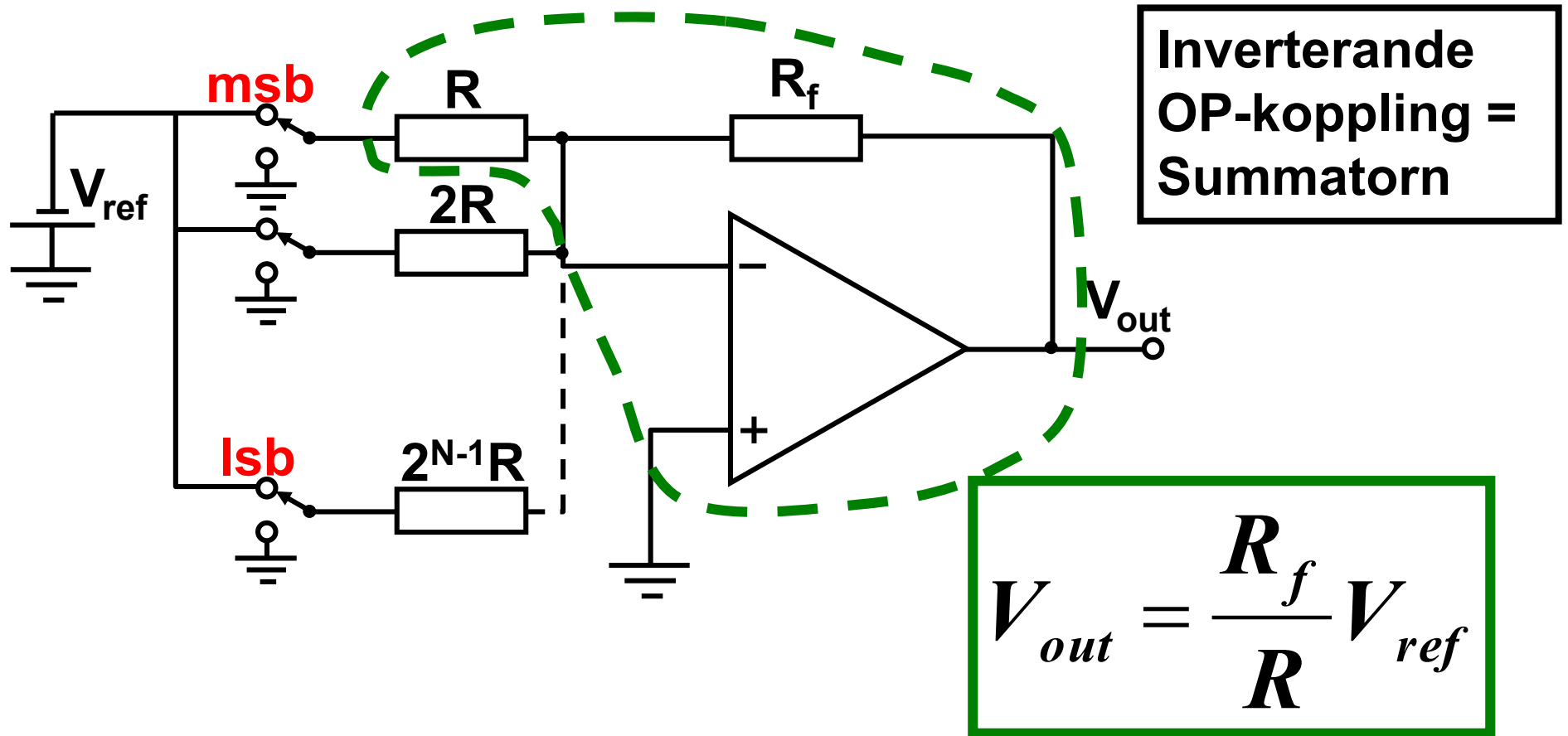
# Princip för DA-omvandling



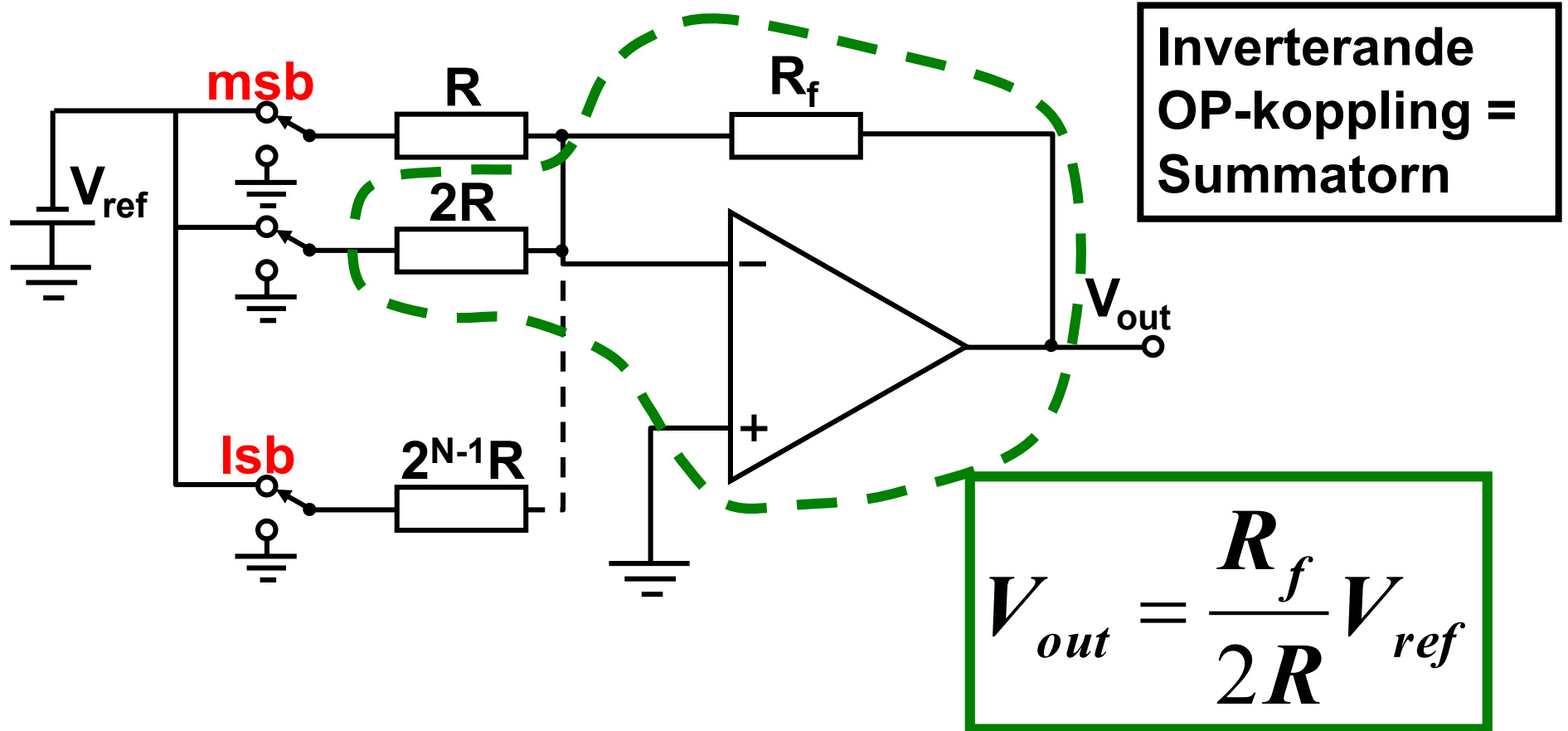
01001001



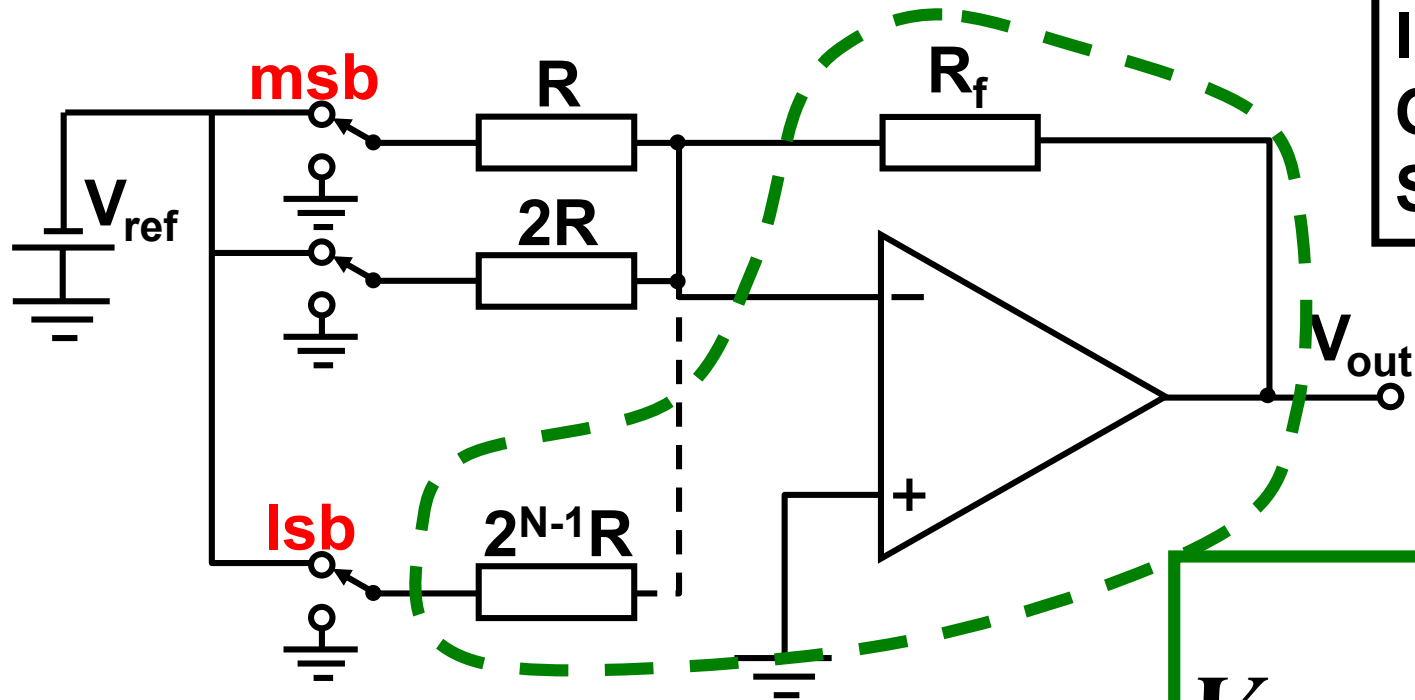
# Digital till Analog Konvertering



# Digital till Analog Konvertering



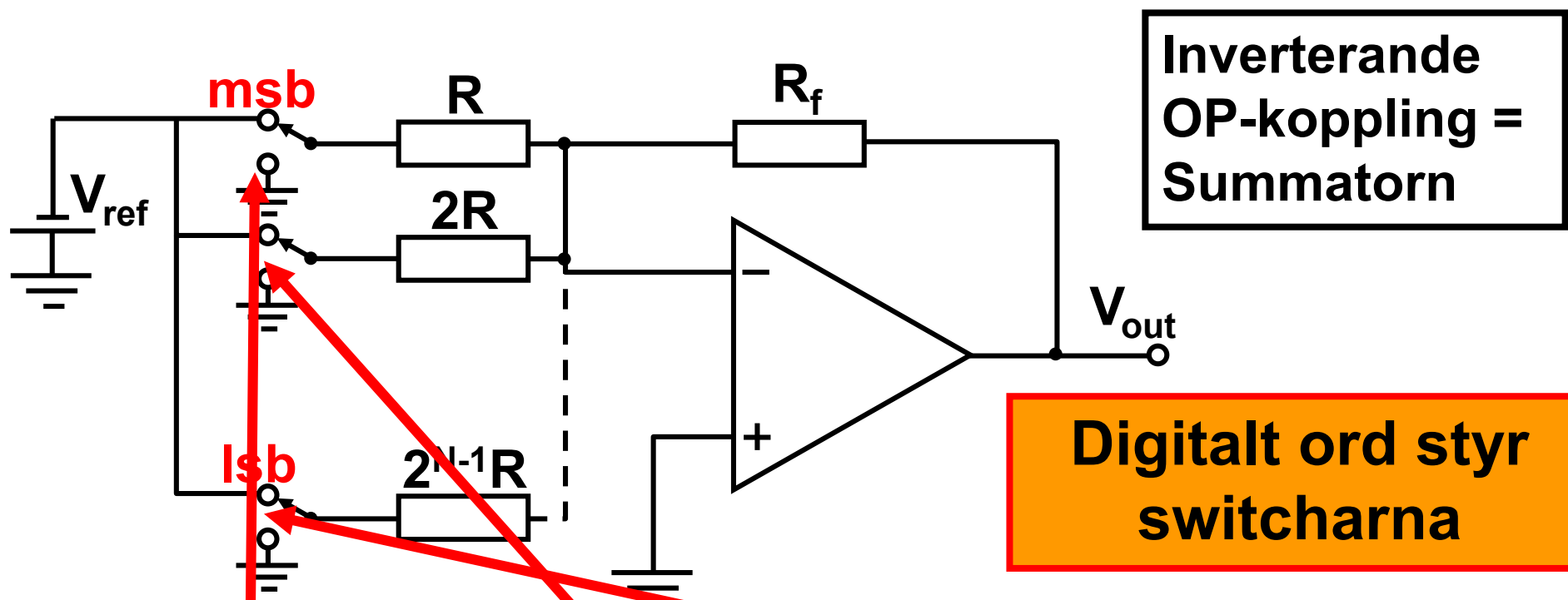
# Digital till Analog Konvertering



Inverterande  
OP-koppling =  
Summatoren

$$V_{out} = \frac{R_f}{2^{N-1} R} V_{ref}$$

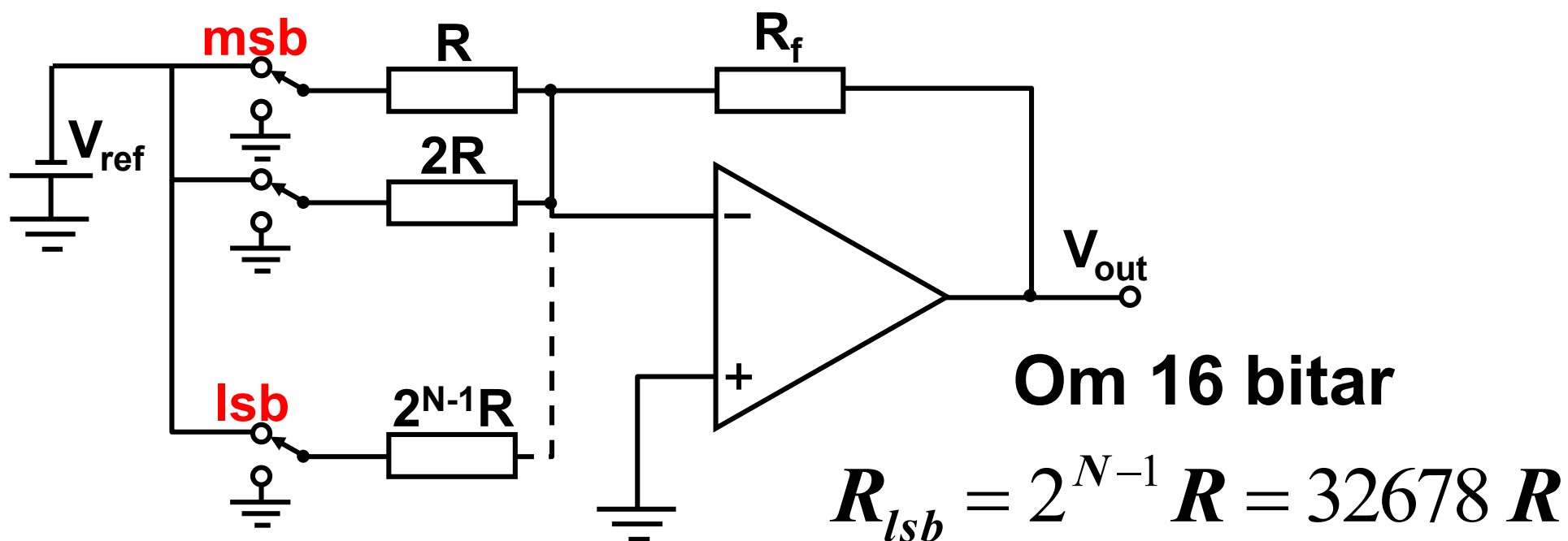
# Digital till Analog Konvertering



$$V_{out} = \left( msb \frac{R_f}{R} + (msb - 1) \frac{R_f}{2R} + K + lsb \frac{R_f}{2^{N-1}R} \right) V_{ref}$$

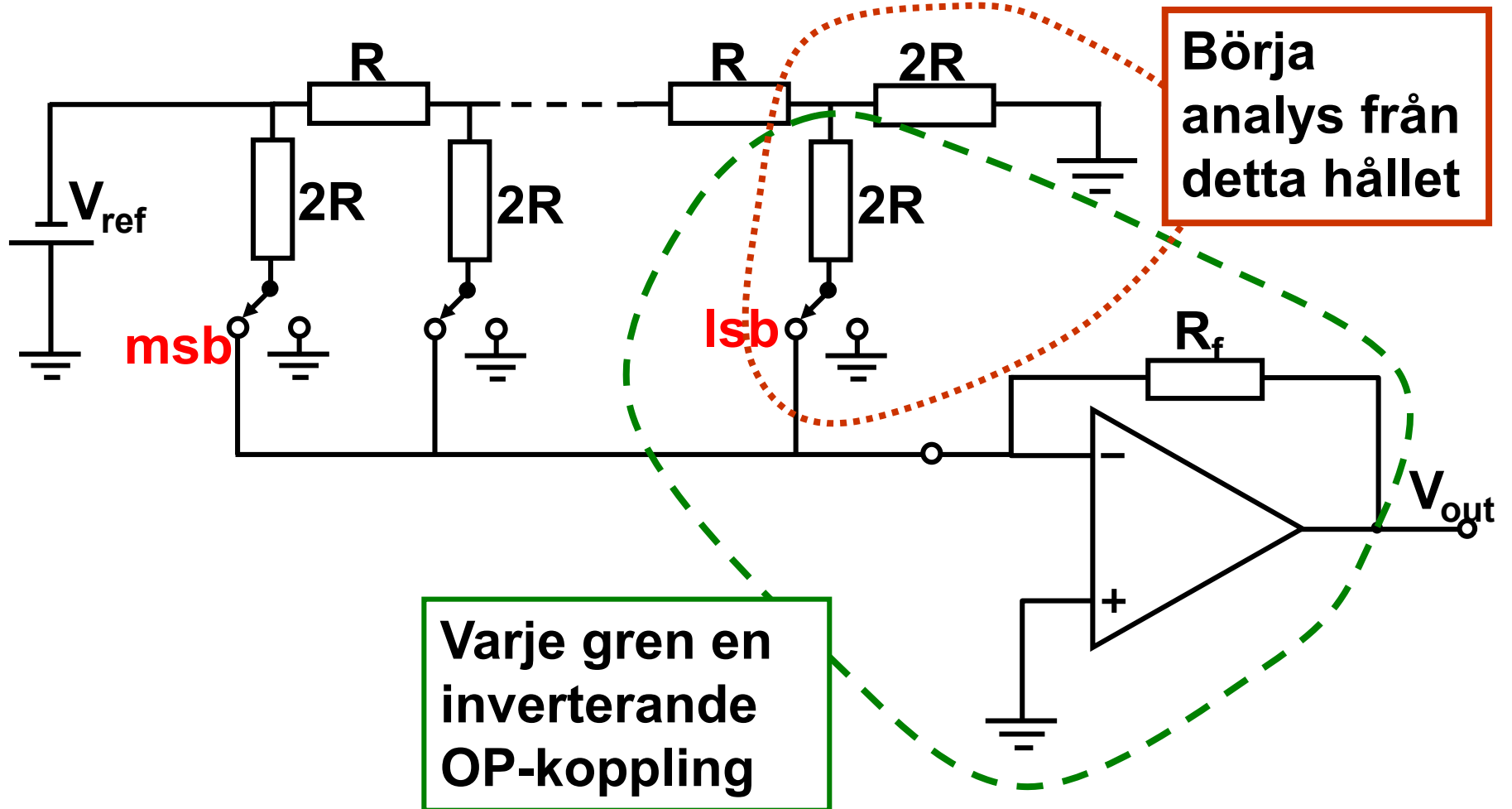


# Digital till Analog Konvertering

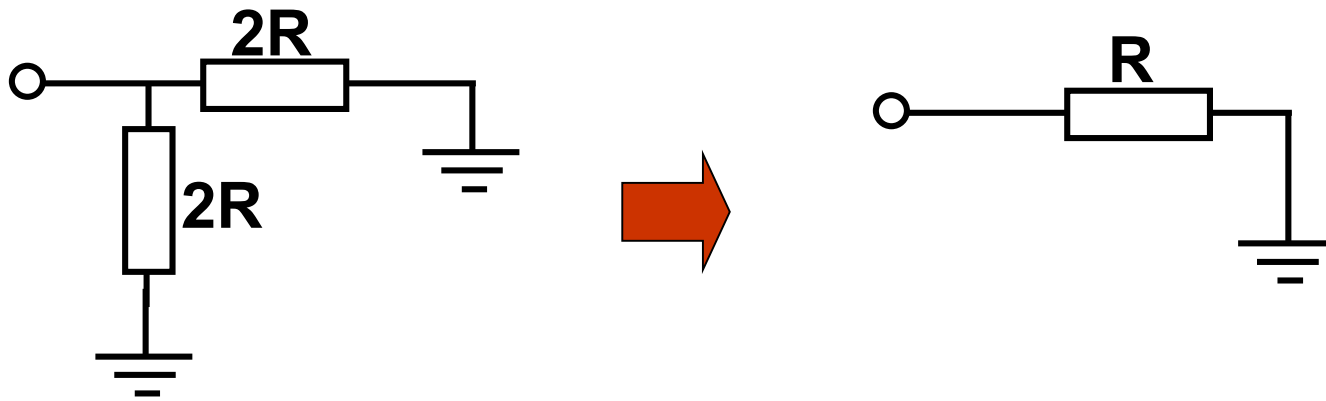


**Svårt med så stora motståndsvärden!  
Litet antal bitar med relativt låga krav.**

# DA-omvandling - R/2R Stege



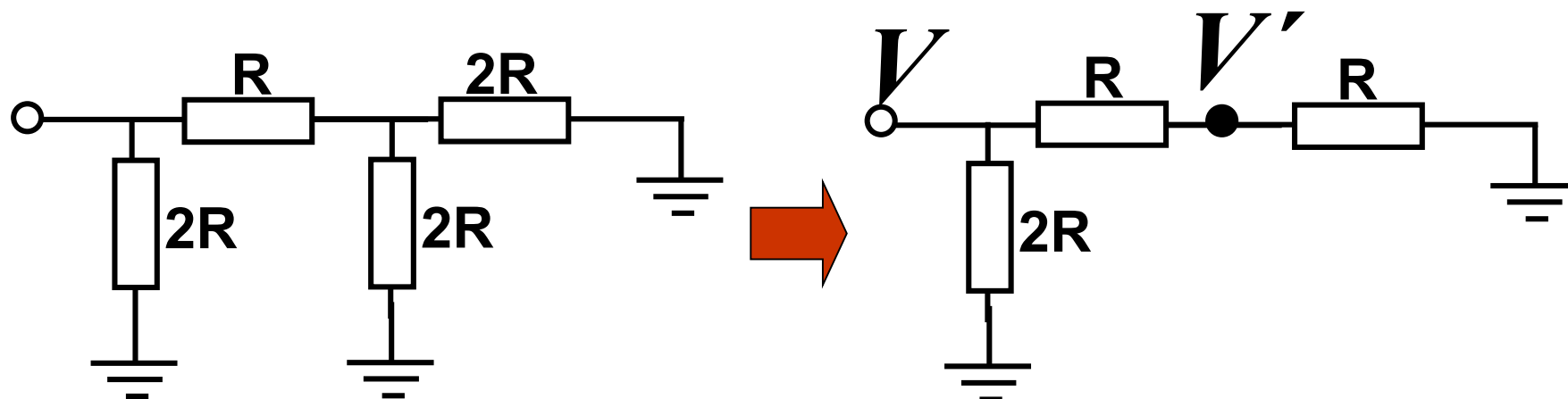
# DA-omvandling - R/2R Stege



Parallellkoppling av motstånd

$$\frac{1}{R_{tot}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_N}$$

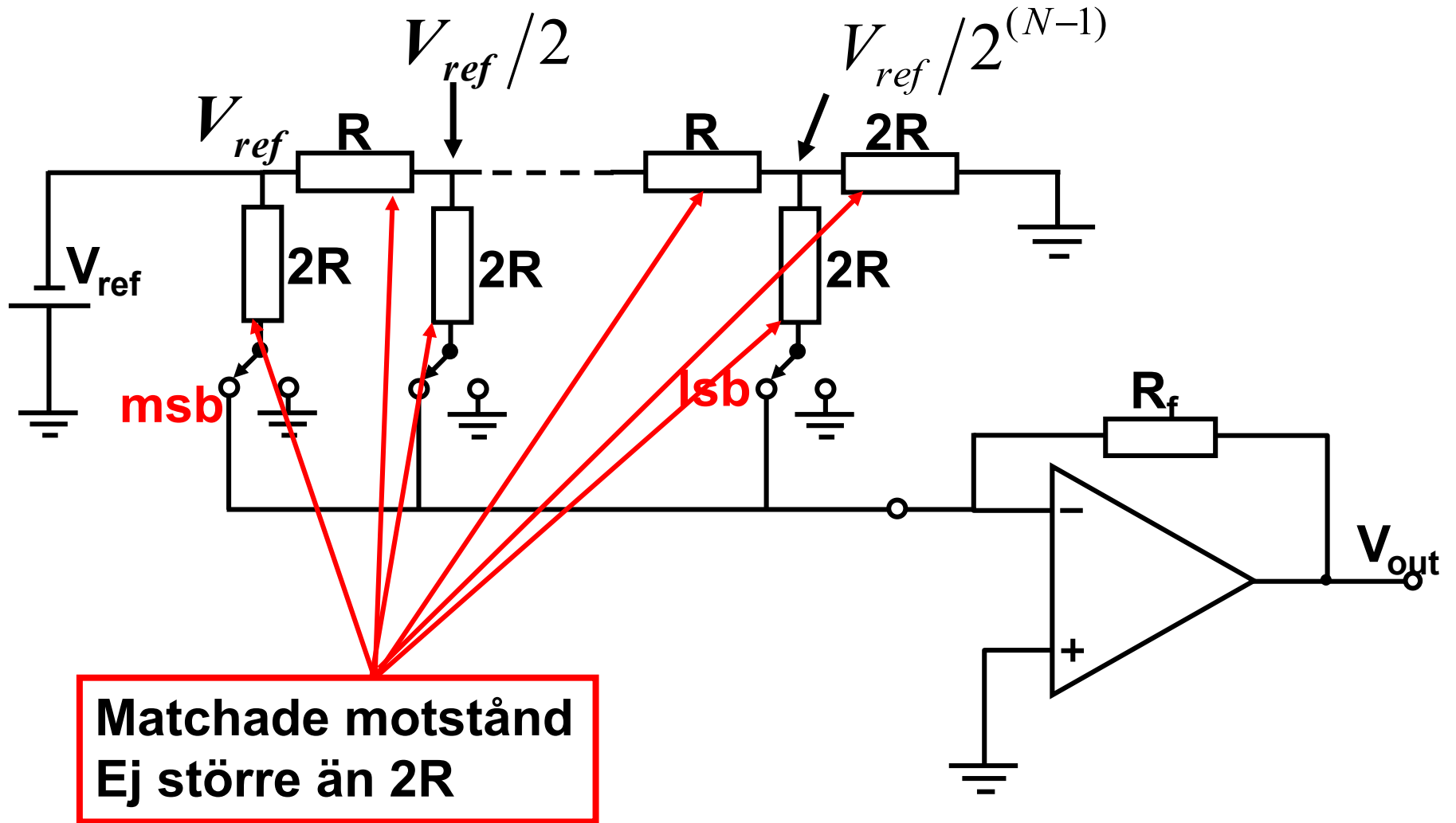
# DA-omvandling - R/2R Stege



**Spänningshalvering  
i varje steg**

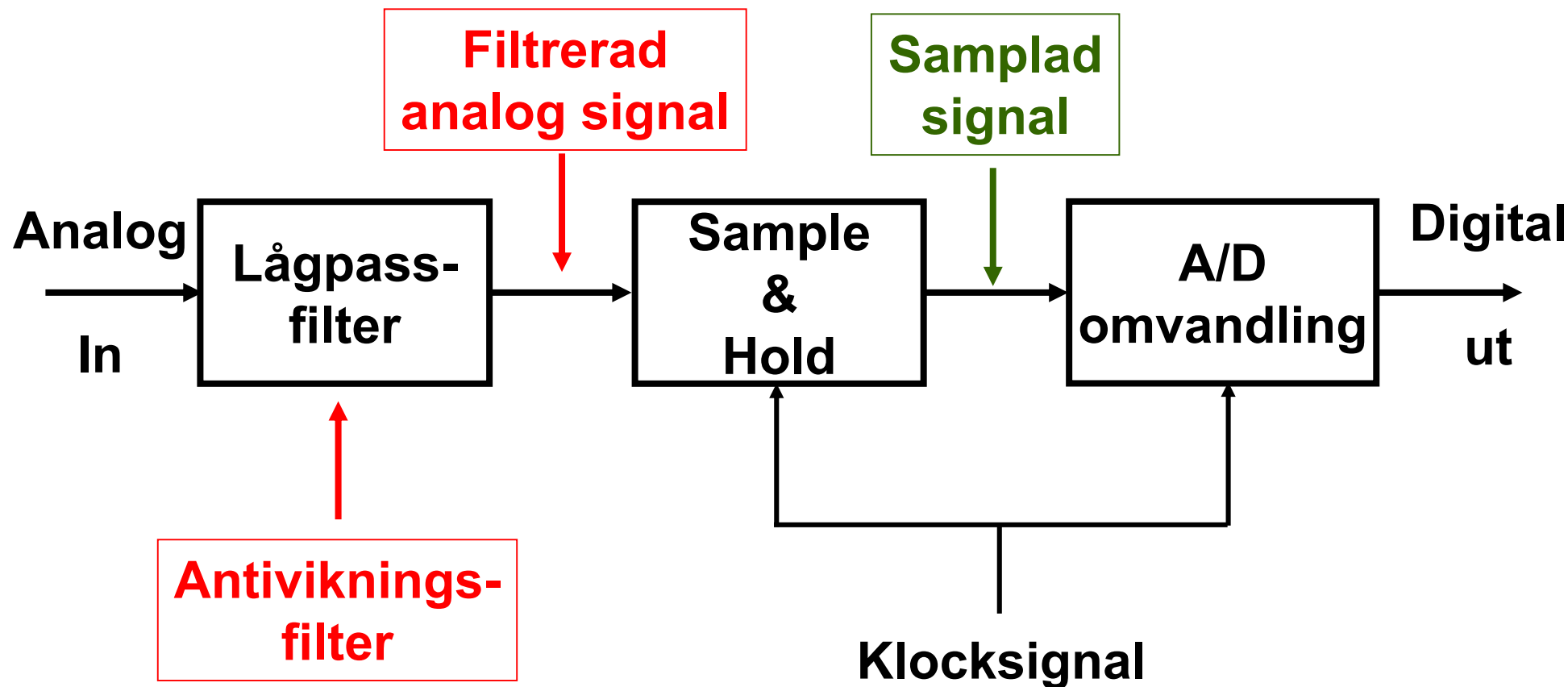
$$V' = \frac{R}{R + R} V = \frac{V}{2}$$

# DA-omvandling - R/2R Stege

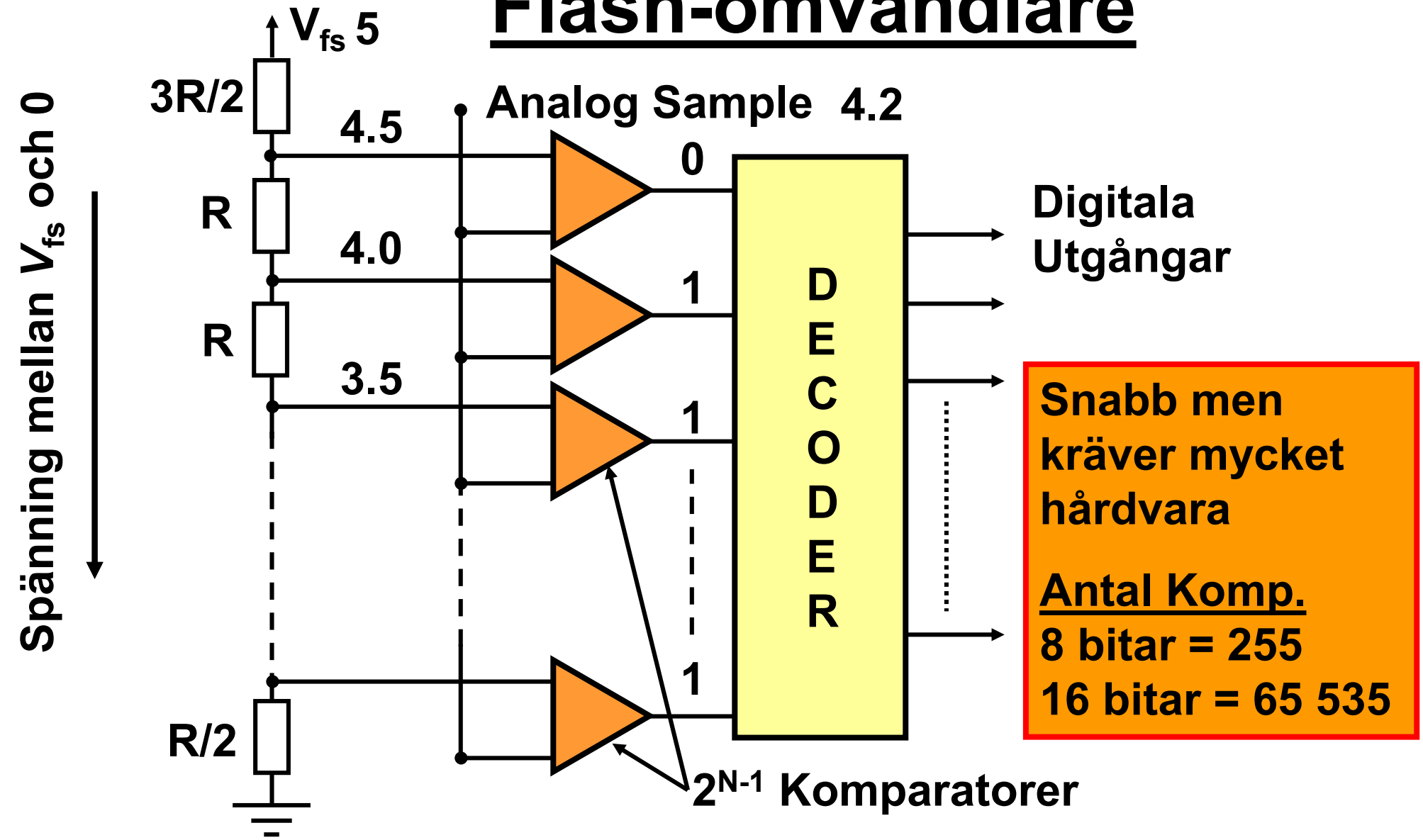


# **Analog till Digital omvandlare**

# Analog till Digital omvandling

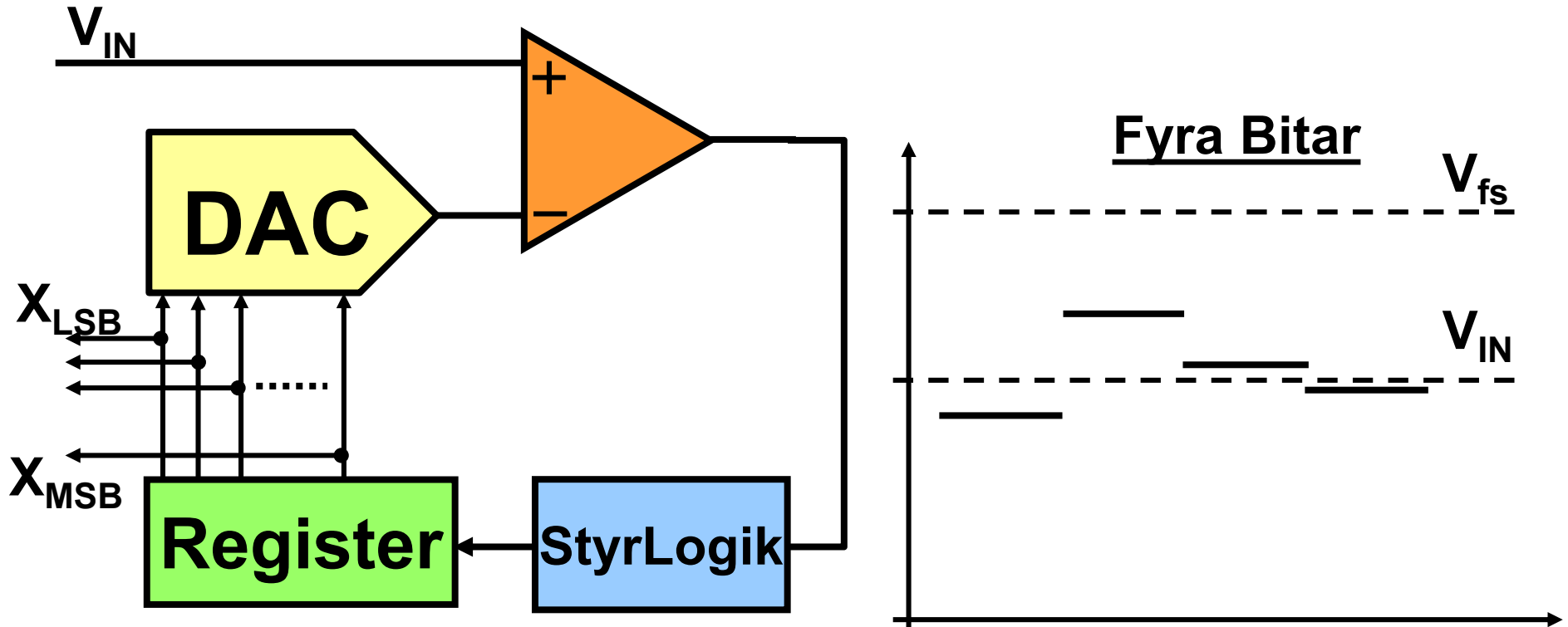


# Flash-omvandlare





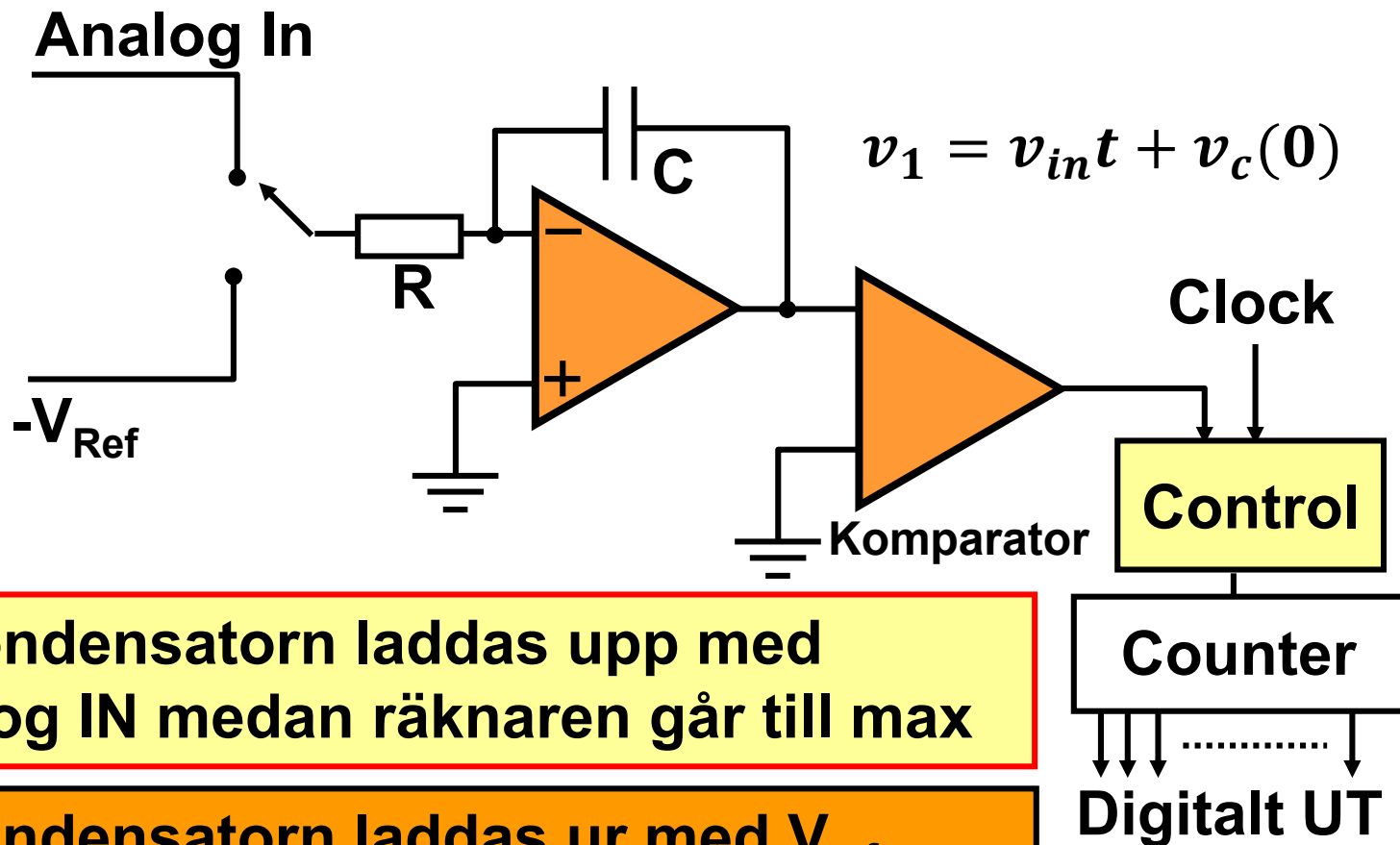
# Succesivapproximation



**Binär Sökning**  
 Alltid samma Omvandlingstid  
 N bitar → N jämförelser

Förslag	1000	1100	1010	1001
Test	OK	NEJ	NEJ	OK
Utvärde	1000	1000	1000	1001

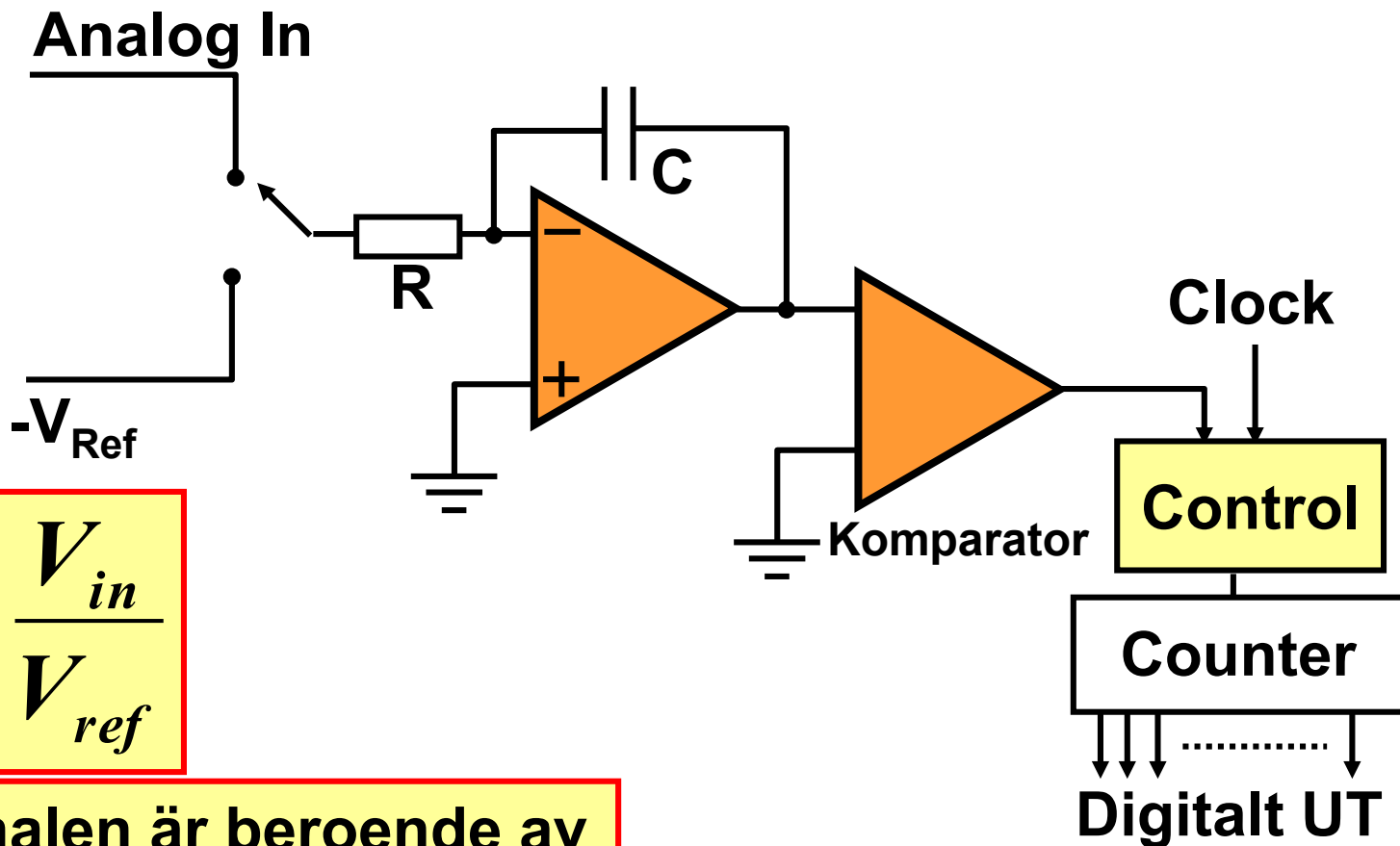
# Integrerande Omvandlare, Dual Slope



1. Kondensatorn laddas upp med Analog IN medan räknaren går till max

2. Kondensatorn laddas ur med  $V_{ref}$ , räknarvärdet vid omslag mäts på analoga spänningen

# Integrerande Omvandlare, Dual Slope



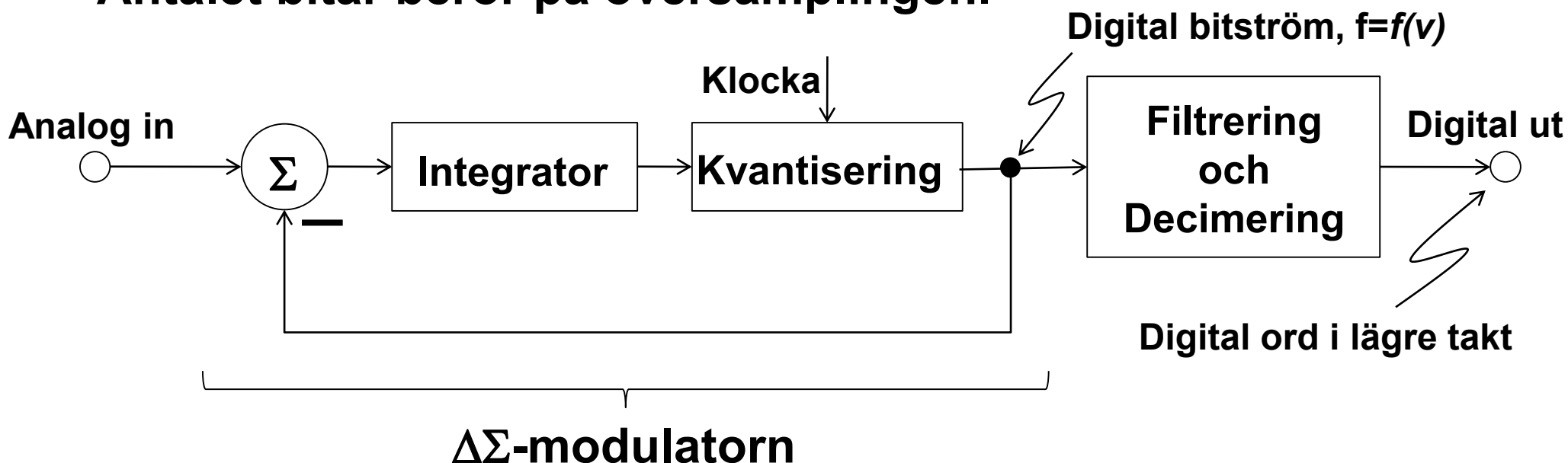
$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{V_{in}}{V_{ref}}$$

Utsignalen är beroende av både upp- och urladdning men EJ av C och R.

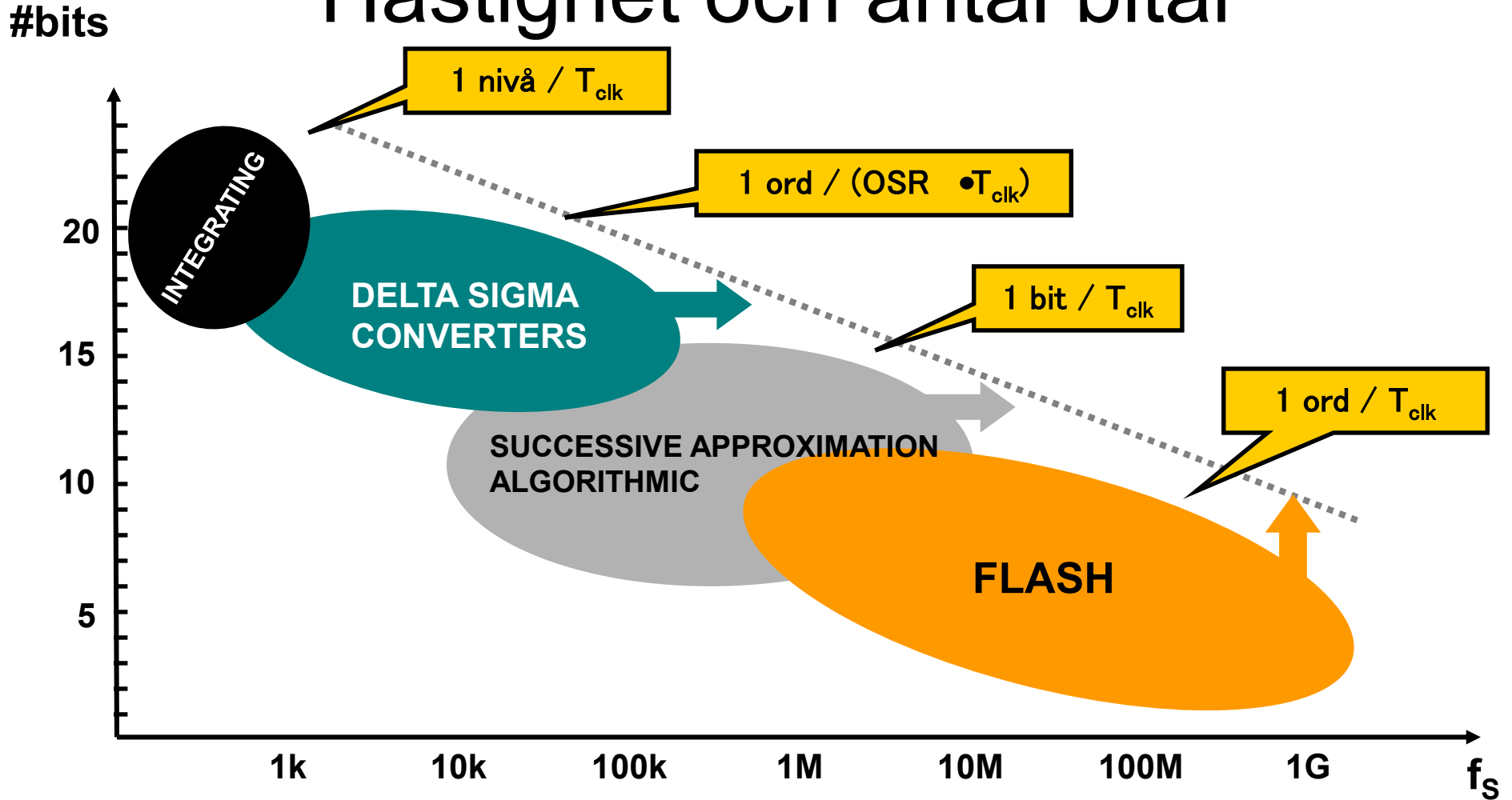
Ej känslig för drift i klockfrekvens och variationer i R och C

# Kort om $\Delta\Sigma$ -omvandlare

Bygger på att vi översamplar signalen och får en bitström med betydligt högre takt än vår Nyquist-samplingstakt. Därefter filtreras och decimeras (minskas) sampeltakten och vi får ut digitala ord med hög upplösning. Antalet bitar beror på översamplingen.



# Hastighet och antal bitar

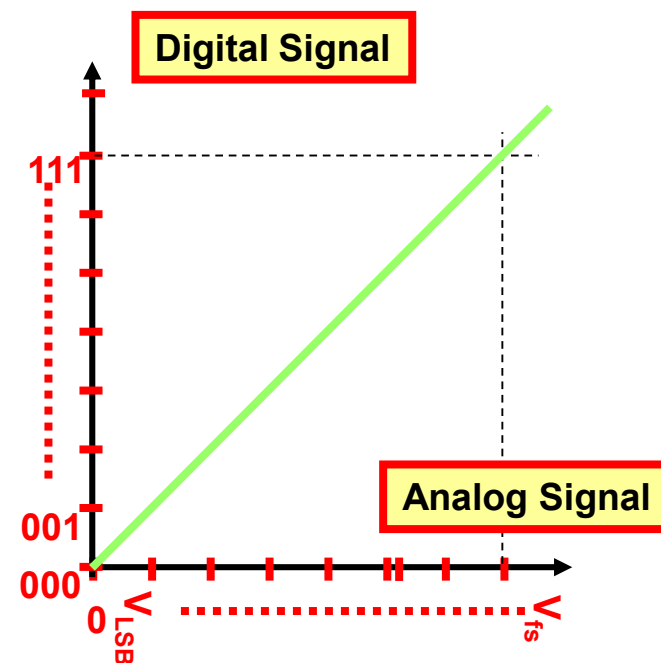


OSR = Over Sampling rate

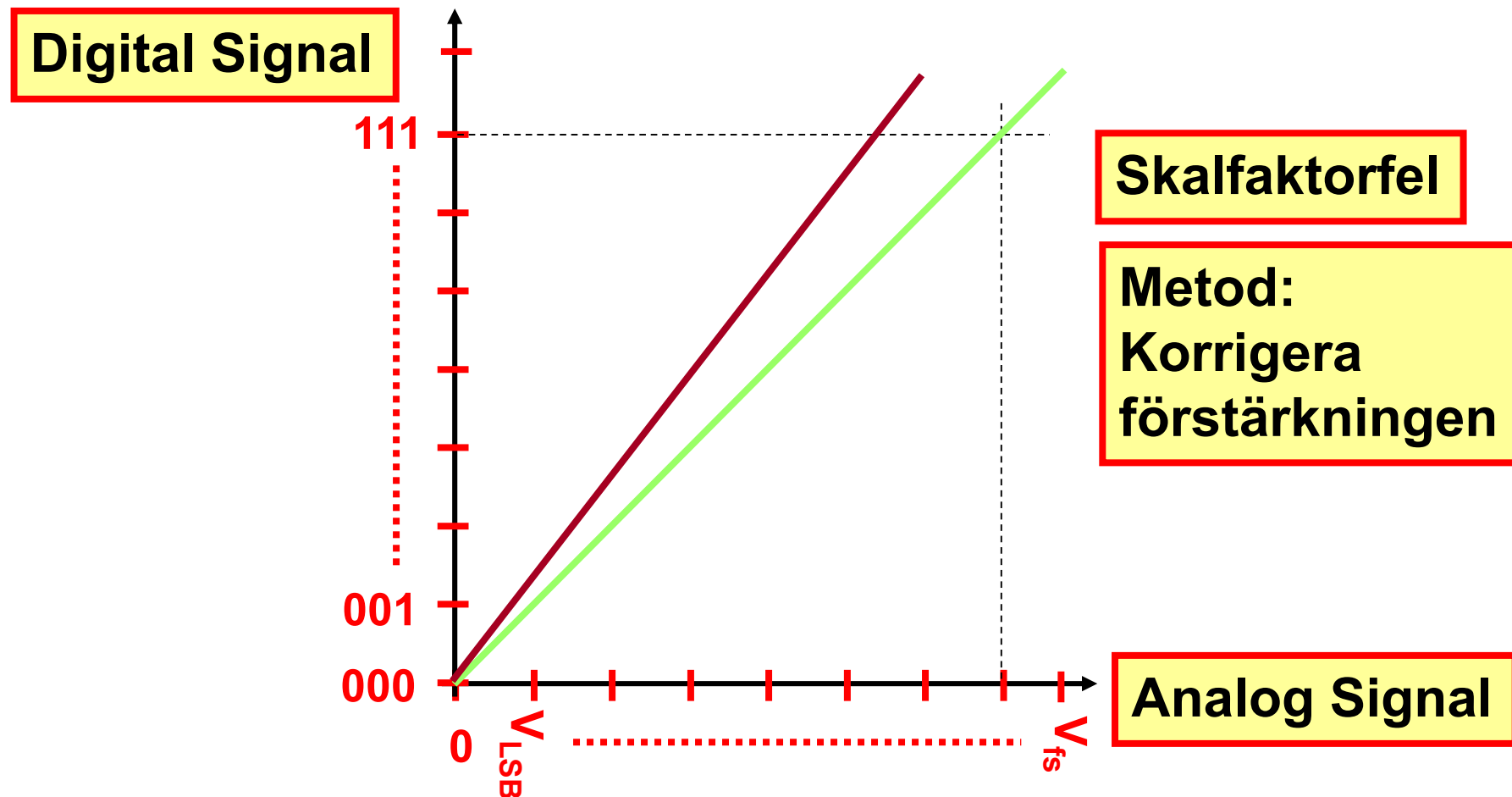
Original från Piero Andreani

# AD- och DA-omvandling

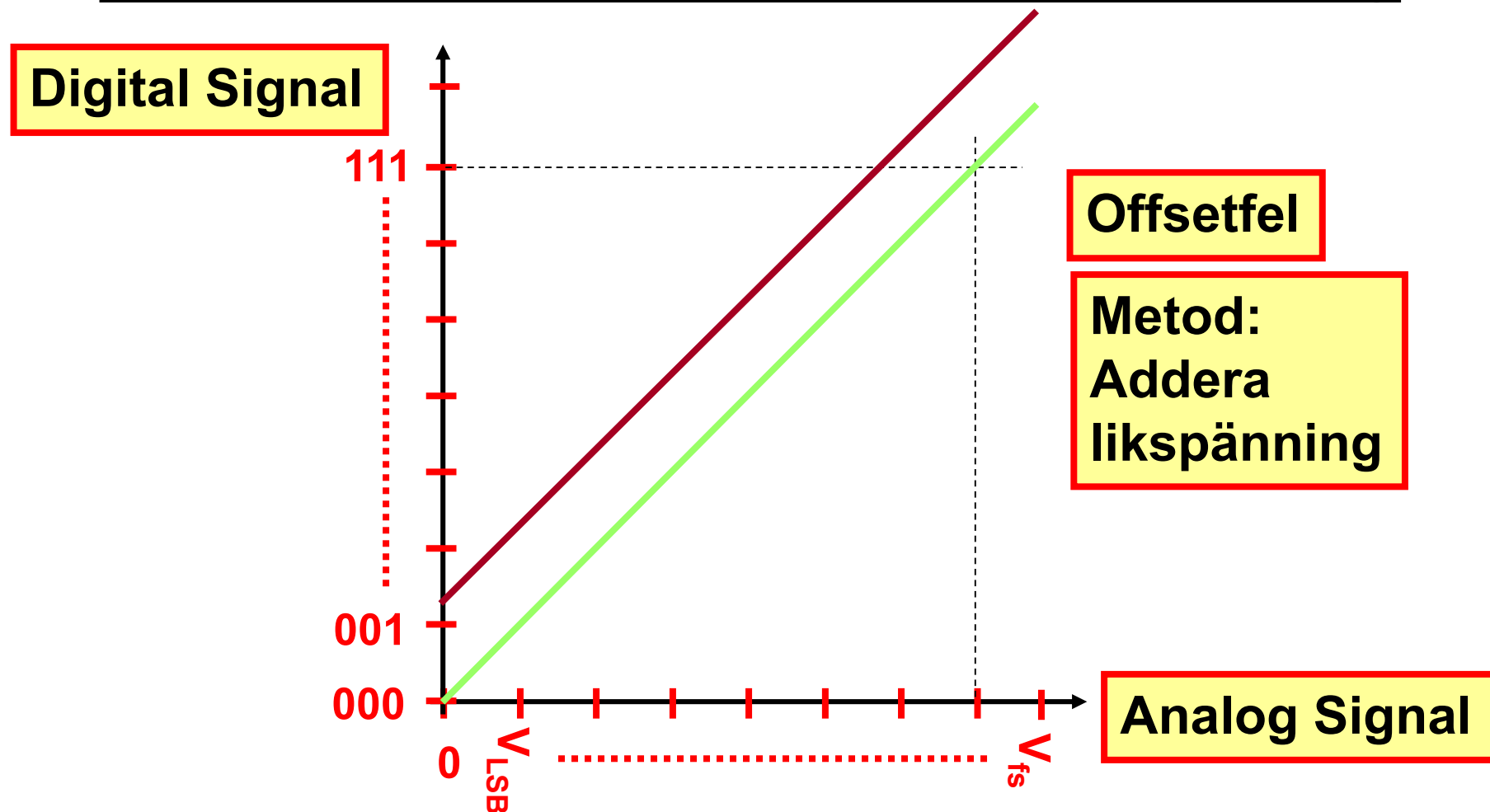
- Överföringen skall vara linjär dvs.  
 $y = k*x$  där  $k$  är konstant,  
 $y$  är den digitala och  
 $x$  är den analoga signalen
- En verklig omvandlare har fel i överföringen:  
 $y = k(x)*x + m$  där  $k(x)$  varierar och  $m$  är nollfel



# Fel i AD-omvandling

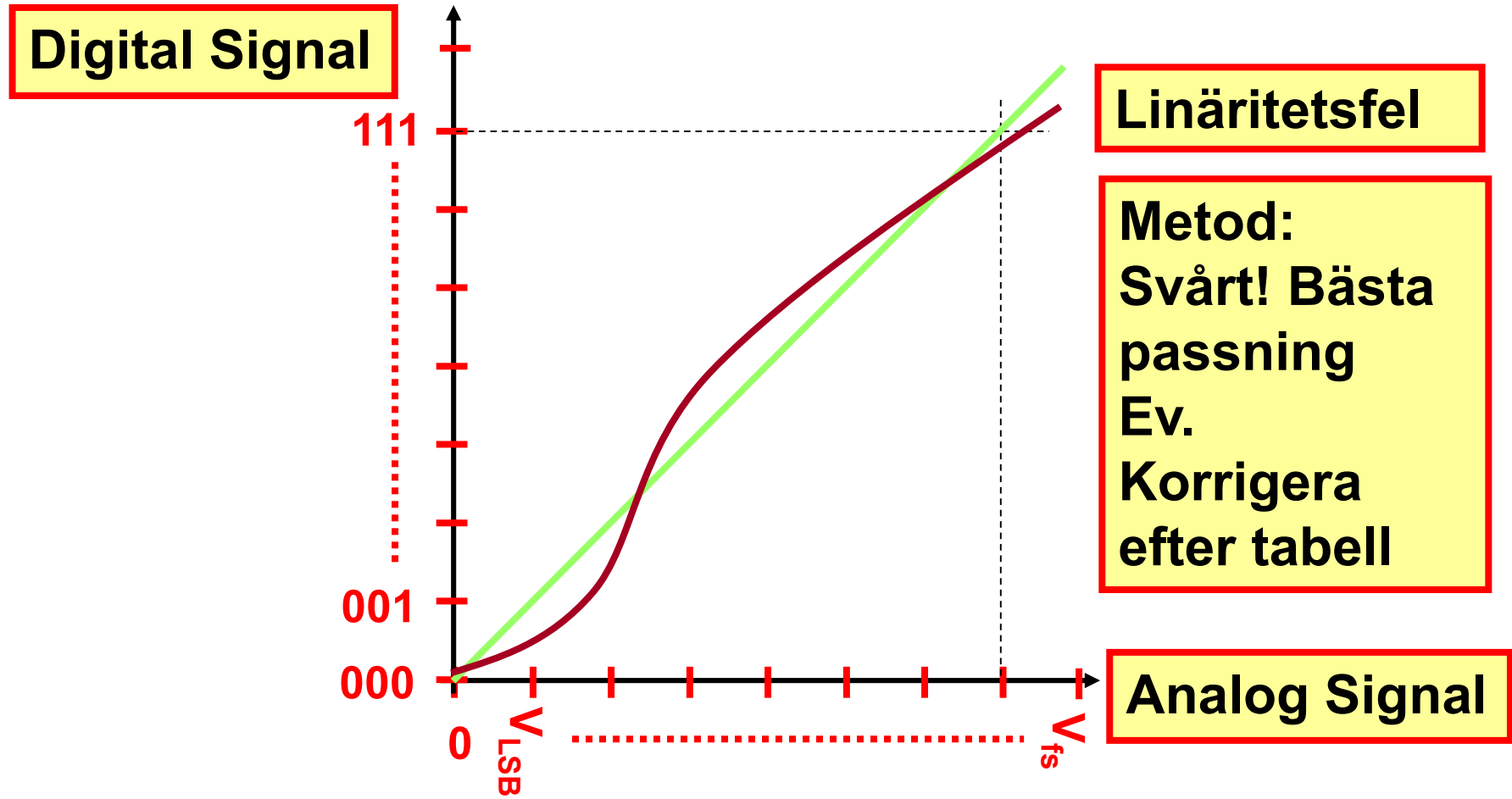


# Felkällor i AD- och DA-omvandling

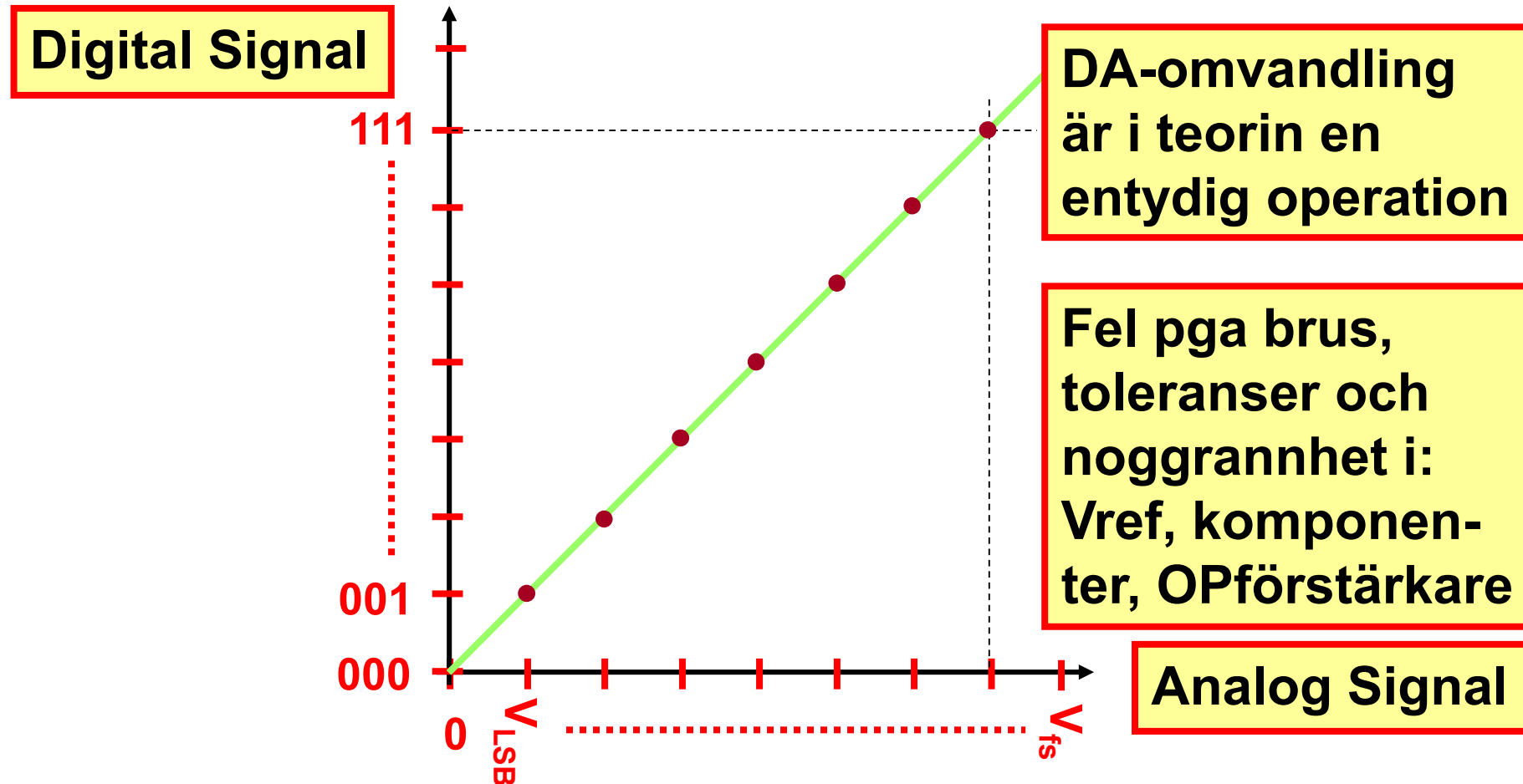




# Felkällor i AD- och DA-omvandling



# Fel i DA-omvandling

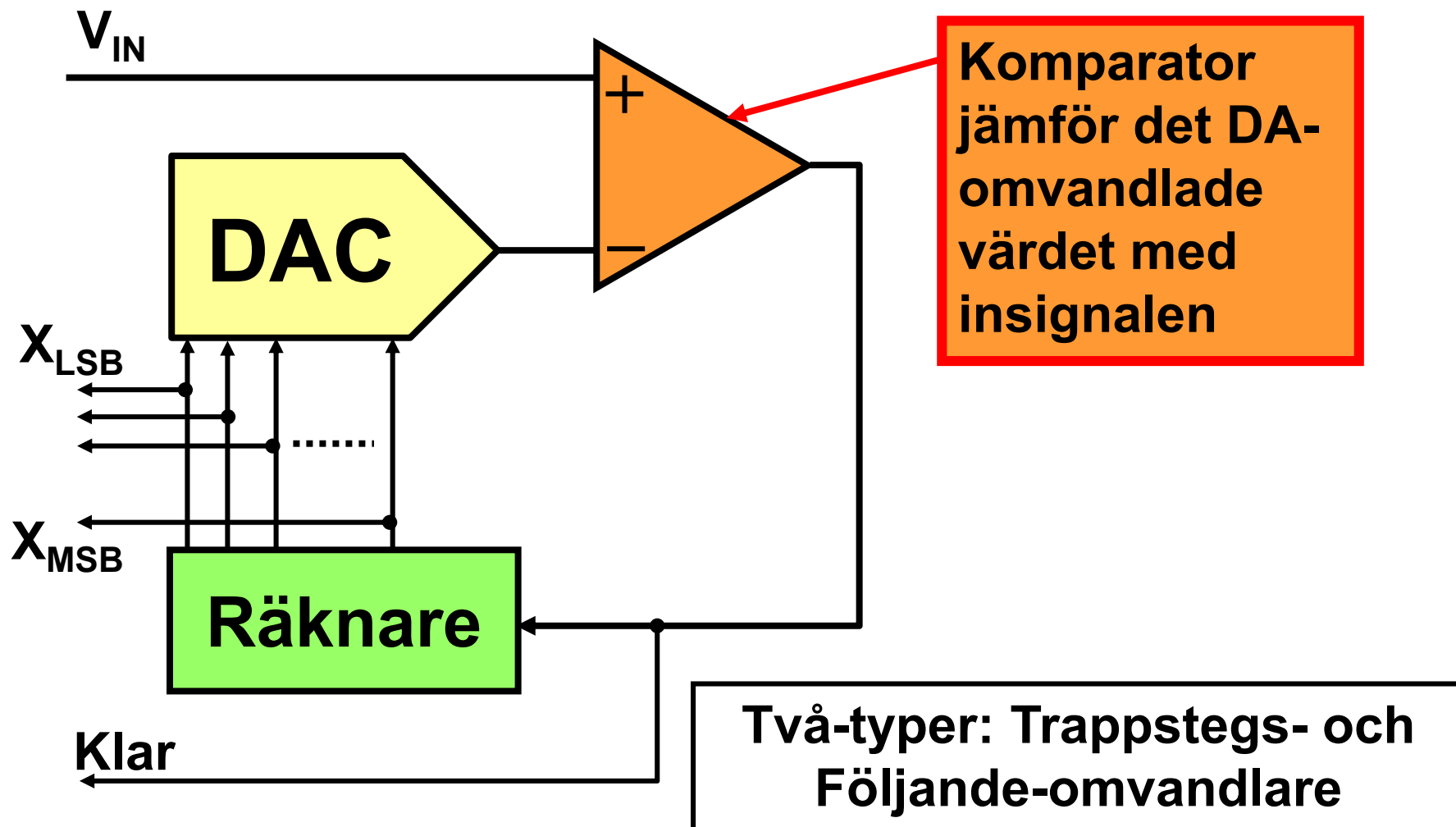




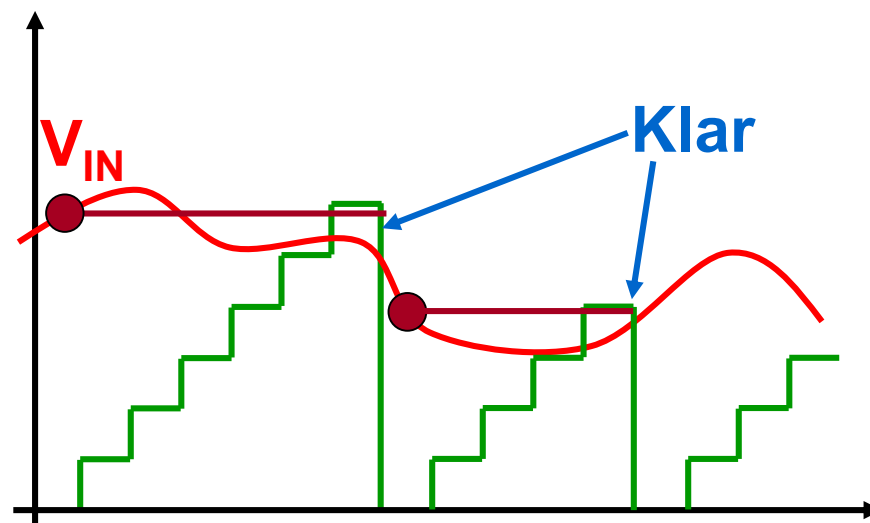
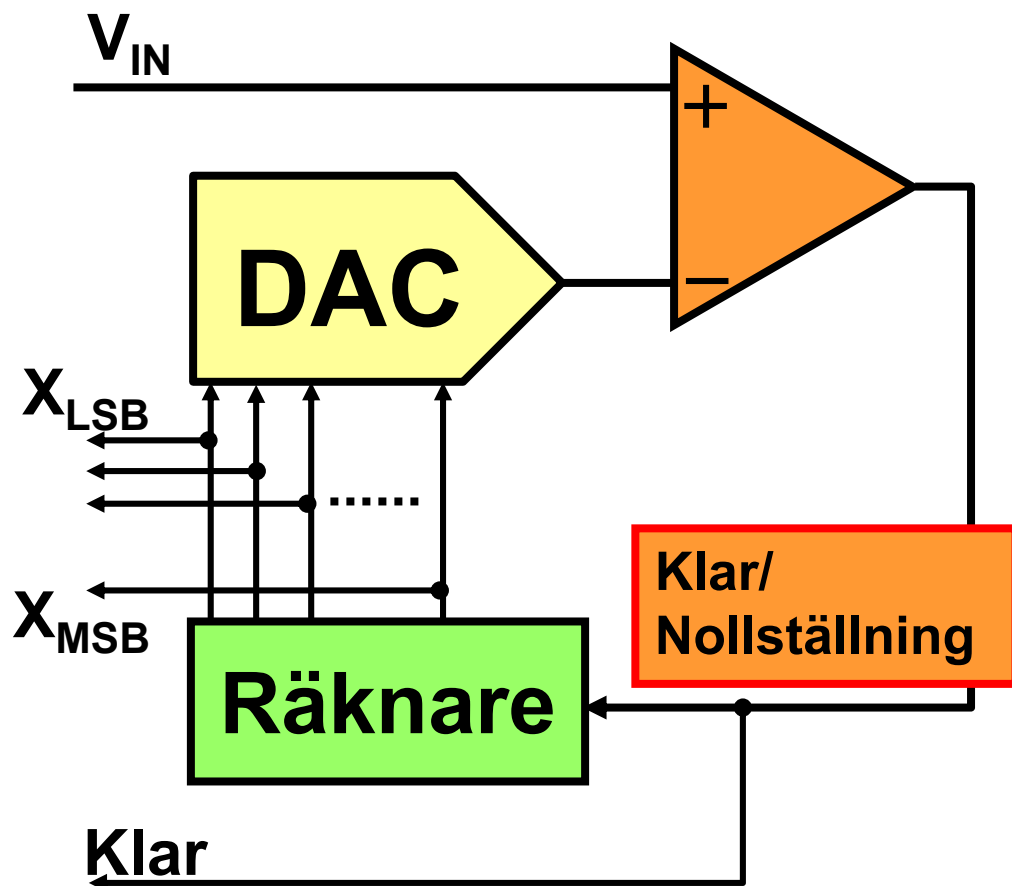
# **Andra AD-omvandlare (kursivt)**

- **Räknarebaserade**

# Räknarbaserad AD-omvandlare

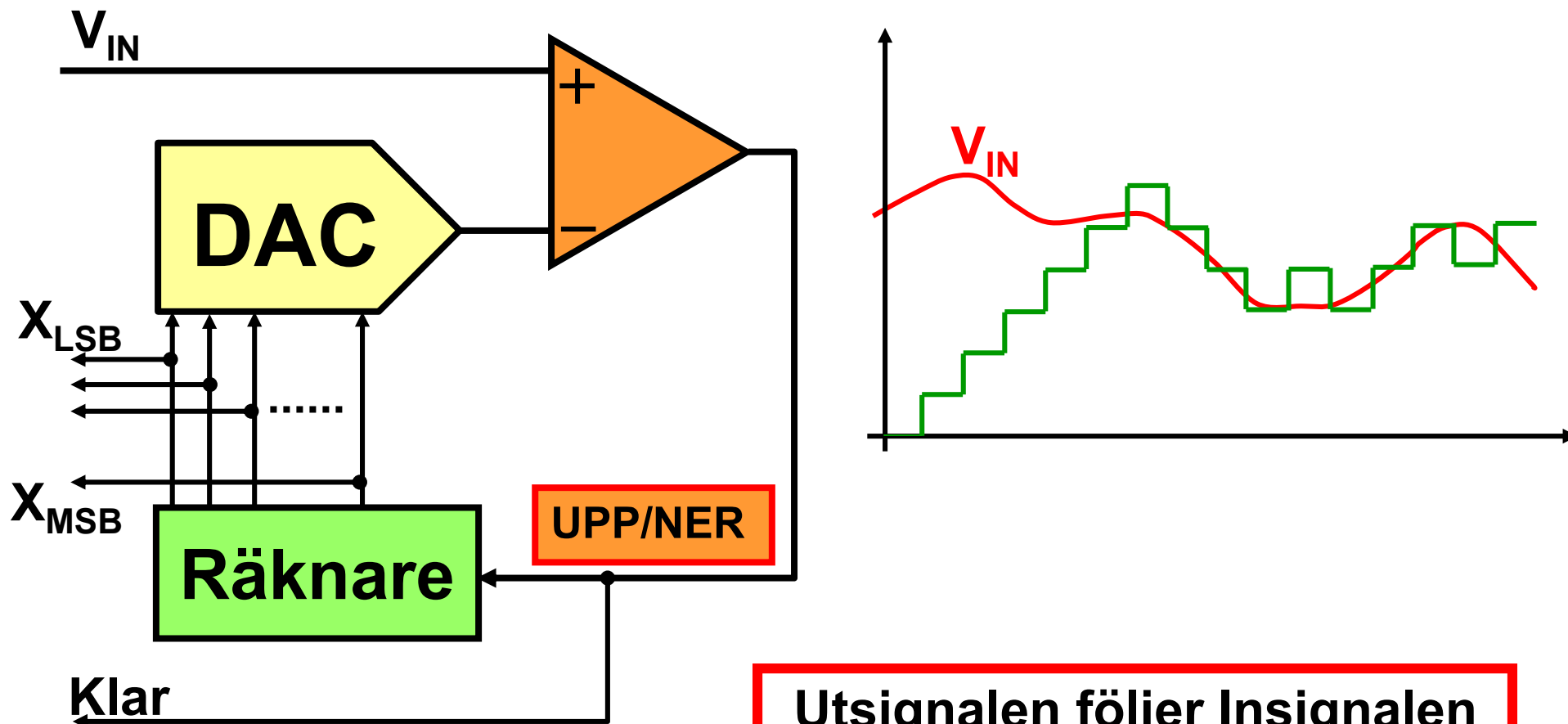


# Trappstegsomvandlare



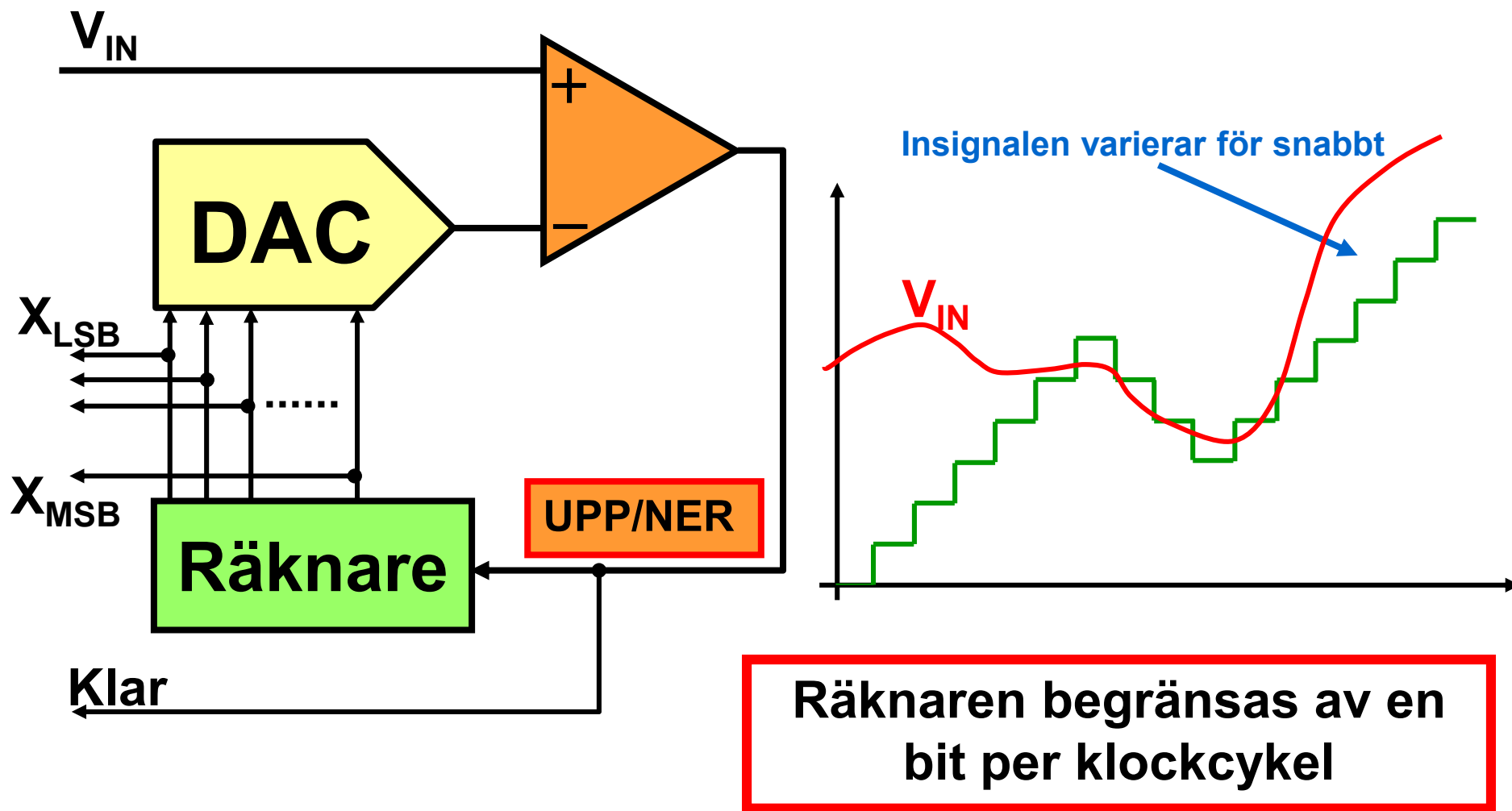
**Omvandlingstid beror på Insignalsnivån**

# Följandeomvandlare



Utsignalen följer Insignalen  
Snabbare än Trappstegs

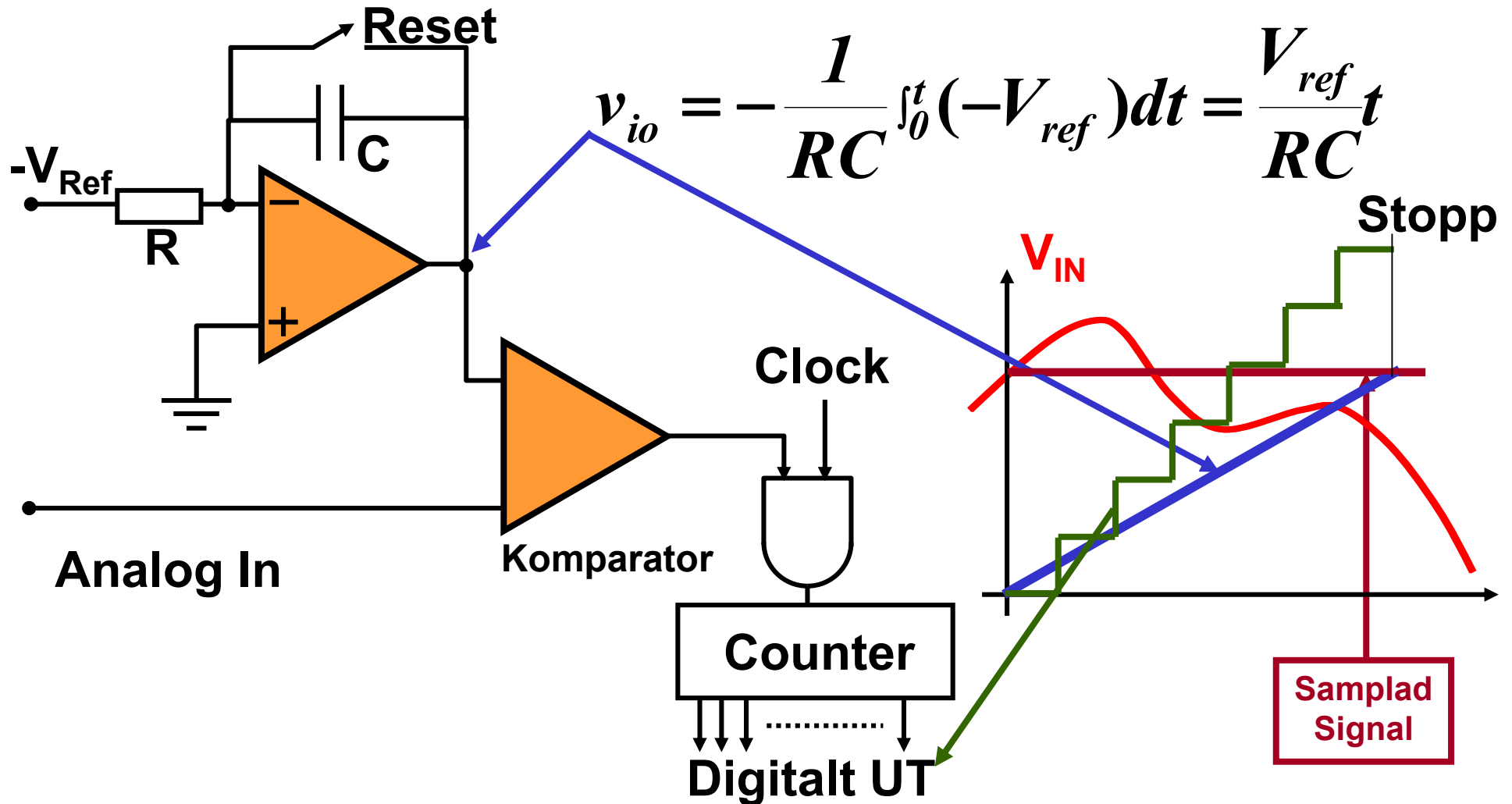
# Följandeomvandlare



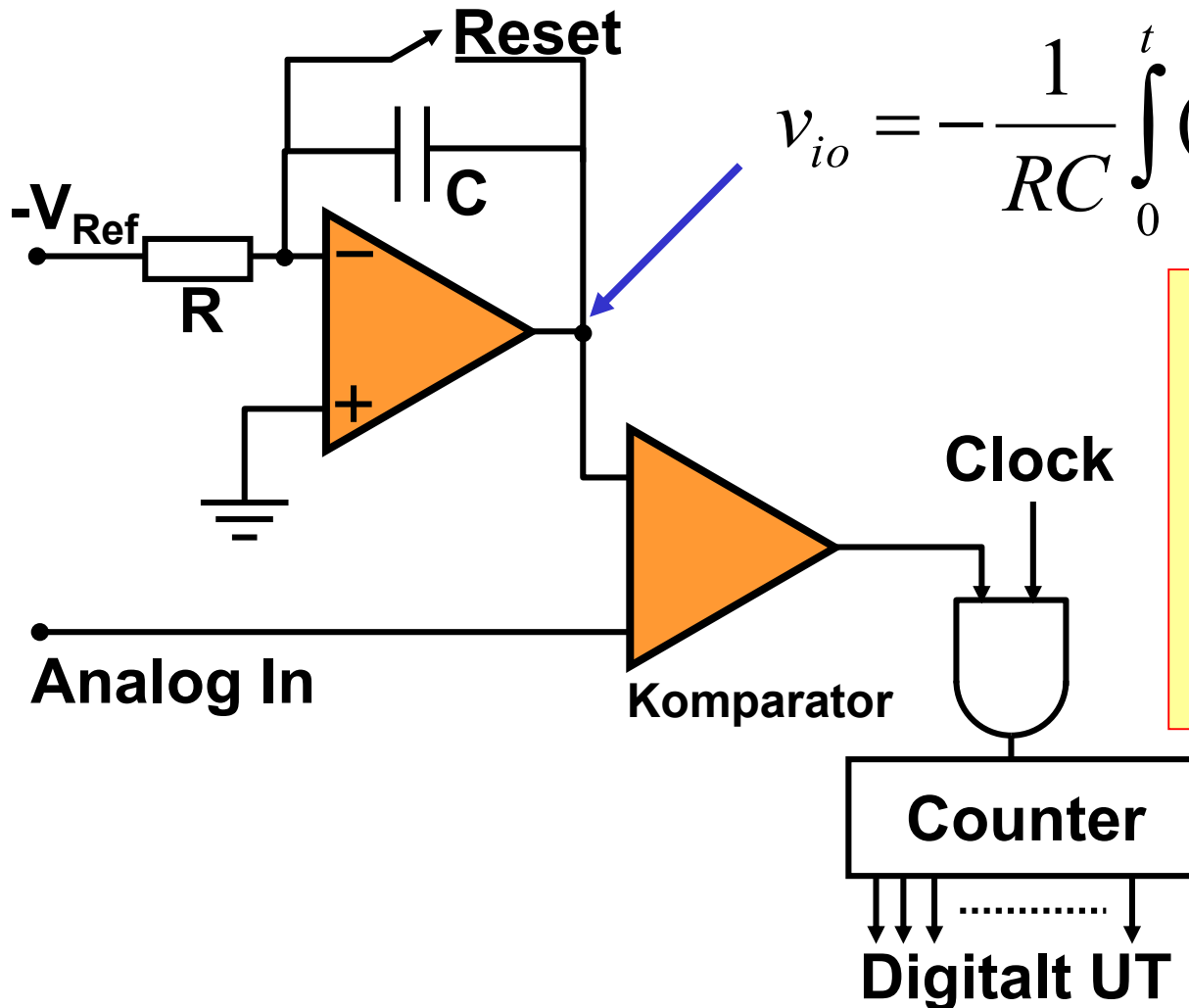
Räknaren begränsas av en bit per klockcykel



# Integrerande Omvandlare, Single Slope



# Integrerande Omvandlare, Single Slope



$$v_{io} = -\frac{1}{RC} \int_0^t (-V_{ref}) dt = \frac{V_{ref}}{RC} t$$

Oladdad Kondensator. Kondensatorn laddas tills komparaton slår om.

Räknarvärdet mått på tid som är proportionellt mot spänningen.

Problem:  
Komponentpassning  
Drift