

# Analogt och Digital

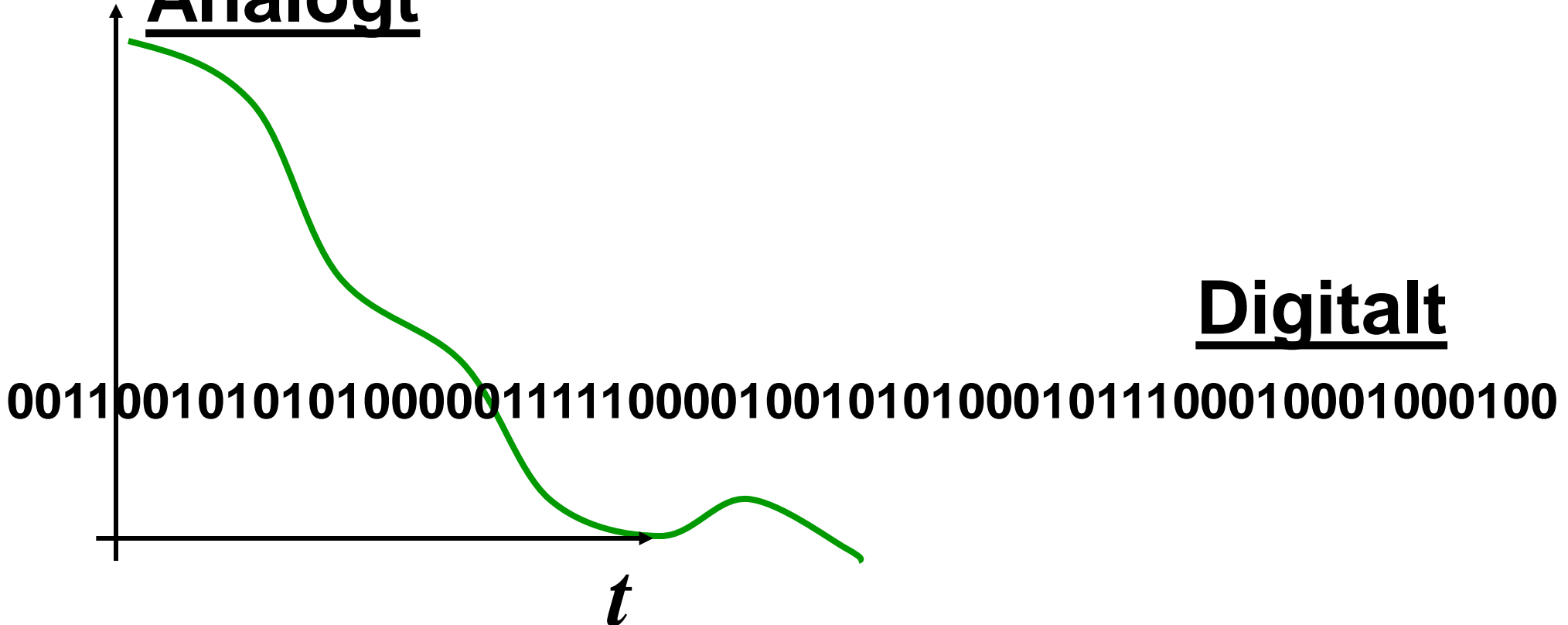
**Viktor Öwall**



# Analoga och Digitala Signaler

Analogt

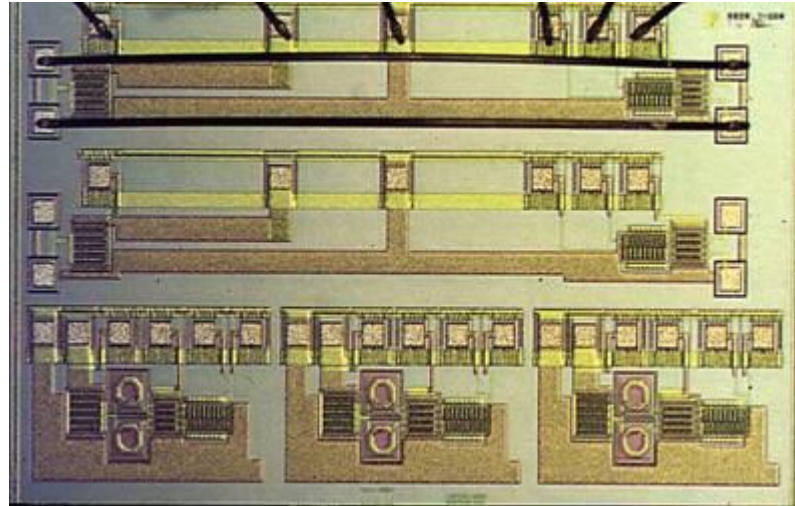
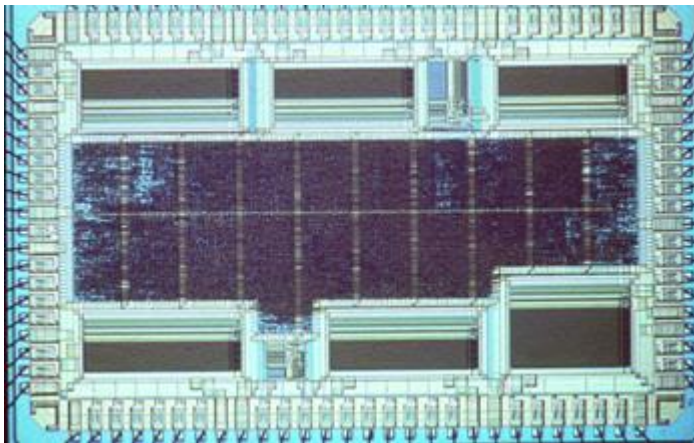
Digitalt



# Analogt kontra Digitalt

## Analogt

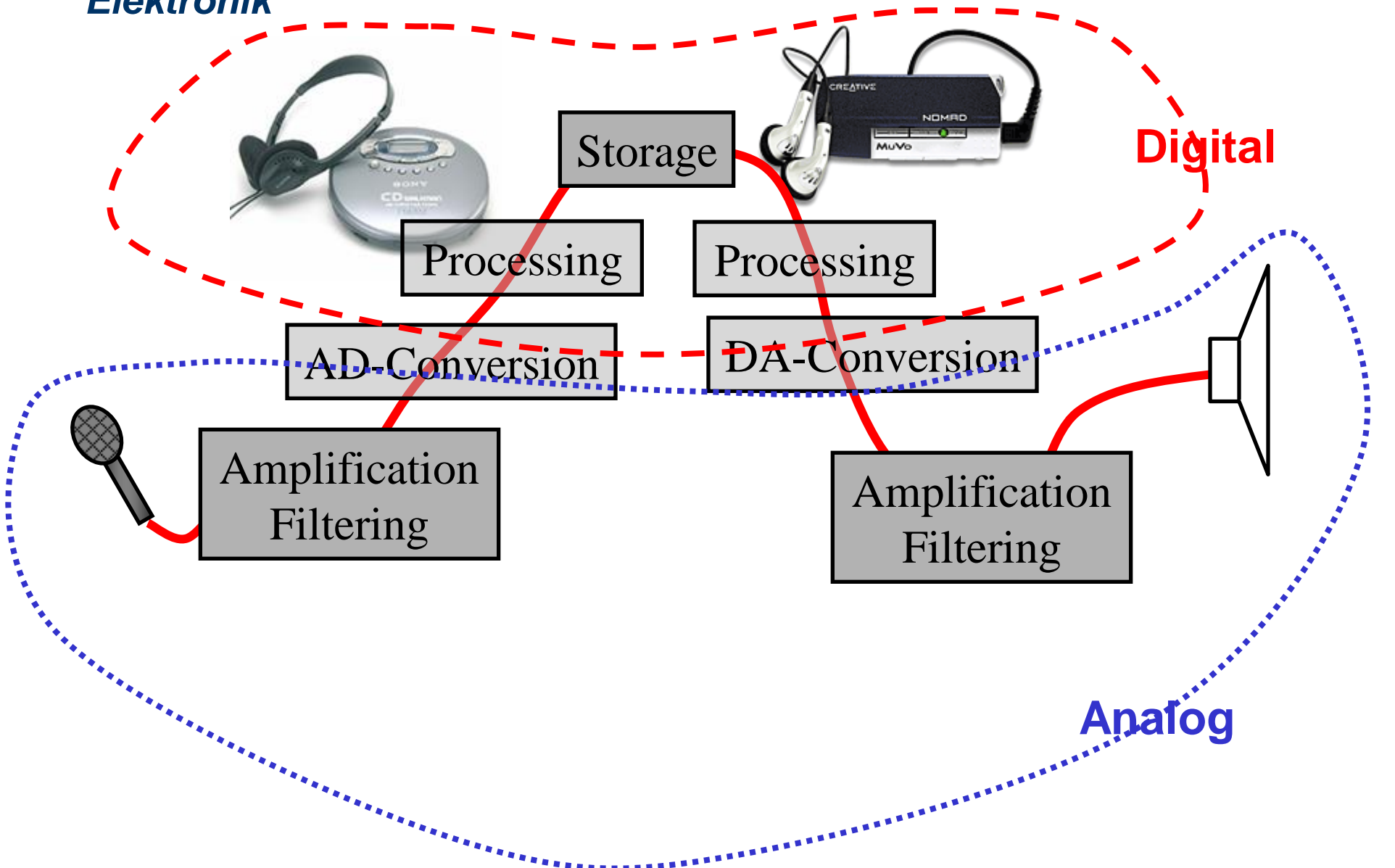
- få komponenter
- låg effektförbrukning
- höga frekvenser
- ”verkliga” signaler



## Digitalt

- Hög precision
- Komplexare algoritmer
- Lagringskapacitet

CD/DVD, MP3, Digitalkamera,  
GSM, datorer, etc, etc



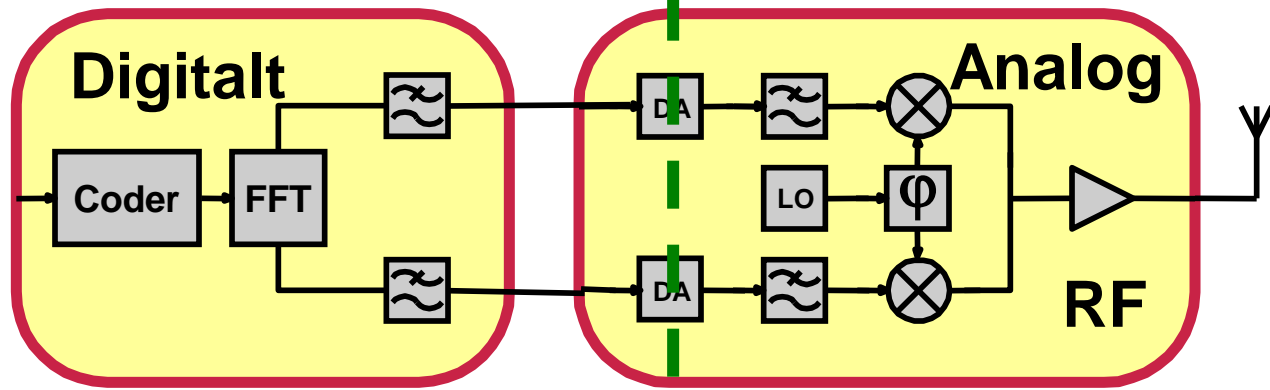
Digital

Analog

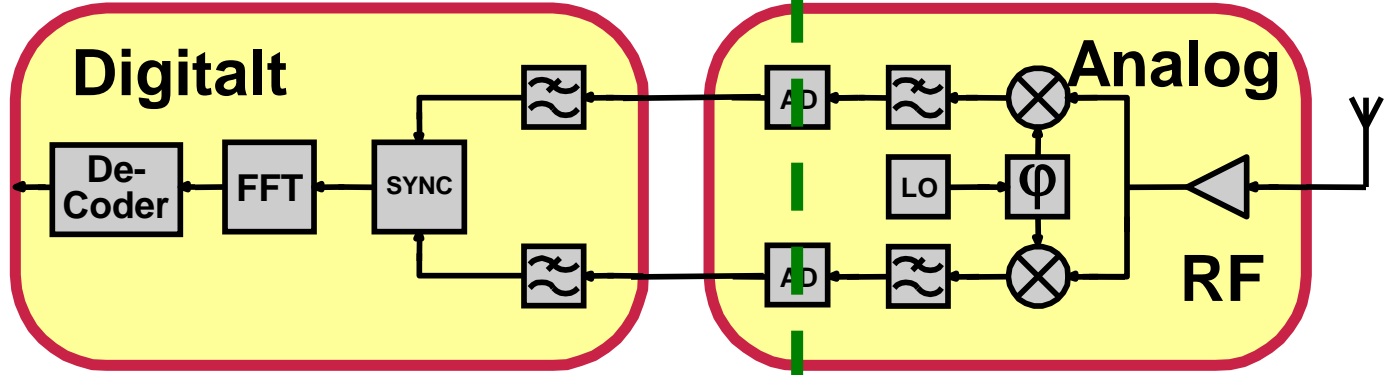
# AD/DA i Radio

Gränssnitt Analogt/Digitalt

Radiosändare



Radiomottagare



Trenden idag är att flytta Analog/Digital gränssnittet så nära antennen som möjligt.

# Binära Talsystemet

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

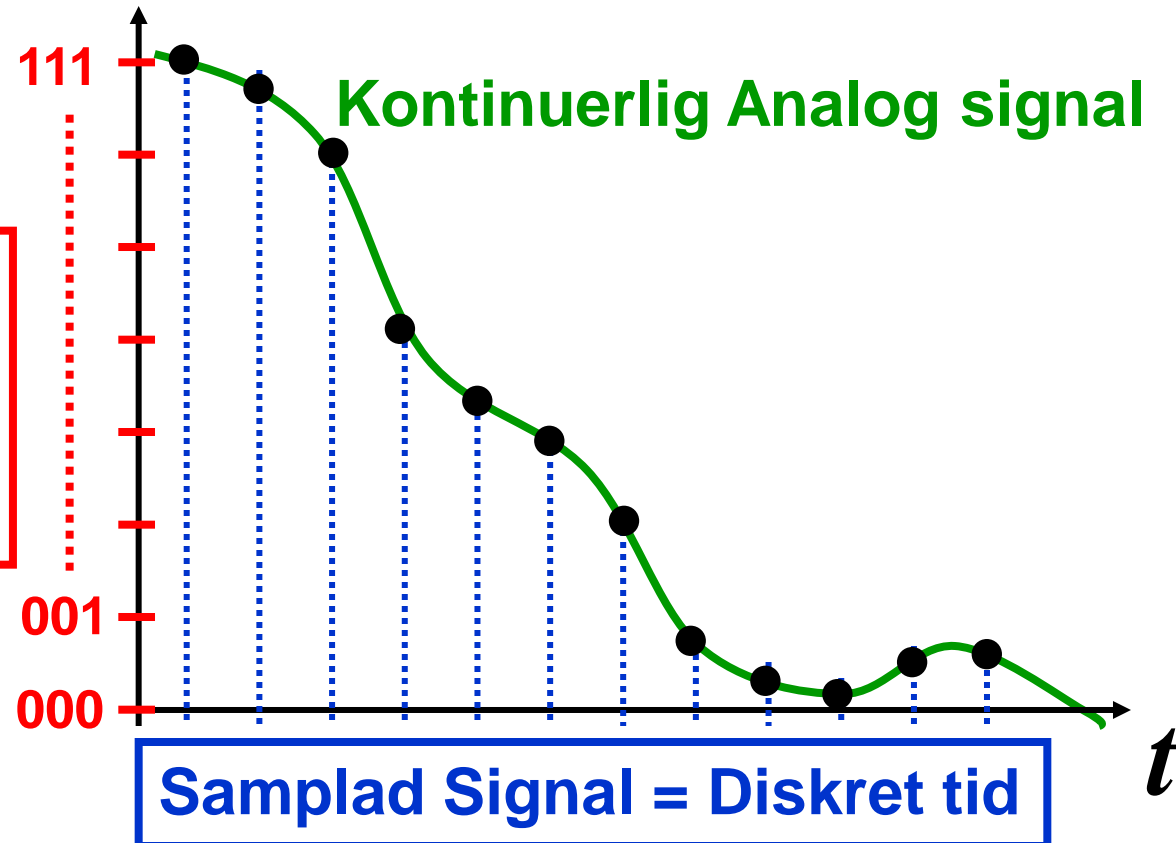
**LSB =**  
**Least Significant Bit**  
**Minsta förändringen**

**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



**Kvantisering =  
Begränsat antal  
nivåer =  
Diskret Amplitud**

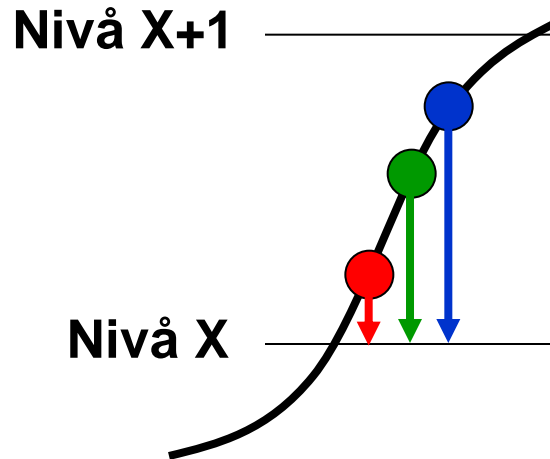
**Digital Signal = Diskret tid och amplitud**



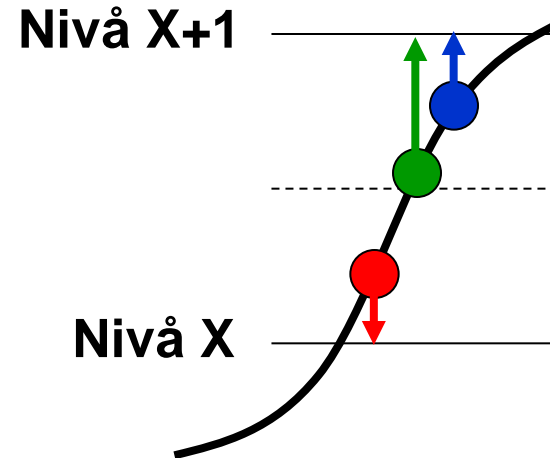
# Dynamik och Upplösning

<b>Antal bitar</b>	<b>Antal Intervall</b>	<b>Upplösning <math>V_{fs}=0.5V</math></b>	<b>Dynamik <math>V_{LSB}=0.03125</math></b>
<b>4</b>	<b>16</b>	<b>0.03125V</b>	<b>0.5V</b>
<b>8</b>	<b>256</b>	<b>2mV</b>	<b>8V</b>
<b>12</b>	<b>4096</b>	<b>0.12mV</b>	<b>128V</b>
<b>16</b>	<b>65 536</b>	<b>7.6<math>\mu</math>V</b>	<b>2042V</b>
<b>24</b>	<b>16 777 216</b>	<b>29.8nV</b>	<b>524288V</b>

# Kvantiseringsfel



**Trunkering**  
Alla värden mellan två nivåer approximeras åt samma håll  
  
Maximalt fel = 1LSB



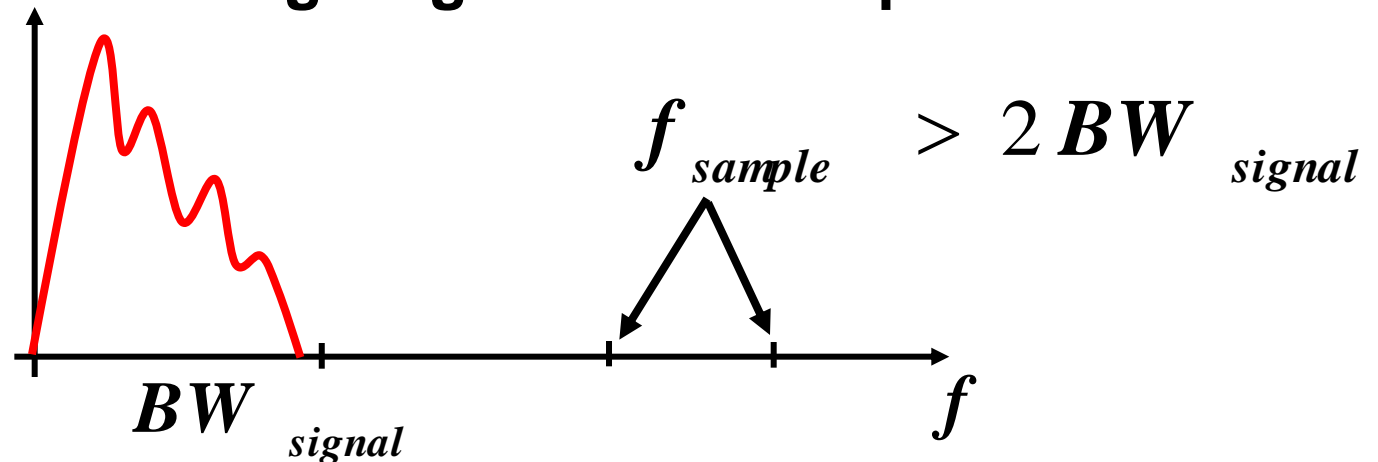
**Avrundning**  
Värden approximeras antingen upp eller ner  
  
Maximalt fel = 1/2 LSB

# Nyquists Samplingsteorem

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

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

kan den analoga signalen återskapas.



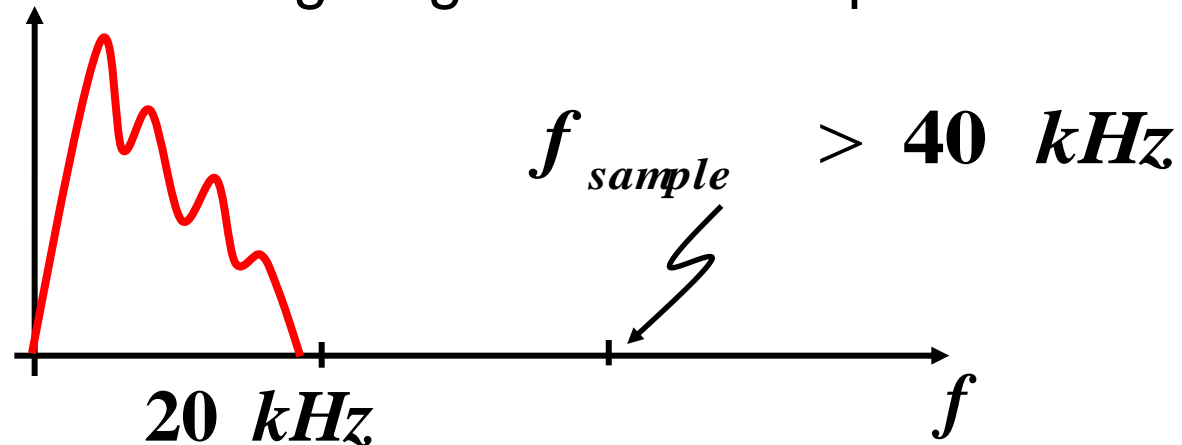
Mer om detta i Digital Signalbehandling

# Nyquists Samplingsteorem - Audio

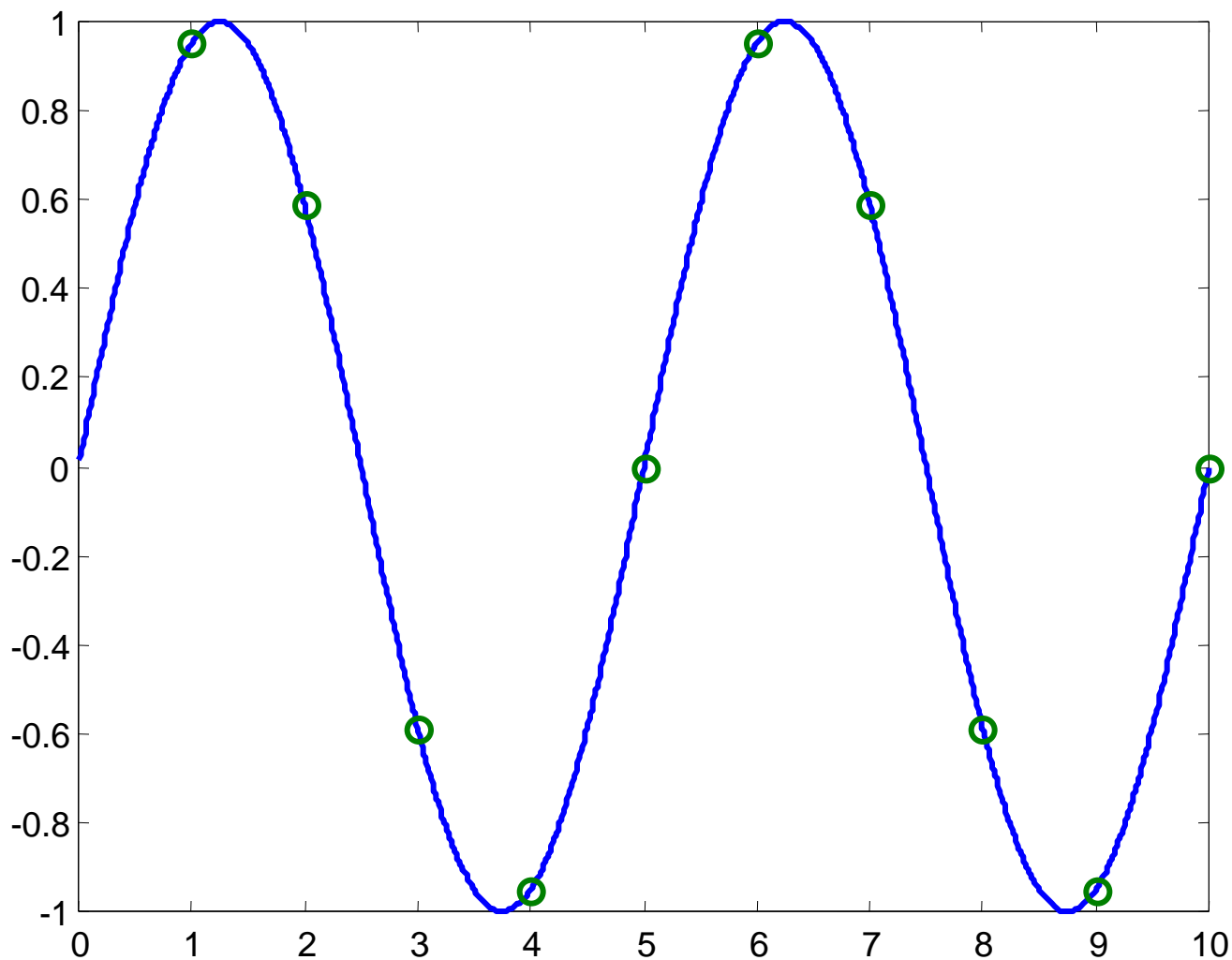
Det mänskliga örat har en bandbredd 20Hz-20kHz, om

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

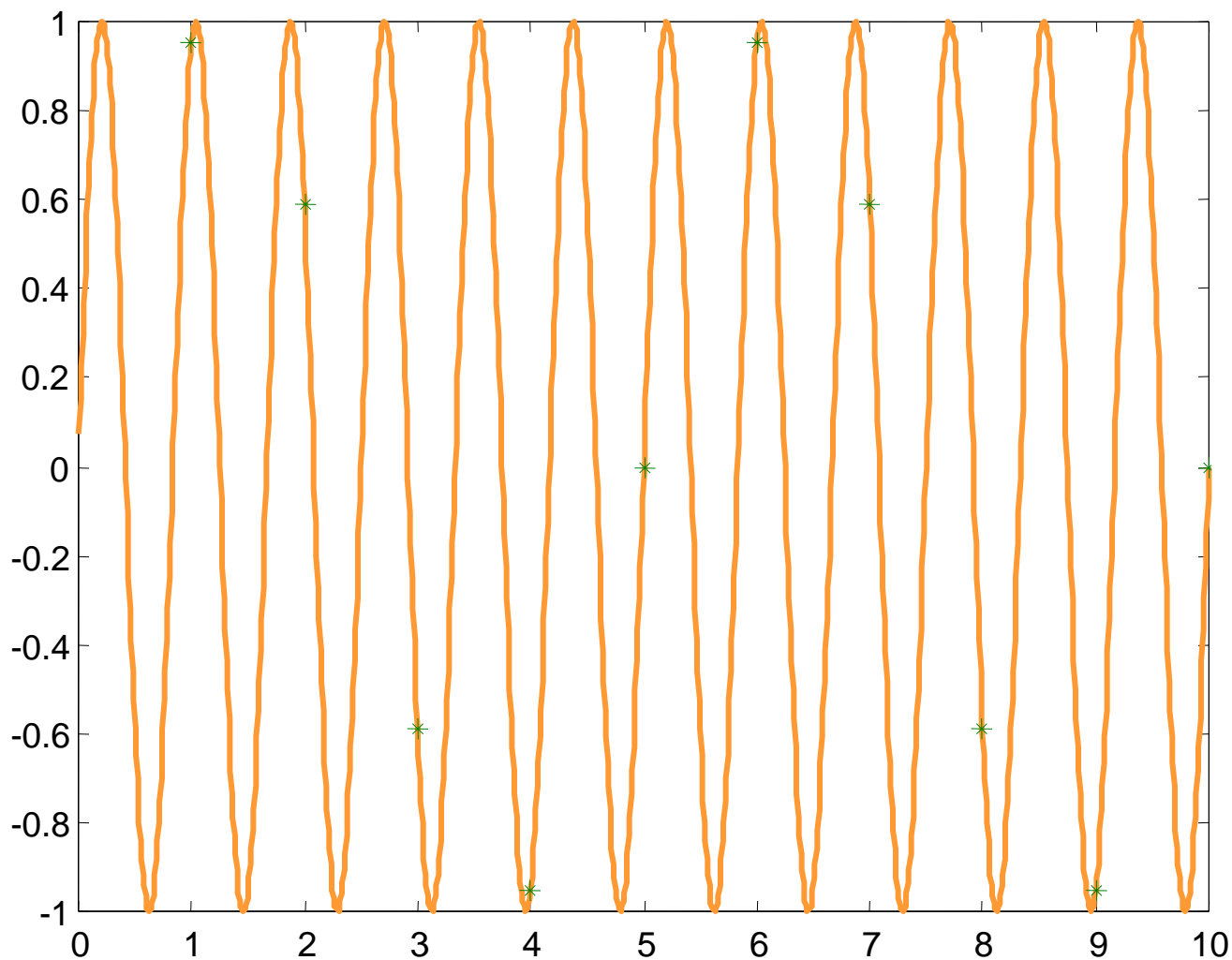
kan den analoga signalen återskapas.



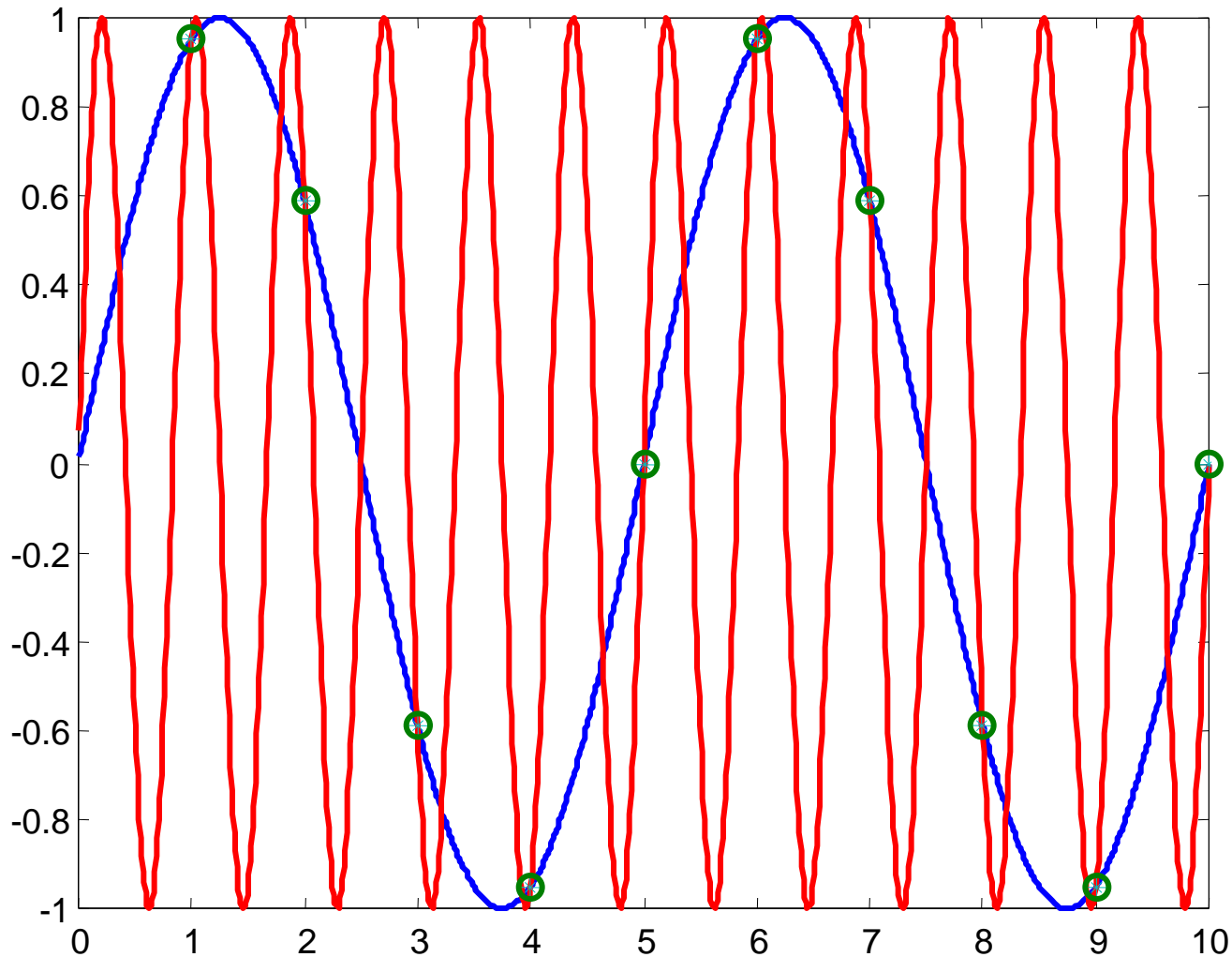
# Sampling – $f_s > 2f_{signal}$



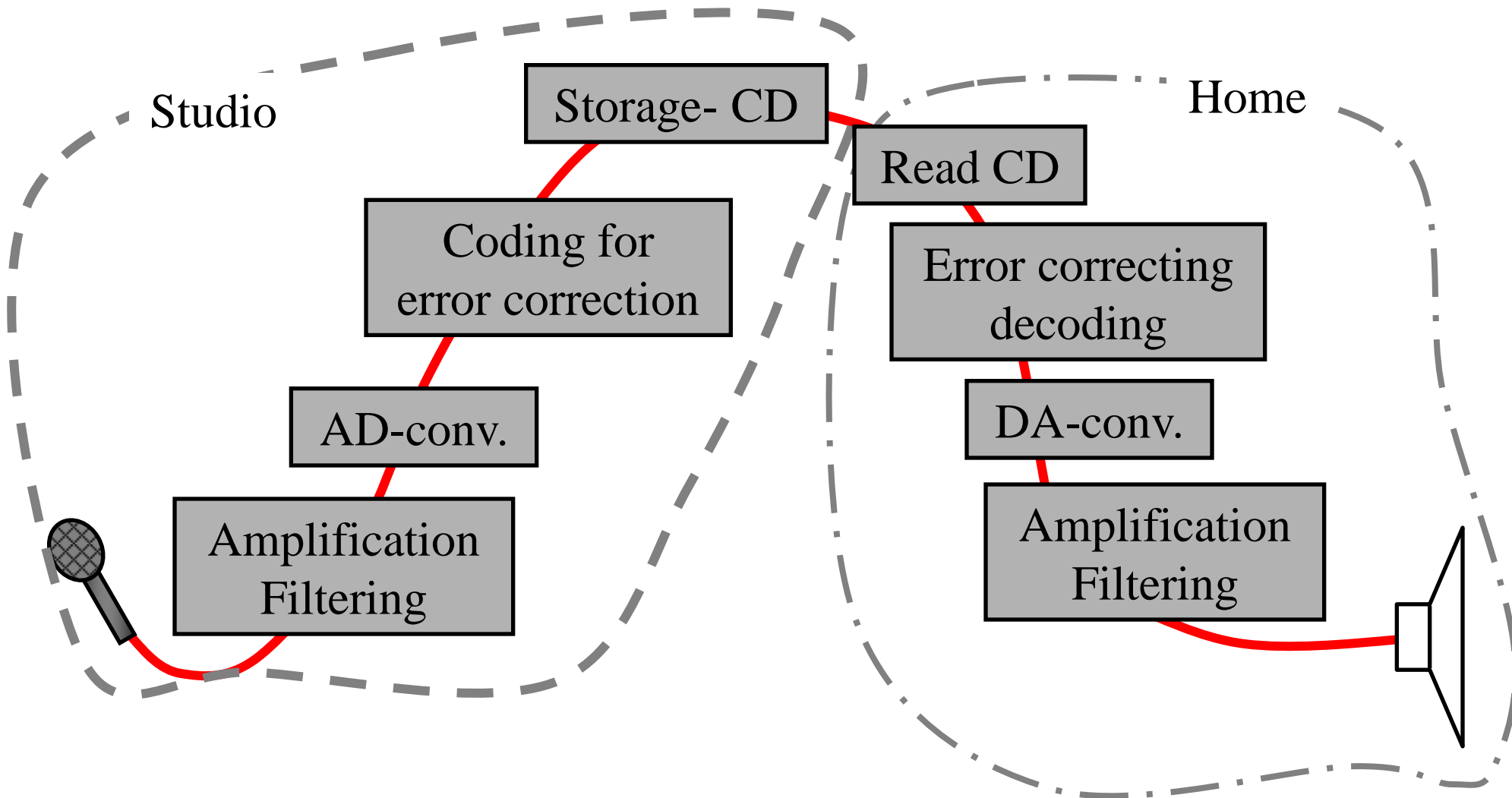
# Sampling – $f_s < 2f_{signal}$



# Signalerna kan förväxlas - vikning



# Exempel: Digitalt ljud, CD/DVD



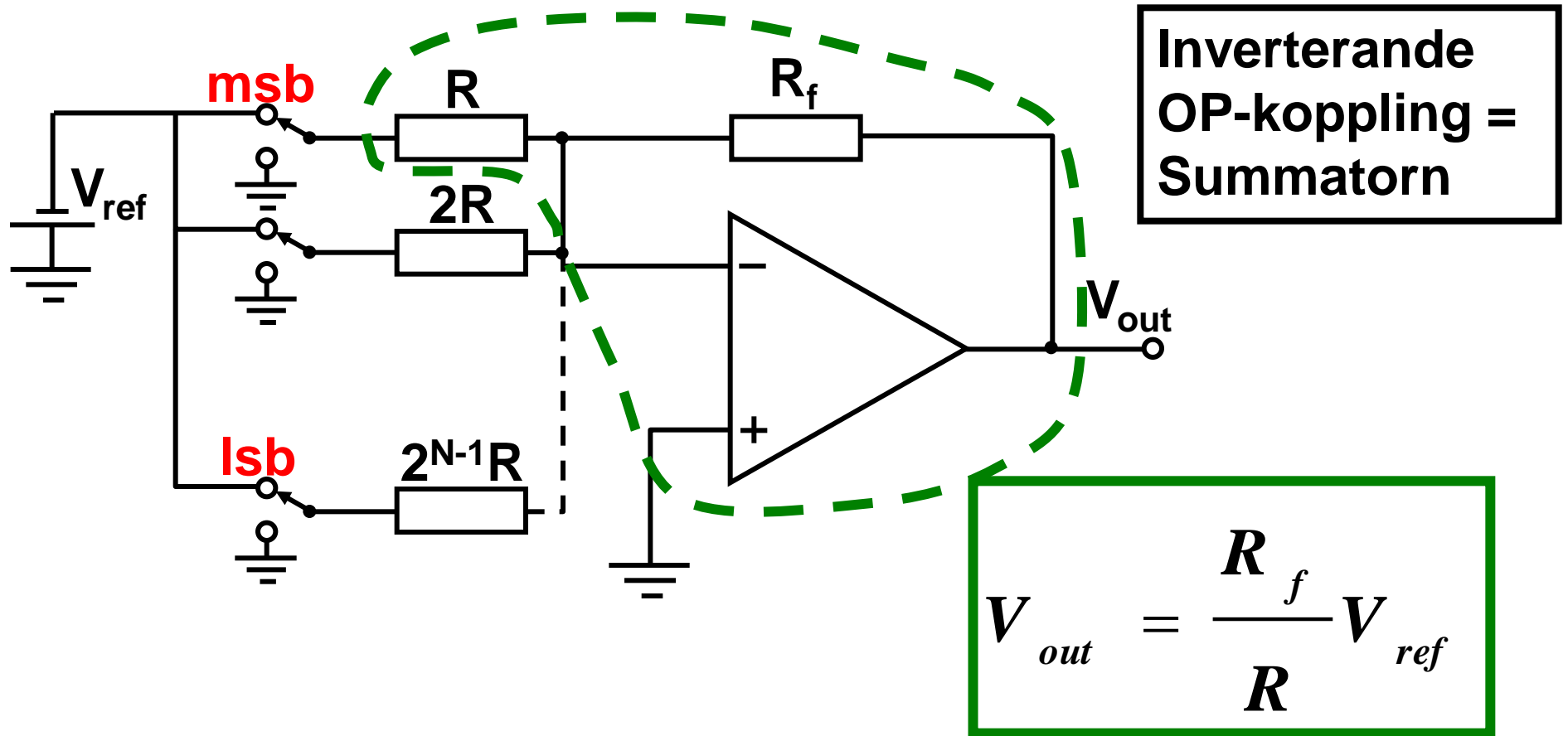


# CD kontra DVD audioformat

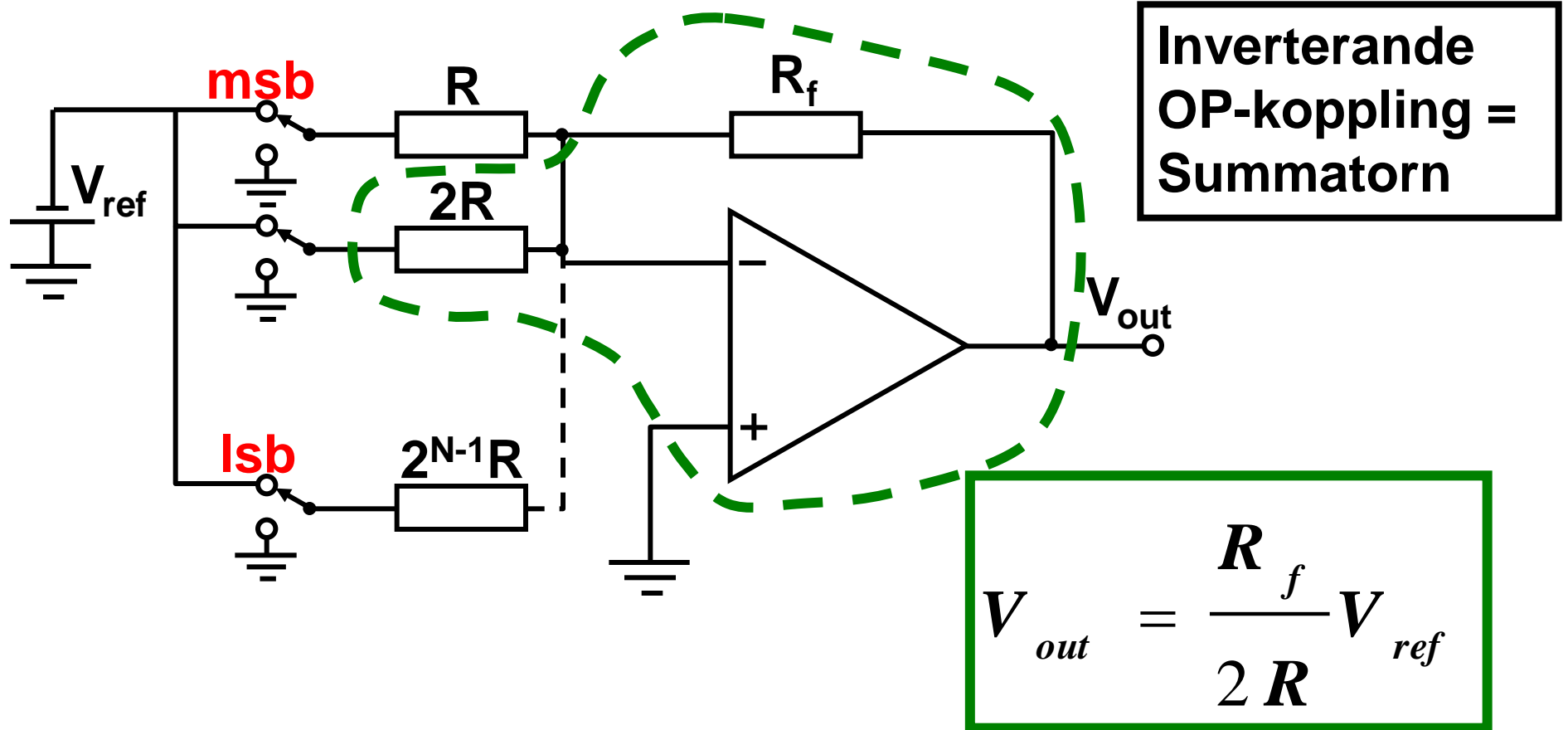
<b>Specification</b>	<b>CD Audio</b>	<b>DVD Audio</b>
Sampling Rate	44.1 kHz	96/192 kHz
Sampling Accuracy	16-bit	24-bit
Number of Possible Output Levels	65,536	16,777,216

# **Digital till Analog omvandling**

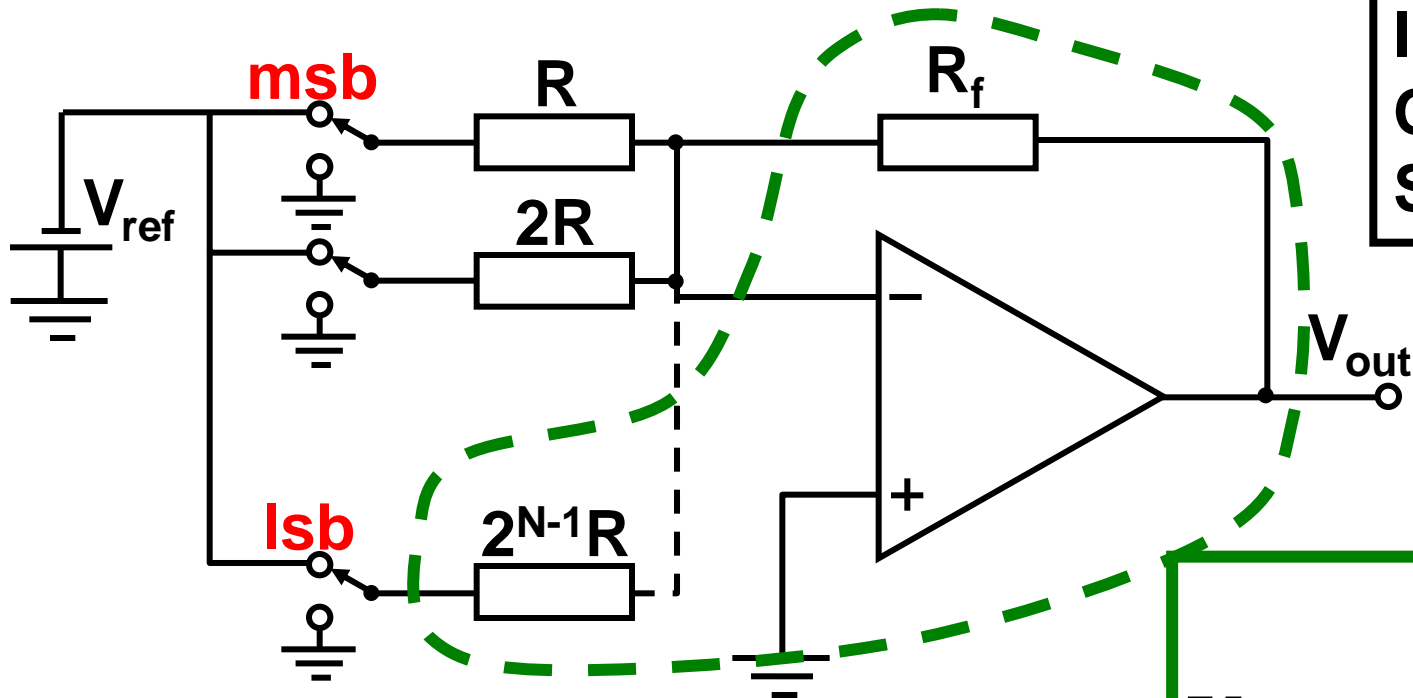
# Digital till Analog Konvertering



# Digital till Analog Konvertering



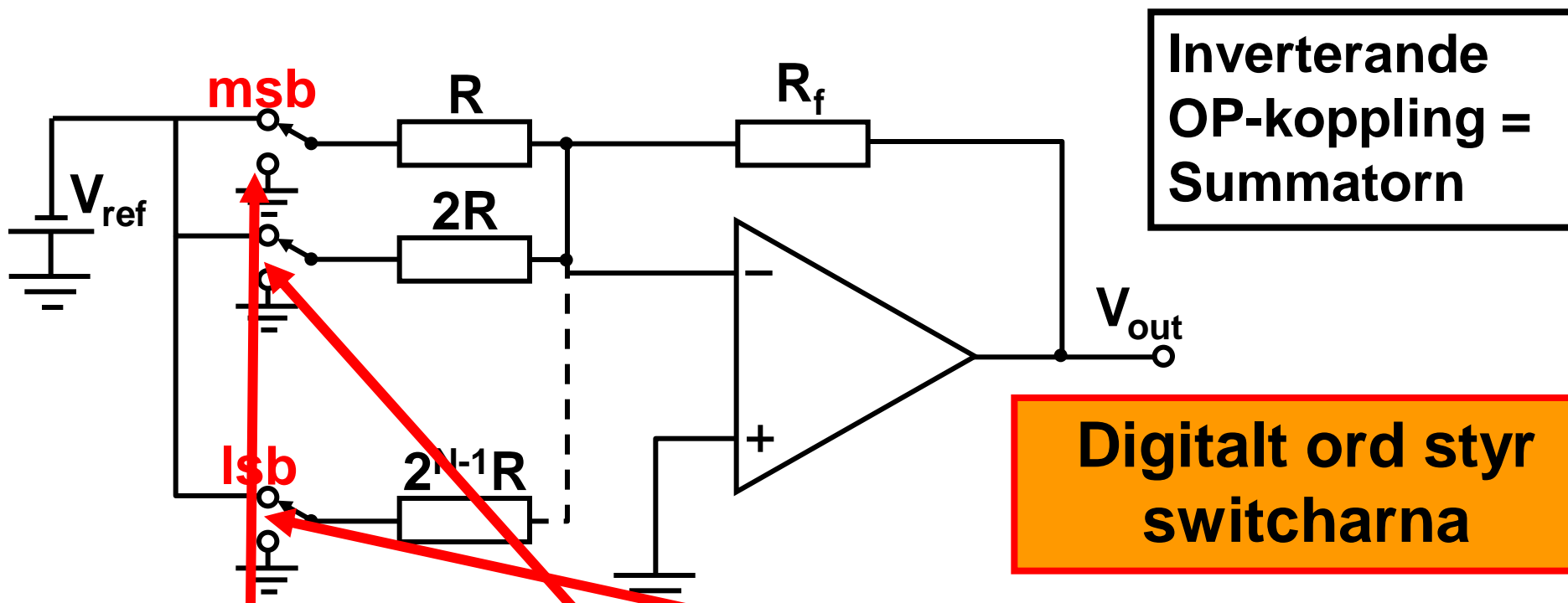
# Digital till Analog Konvertering



Inverterande  
OP-koppling =  
Summatorn

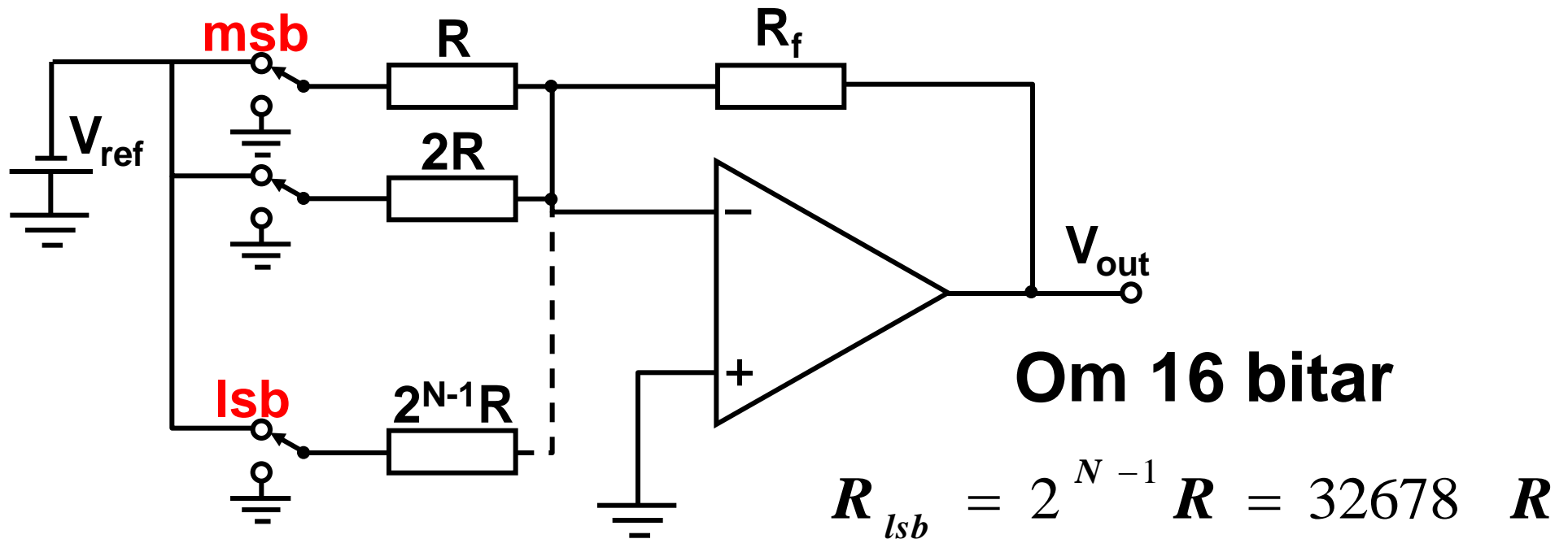
$$V_{out} = \frac{R_f}{2^{N-1} R} V_{ref}$$

# Digital till Analog Konvertering



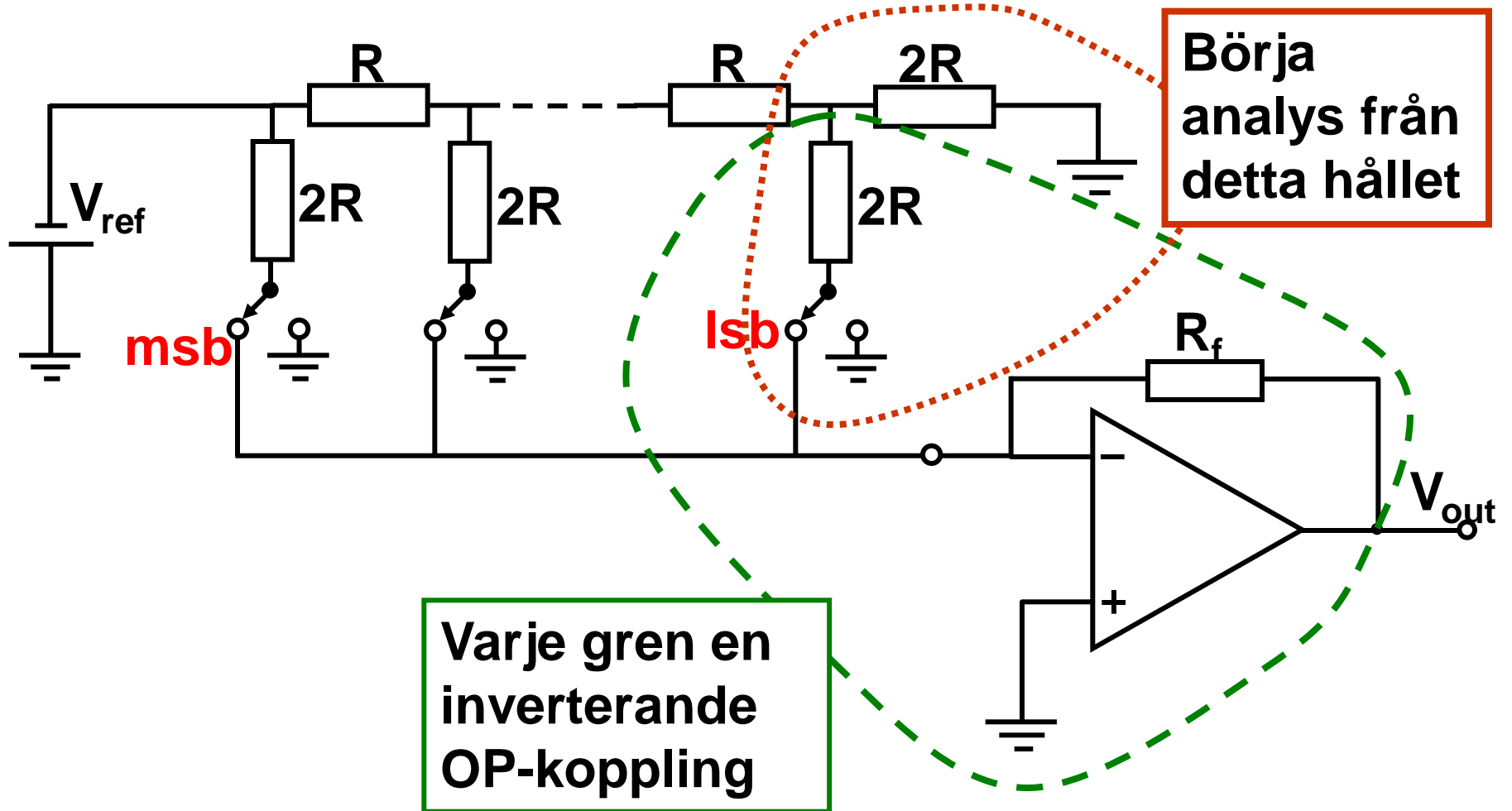
$$V_{out} = \left( msb \frac{R_f}{R} + (msb - 1) \frac{R_f}{2R} + \dots + lsb \frac{R_f}{2^{N-1}R} \right) V_{ref}$$

# Digital till Analog Konvertering



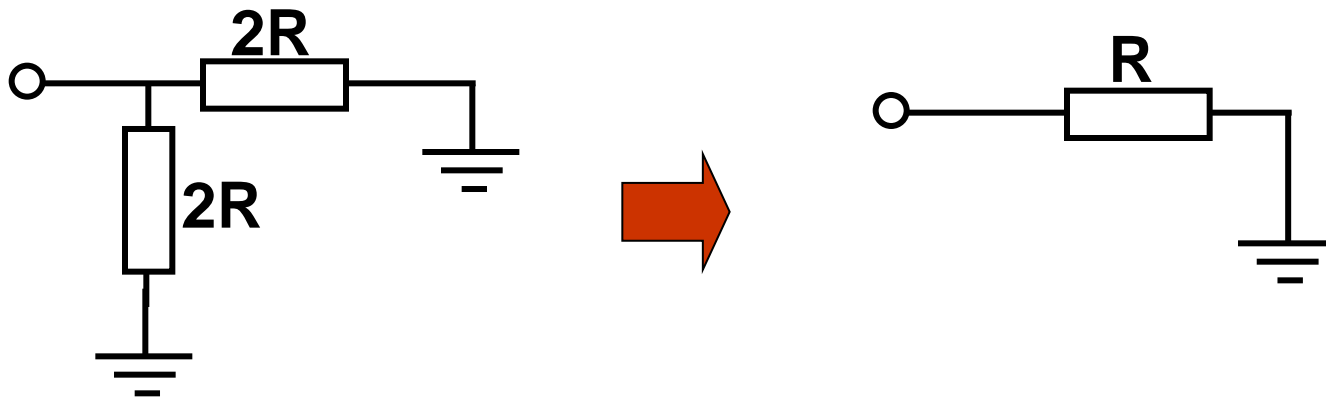
**Svårt med så stora motståndsvärden!  
Litet antal bitar med relativt låga krav.**

# DA-omvandling - R/2R Stege





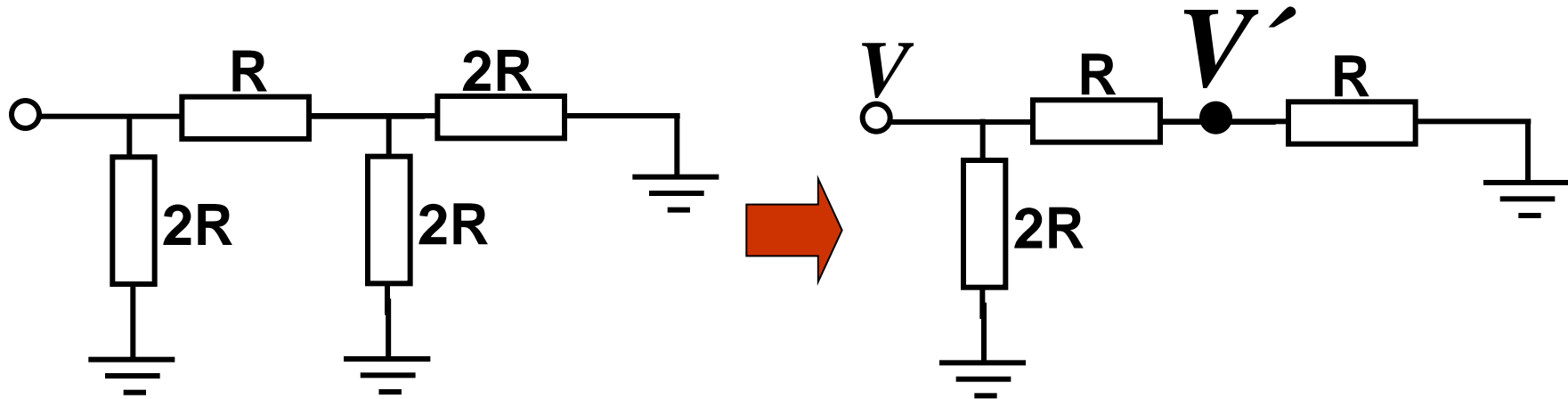
# DA-omvandling - R/2R Stege



Parallellkoppling av motstånd

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

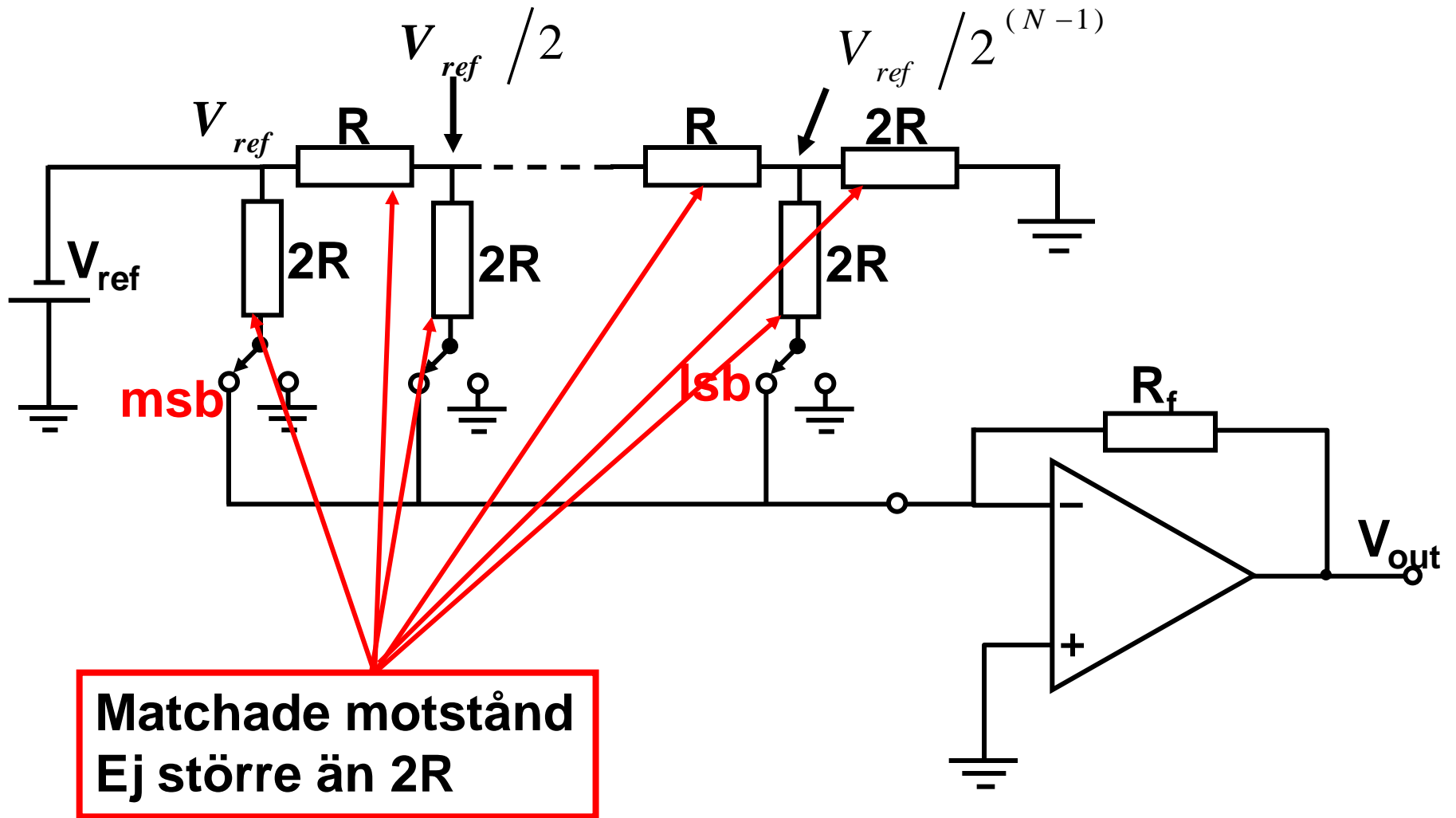
# DA-omvandling - R/2R Stege



**Spänningshalvering  
i varje steg**

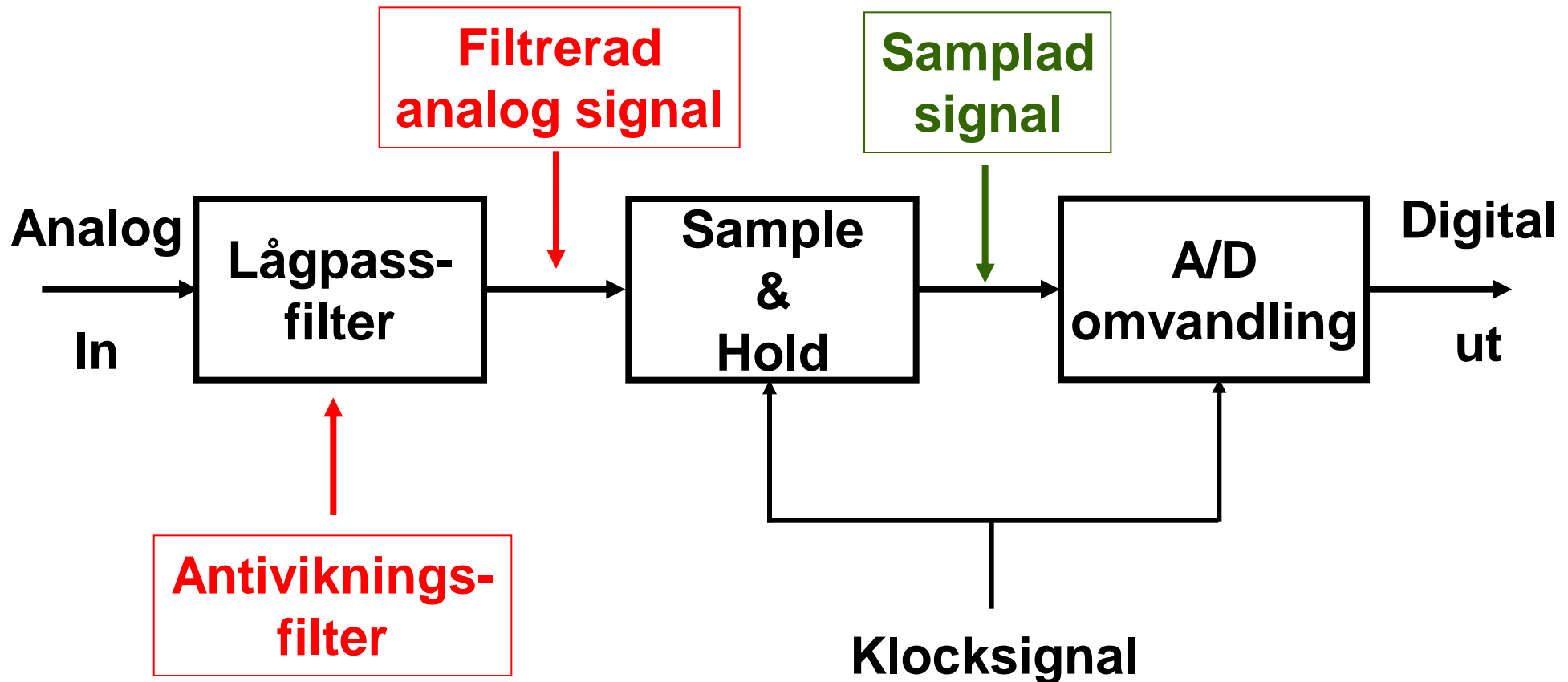
$$V' = \frac{R}{R + R} V = \frac{V}{2}$$

# DA-omvandling - R/2R Stege



# **Analog till Digital omvandling**

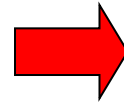
# Analog till Digital omvandling



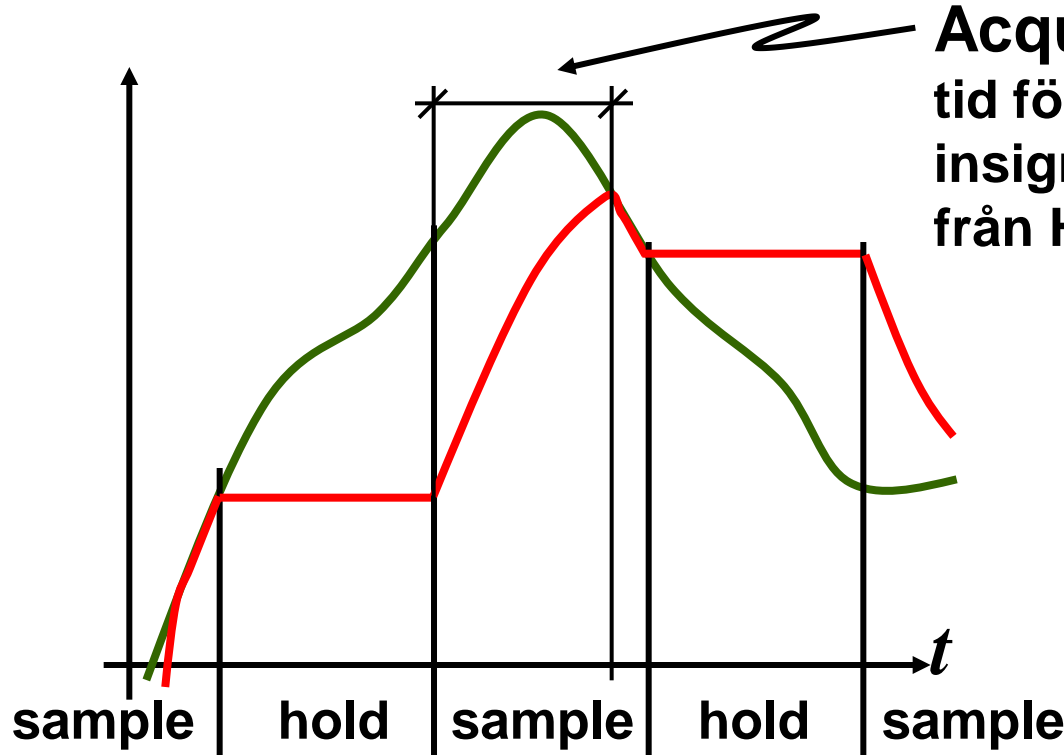
# Sample & Hold

# Sample & Hold

Under AD-omvandlingen får inte det analoga värdet ändras



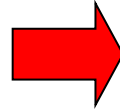
Sample & Hold krets



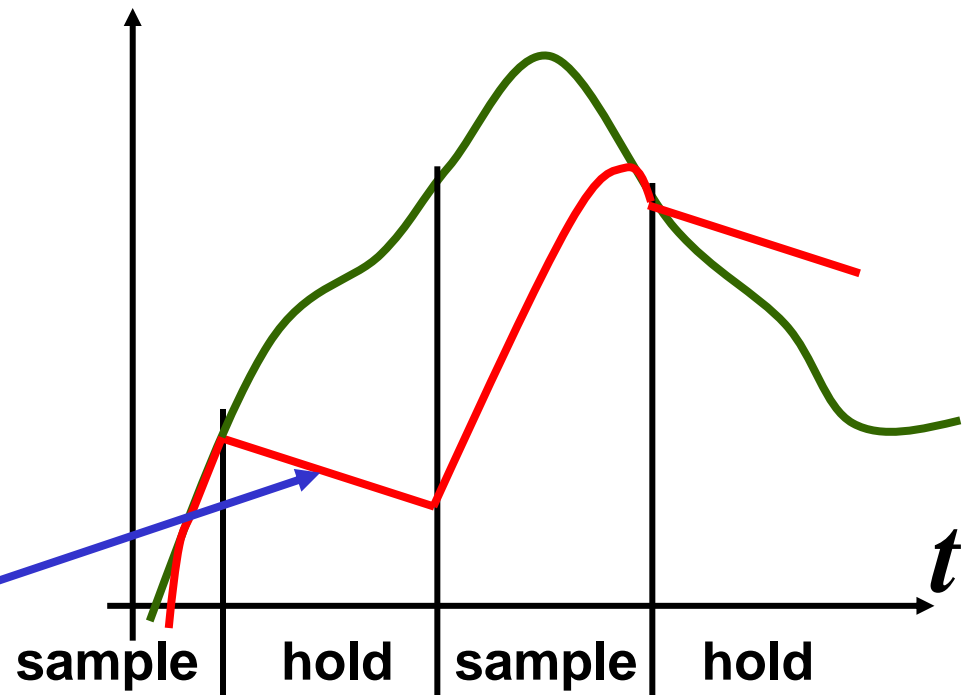
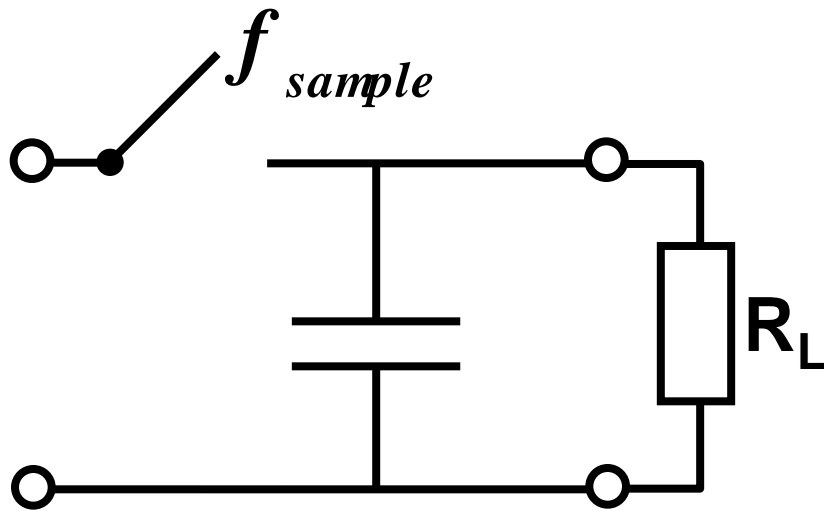
Acquisition time =  
tid för utsignalen att följa  
insignalen när man går  
från HOLD till SAMPLE

# Sample & Hold

Spara ett analogtvärde



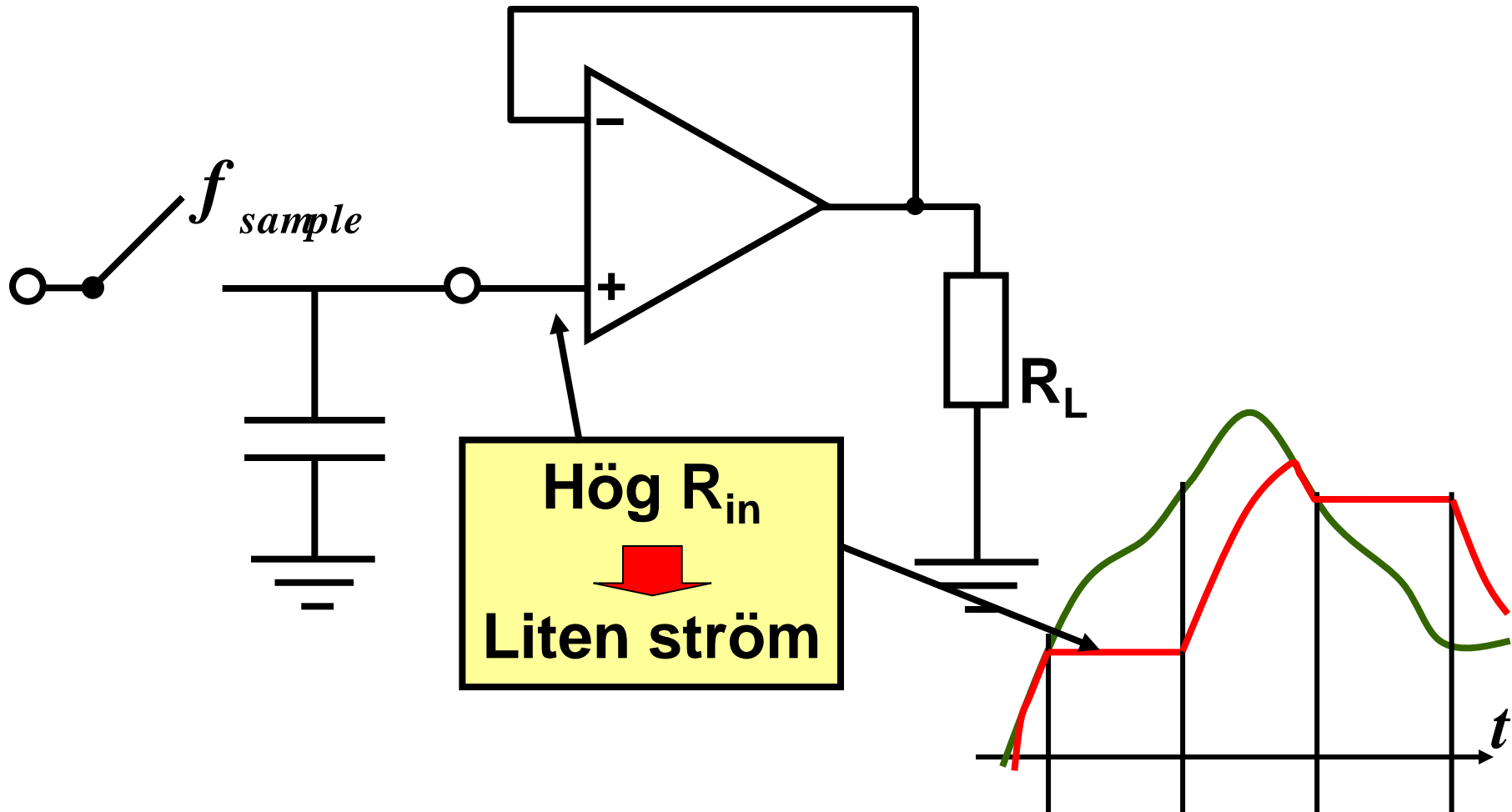
Kondensator



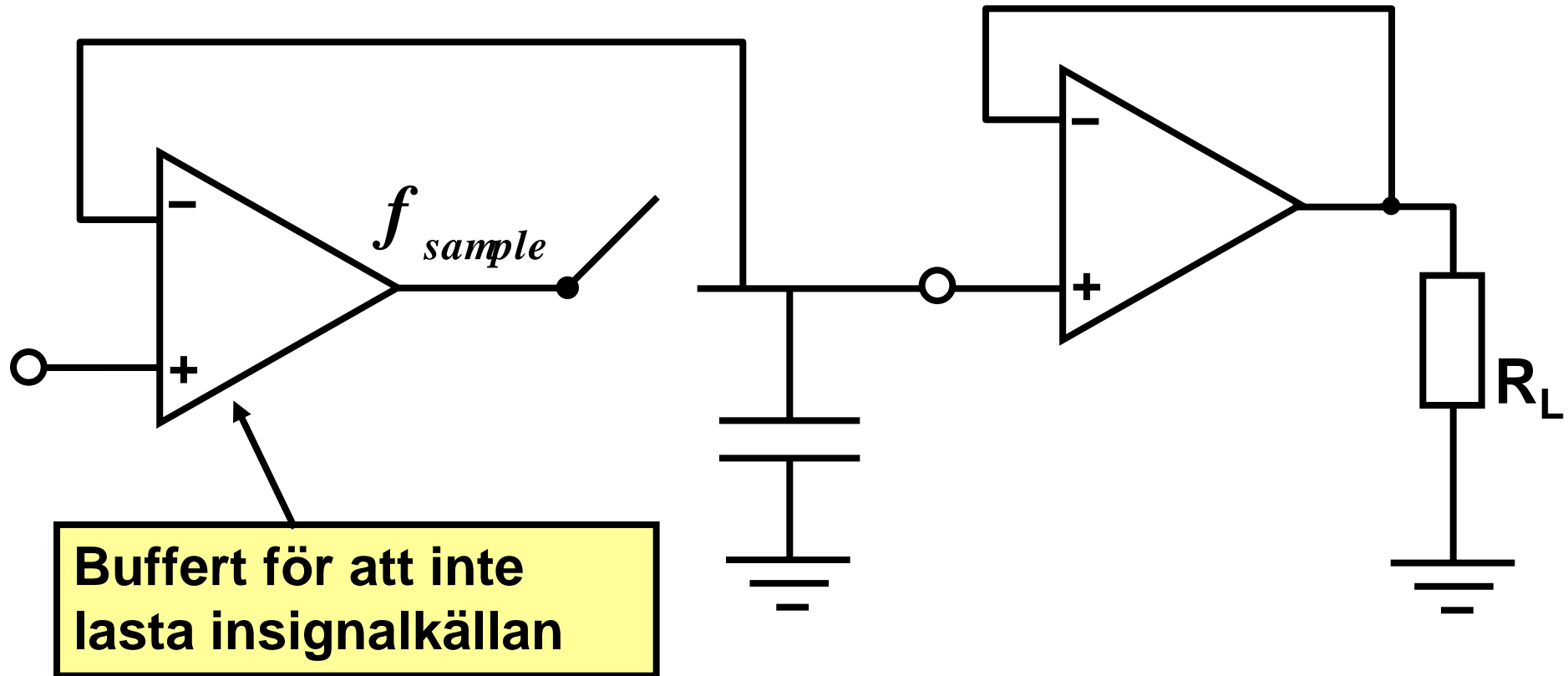
**Droop rate =  
Kondensatorn  
laddas ur**



# Sample & Hold med Buffer

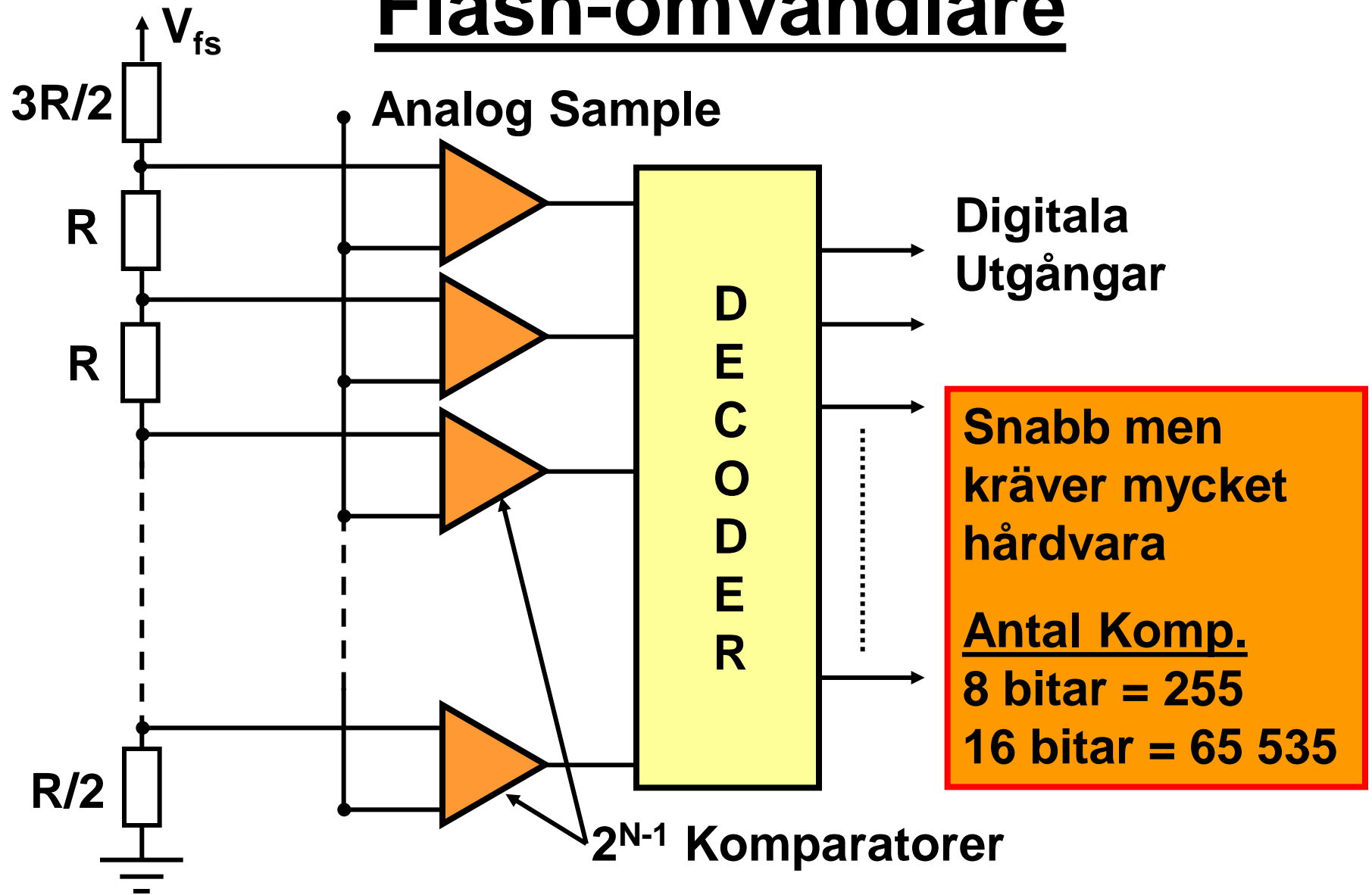


# Sample & Hold med Buffer

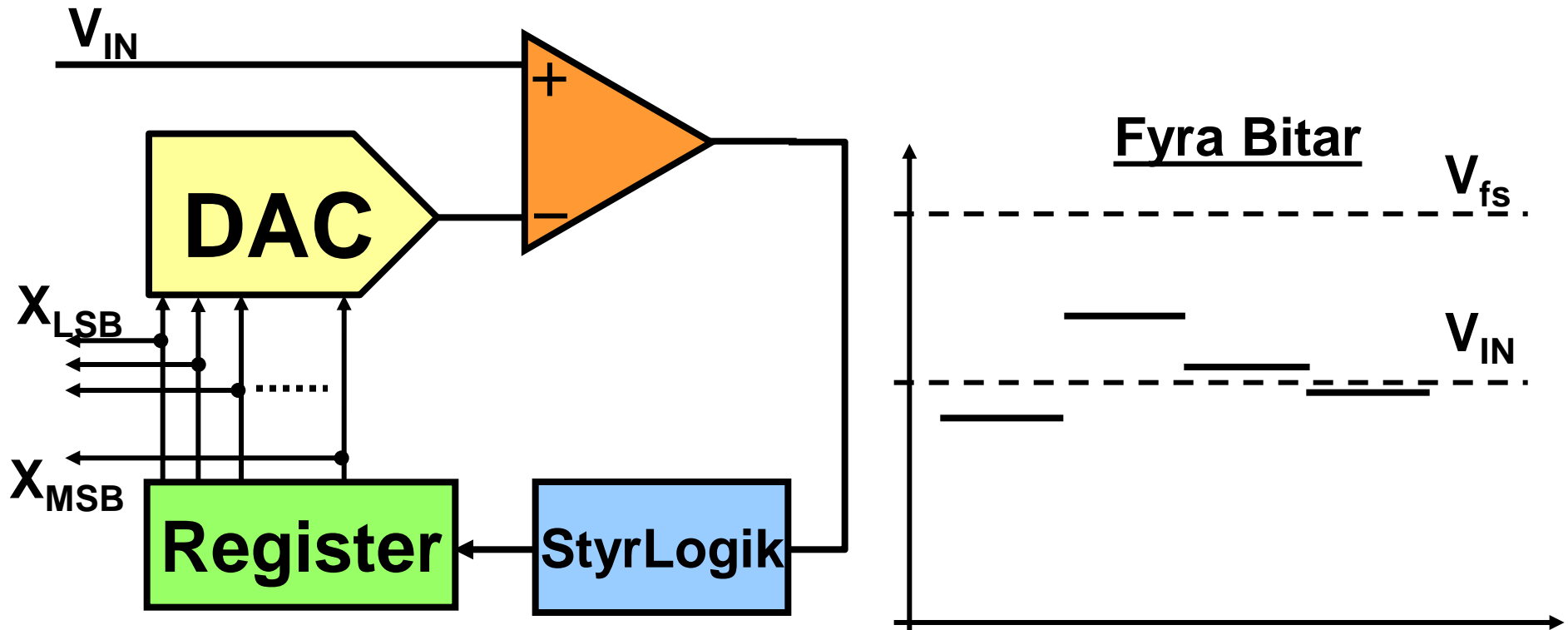


# **Analog till Digital omvandlare**

# Flash-omvandlare



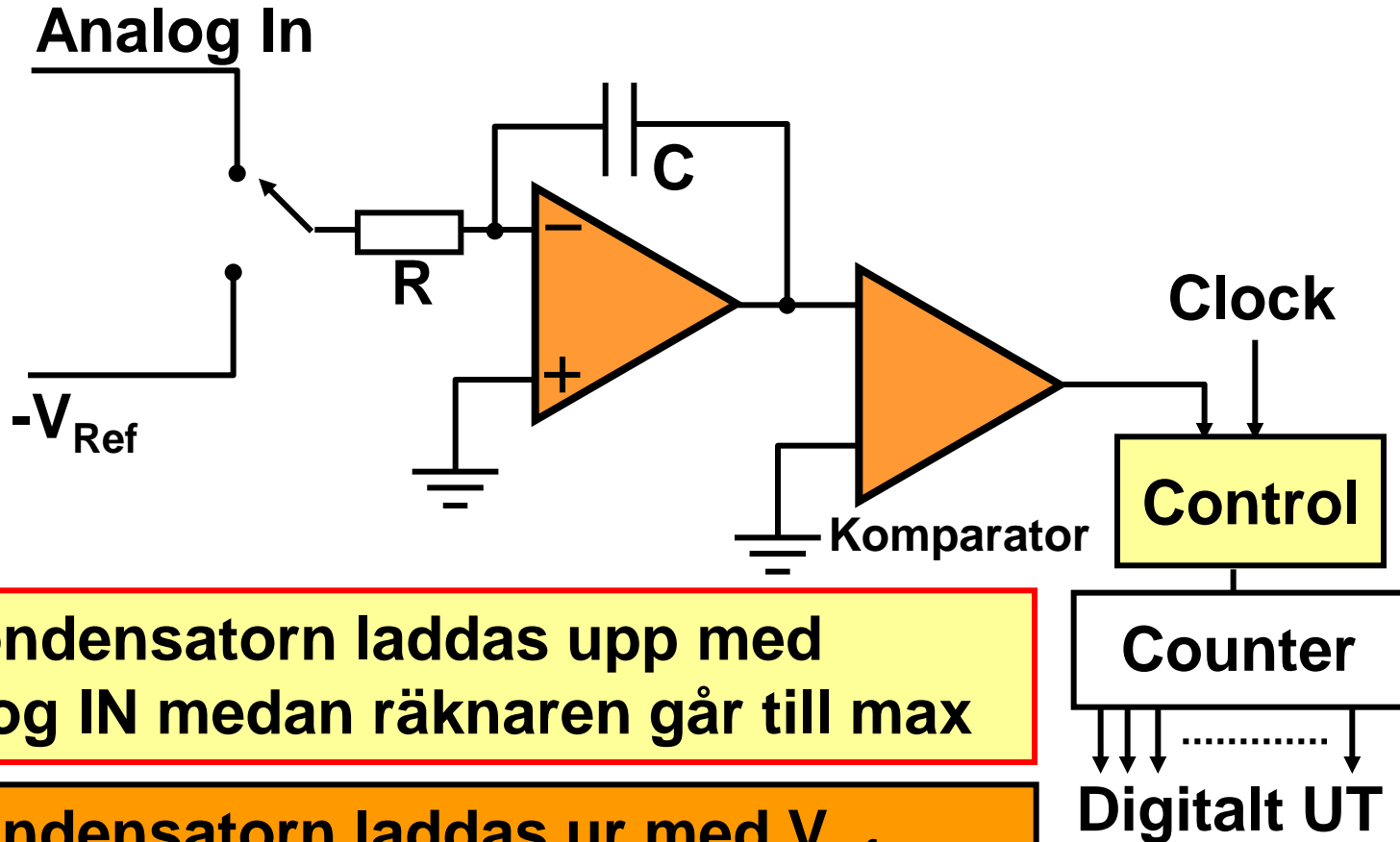
# Succesivapproximation



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

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

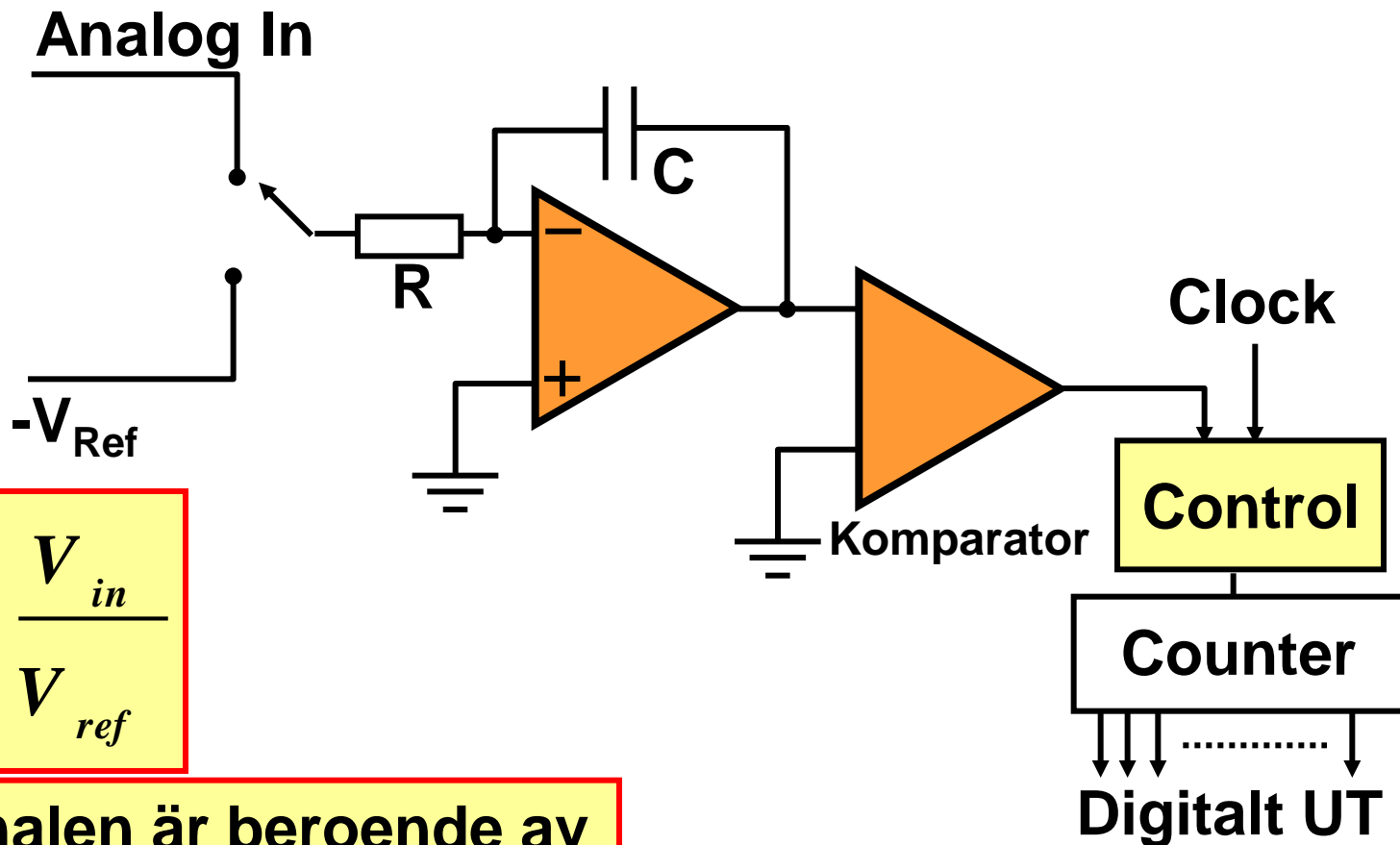
# Integrerande Omvandlare, Dual Slope



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



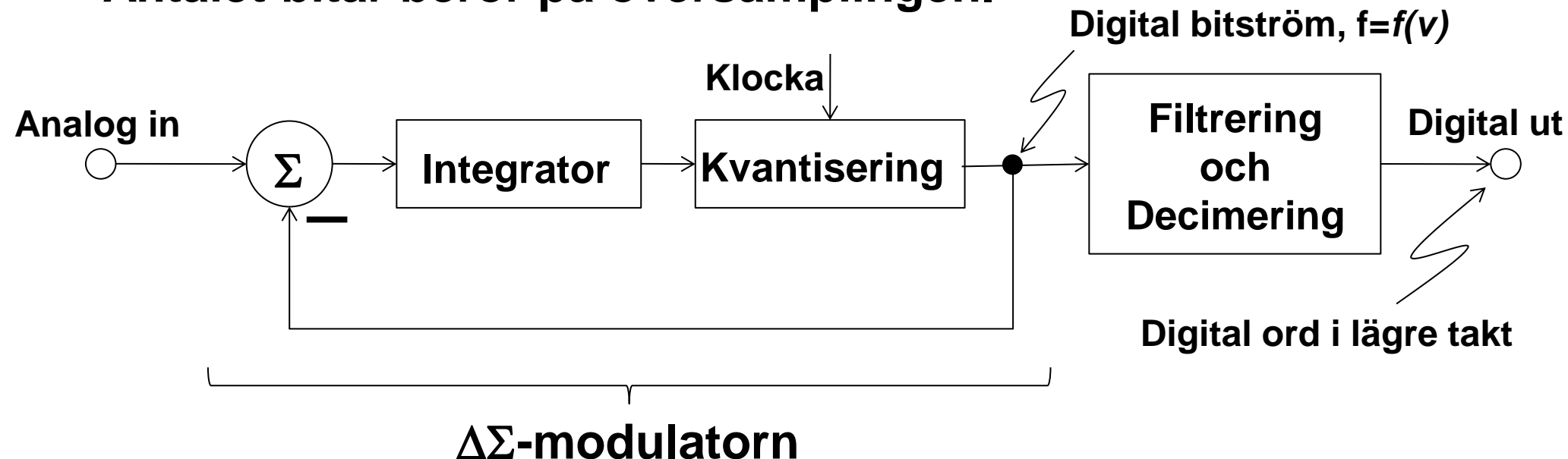
$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{V_{in}}{V_{ref}}$$

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

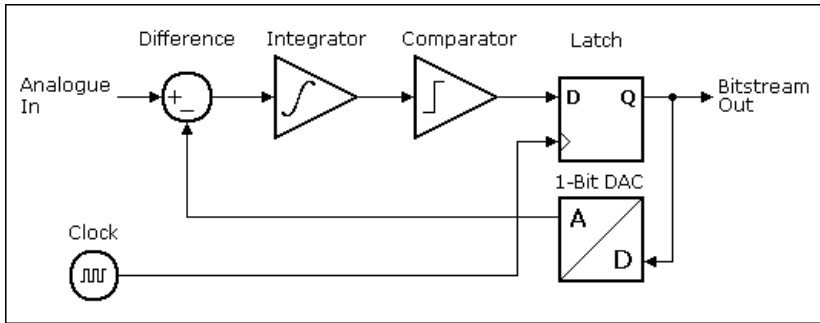
# Kort om $\Delta\Sigma$ -omvandlare

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.



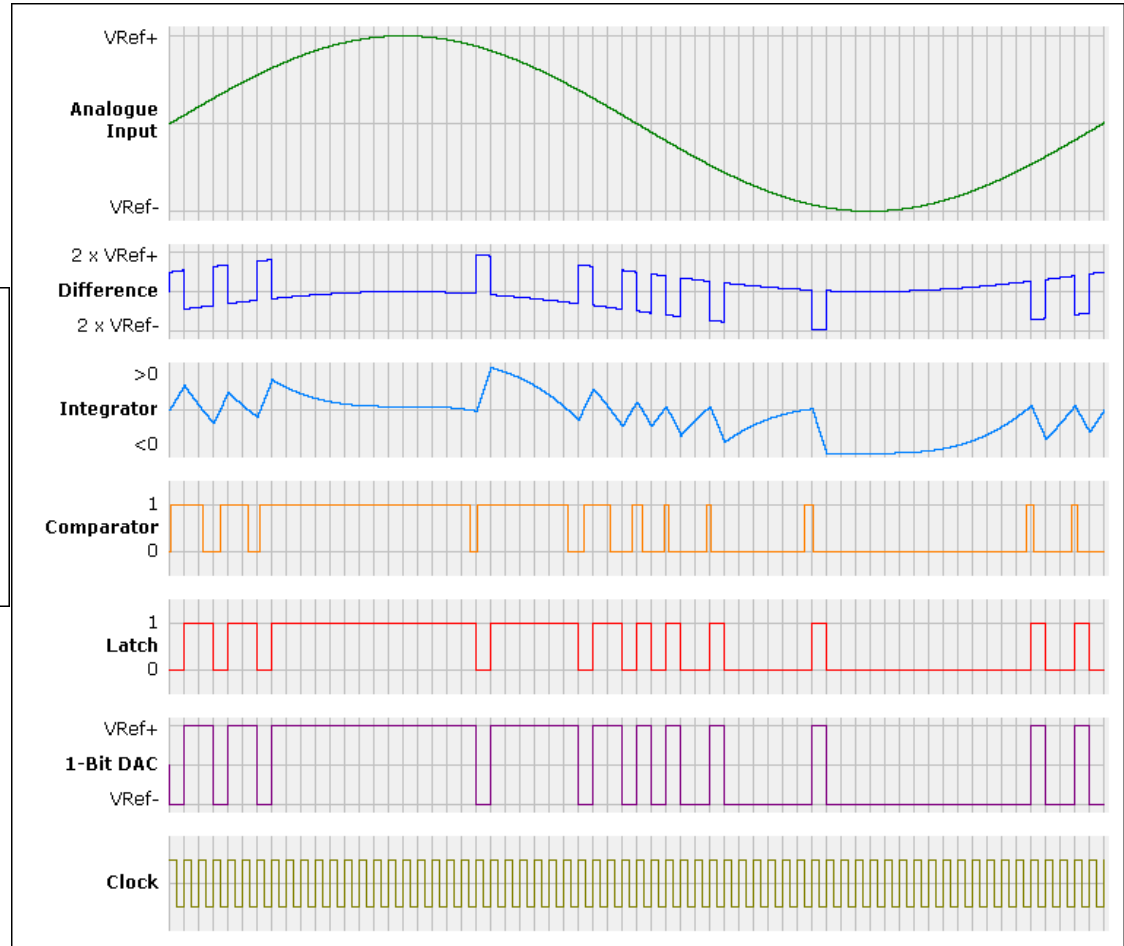


# Delta-Sigma omvandlare (1-bits omvandlare)

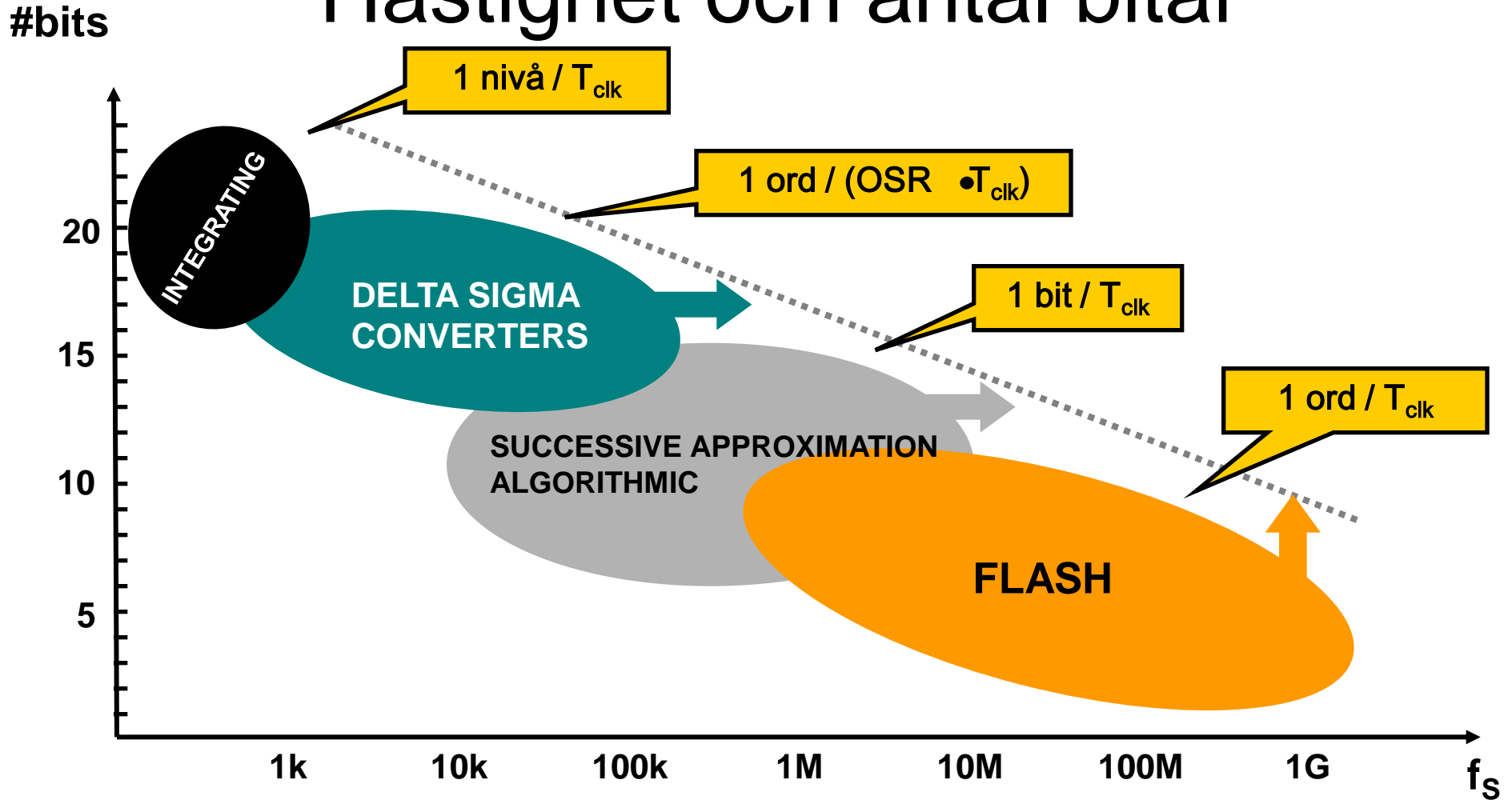


Vanlig i audio, telefoner,  
etc.

Medelsnabb, hög  
noggrannhet > 20 bitar  
(mkt. signalbehandling)



# Hastighet och antal bitar

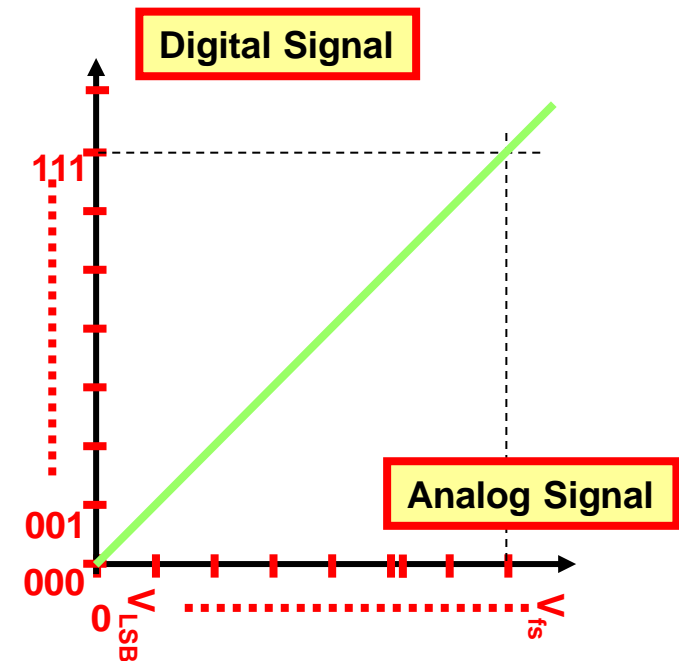


OSR = Over Sampling rate

Original från Piero Andreani

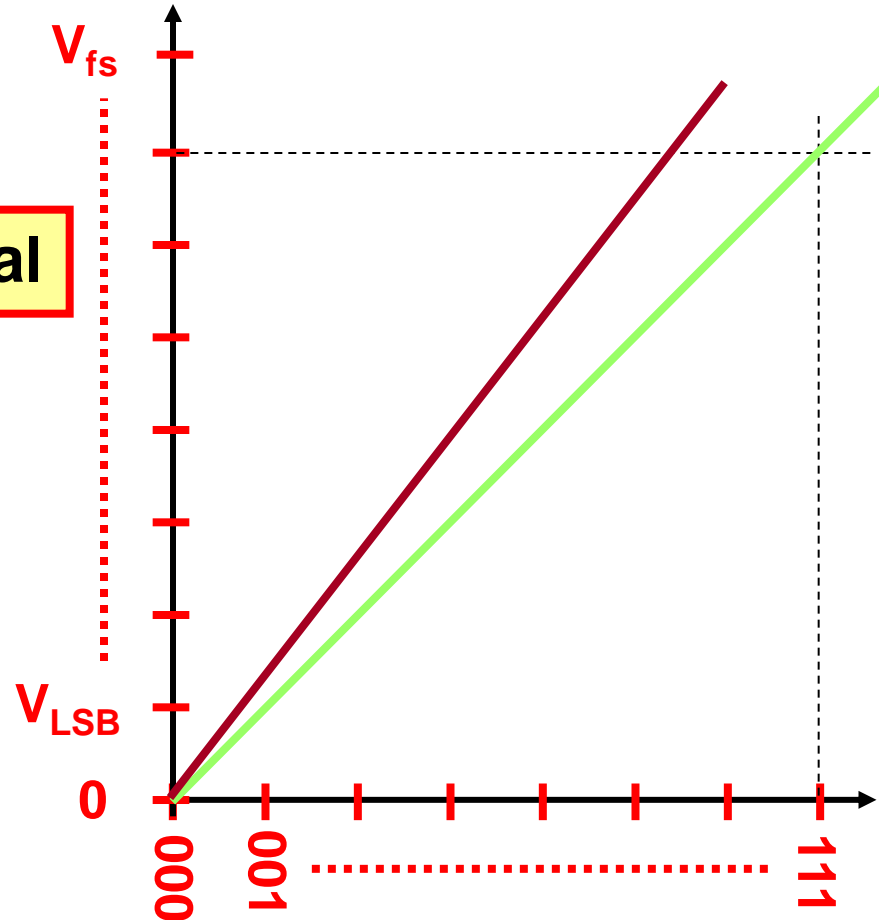
# AD- och DA-omvandling

- 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

Analog Signal

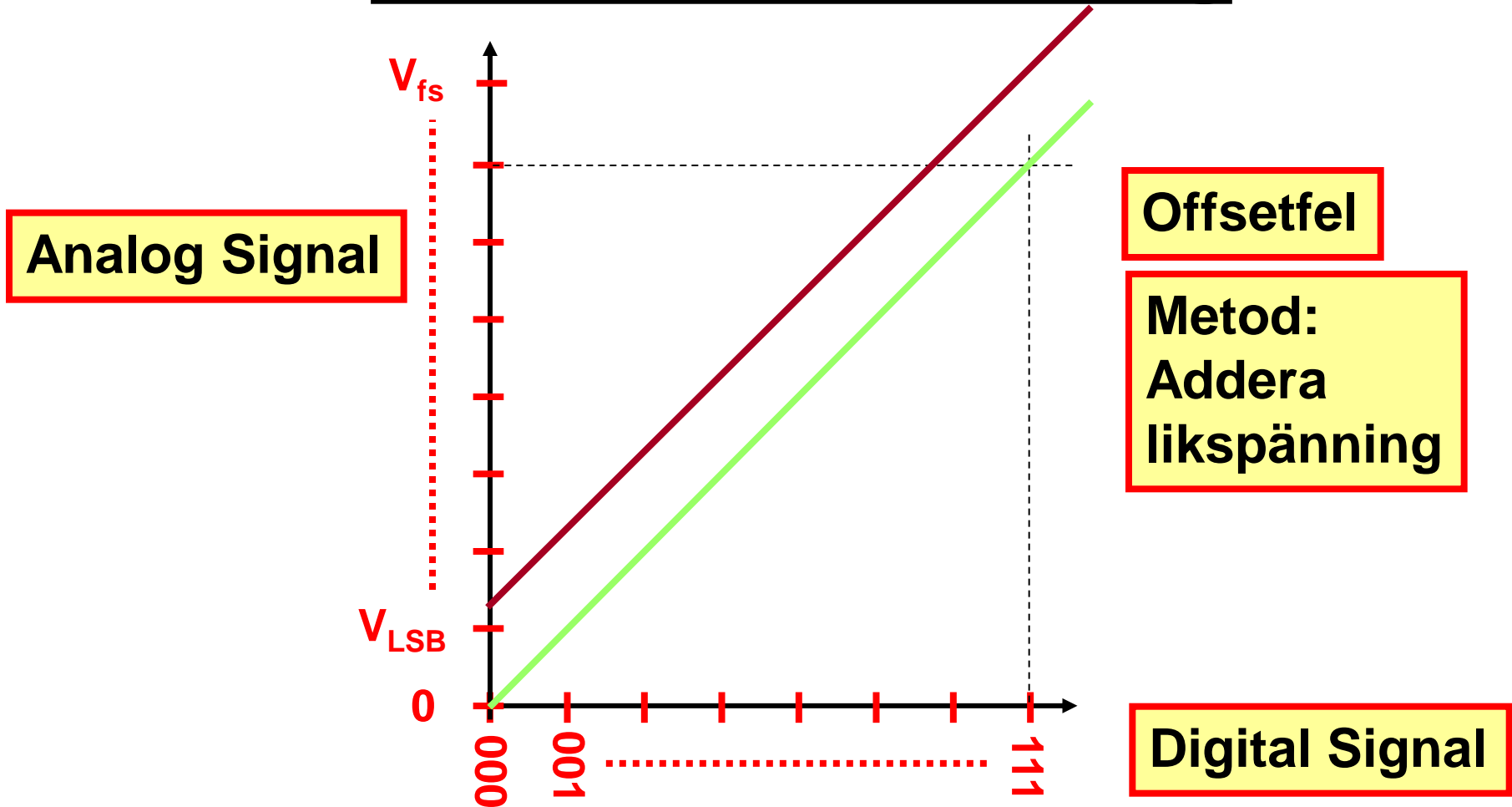


Skalfaktorfel

Metod:  
Korrigera  
förstärkningen

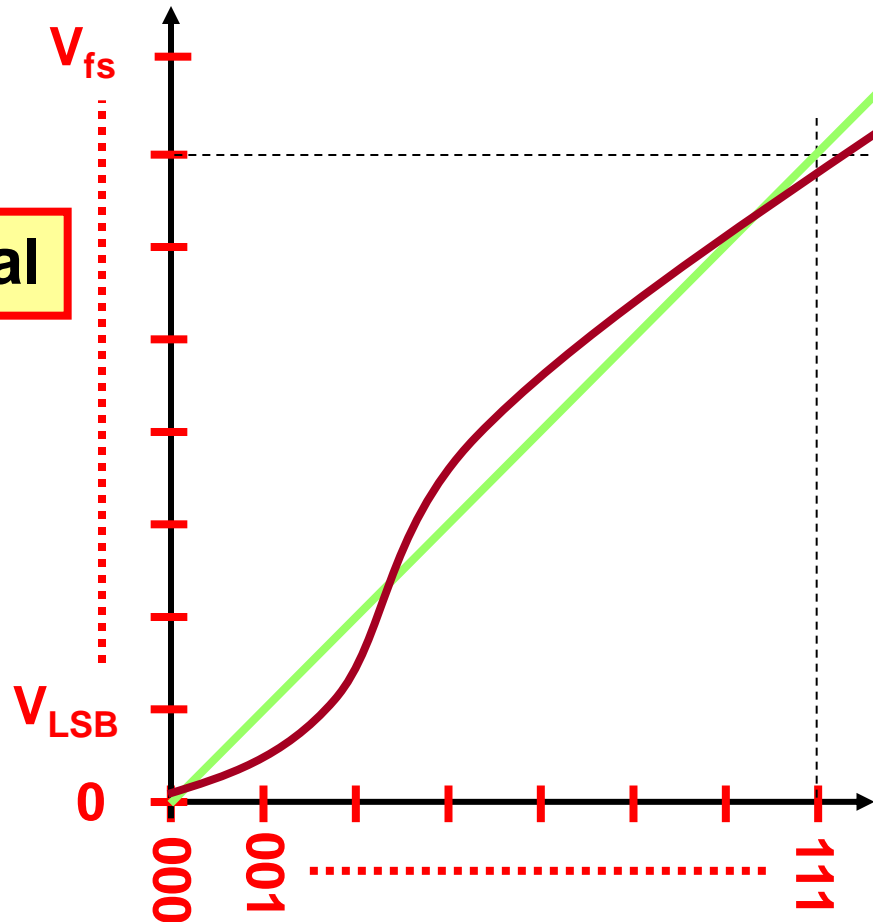
Digital Signal

# Fel i AD-omvandling



# Fel i AD-omvandling

Analog Signal



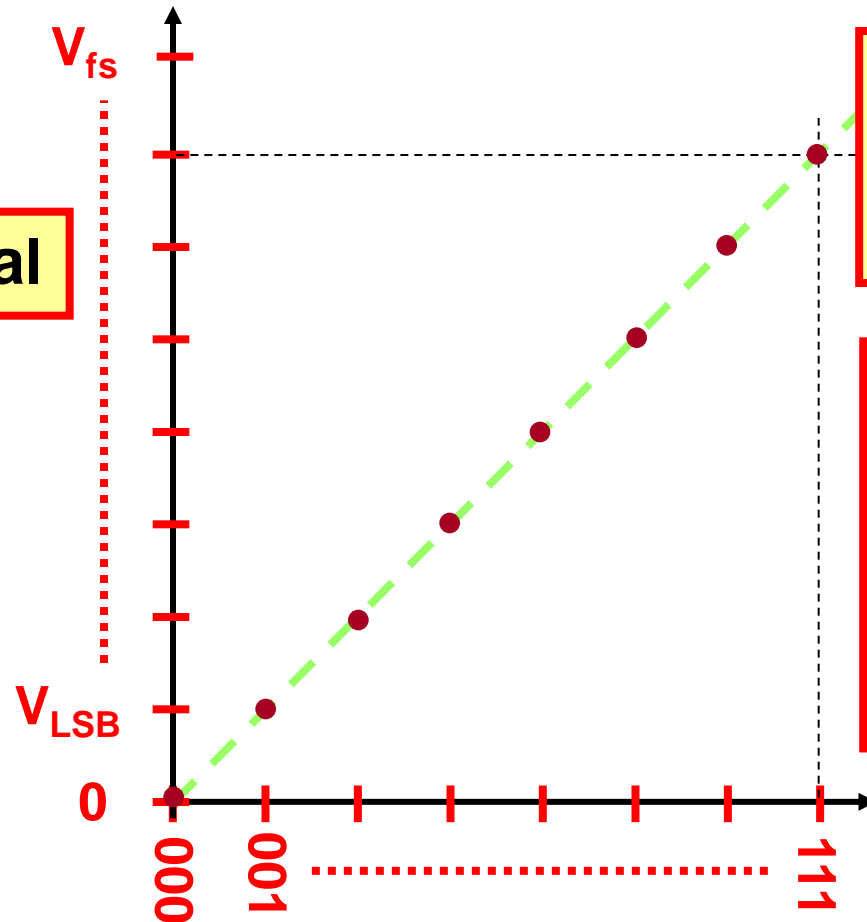
Linäritetsfel

Metod:  
Svårt! Bästa  
passning  
Ev.  
Korrigera  
efter tabell

Digital Signal

# Fel i DA-omvandling

Analog Signal



DA-omvandling är i teorin en entydig operation

Fel pga brus, toleranser och noggrannhet i:  $V_{ref}$ , komponenter, OPförstärkare

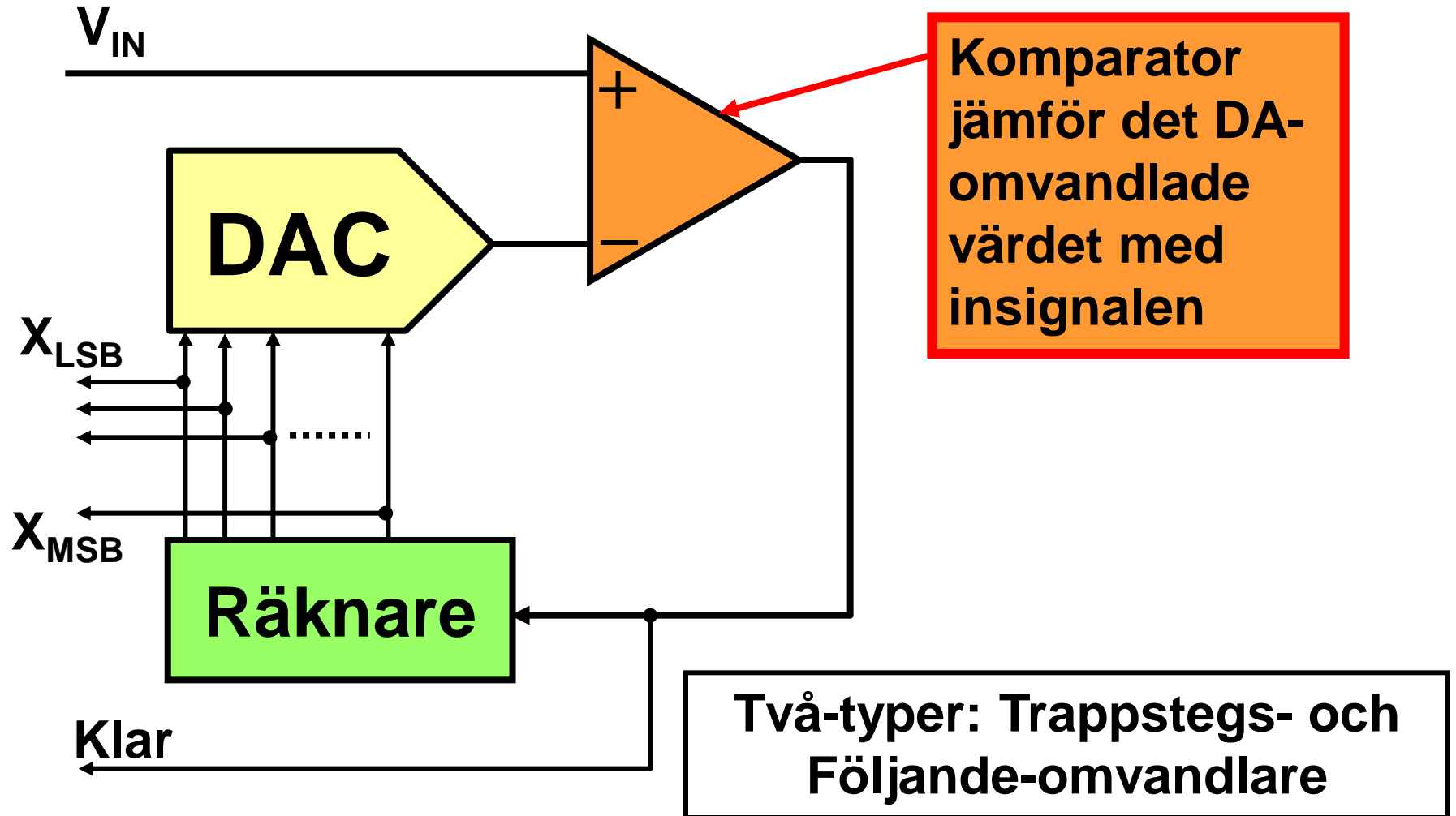
Digital Signal

# Kuriosa

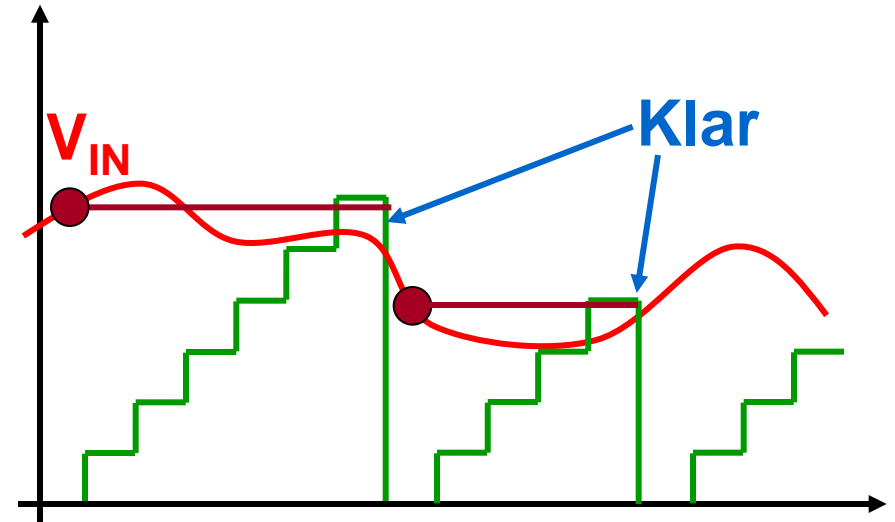
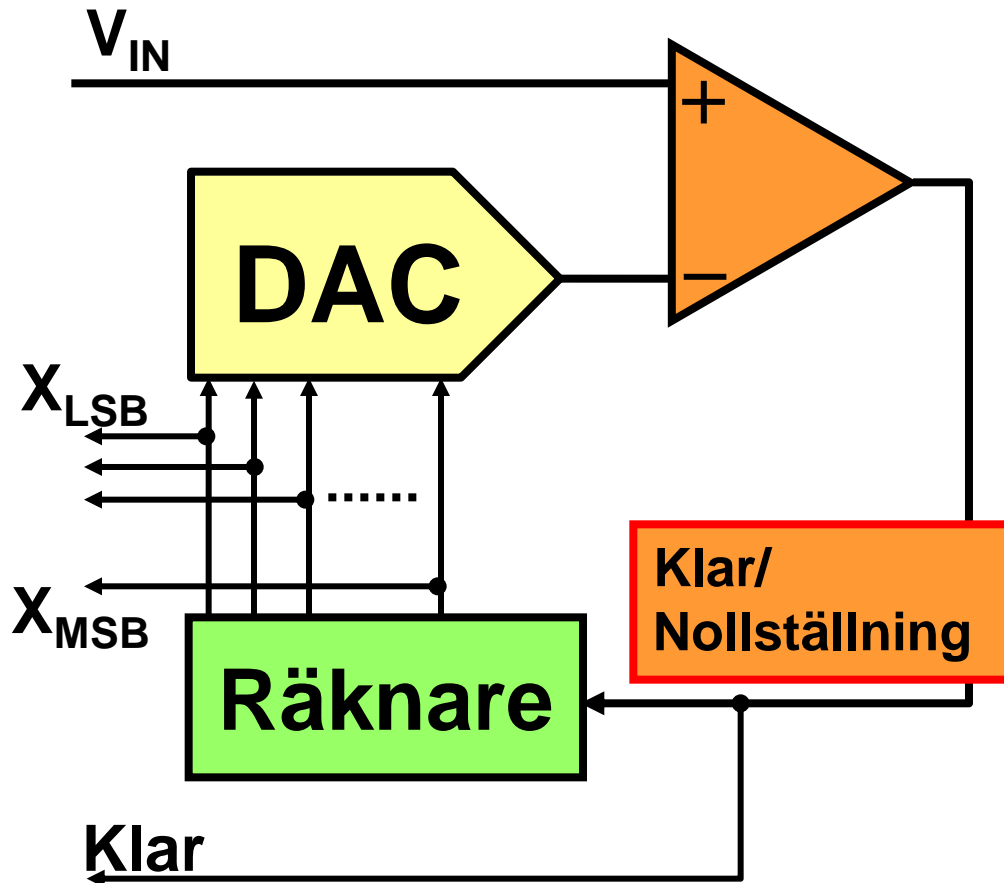
- **Ovanliga omvandlare**



# Räknarbaserad AD-omvandlare

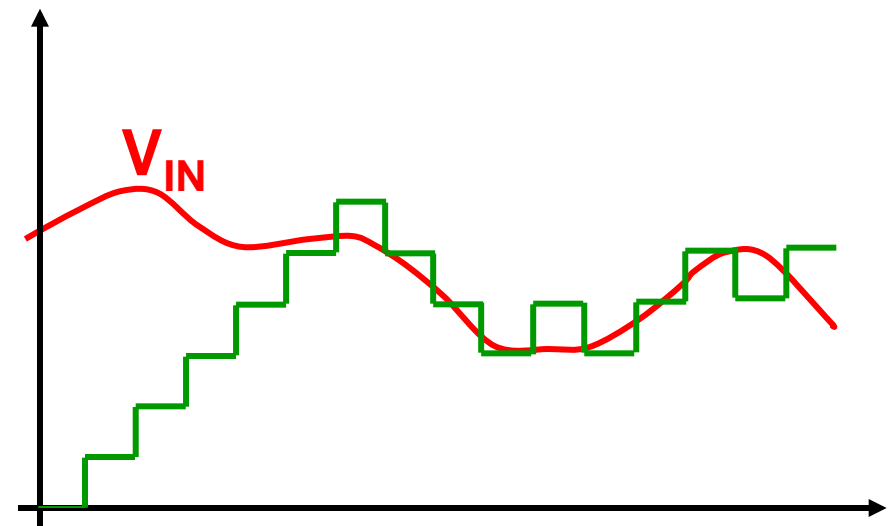
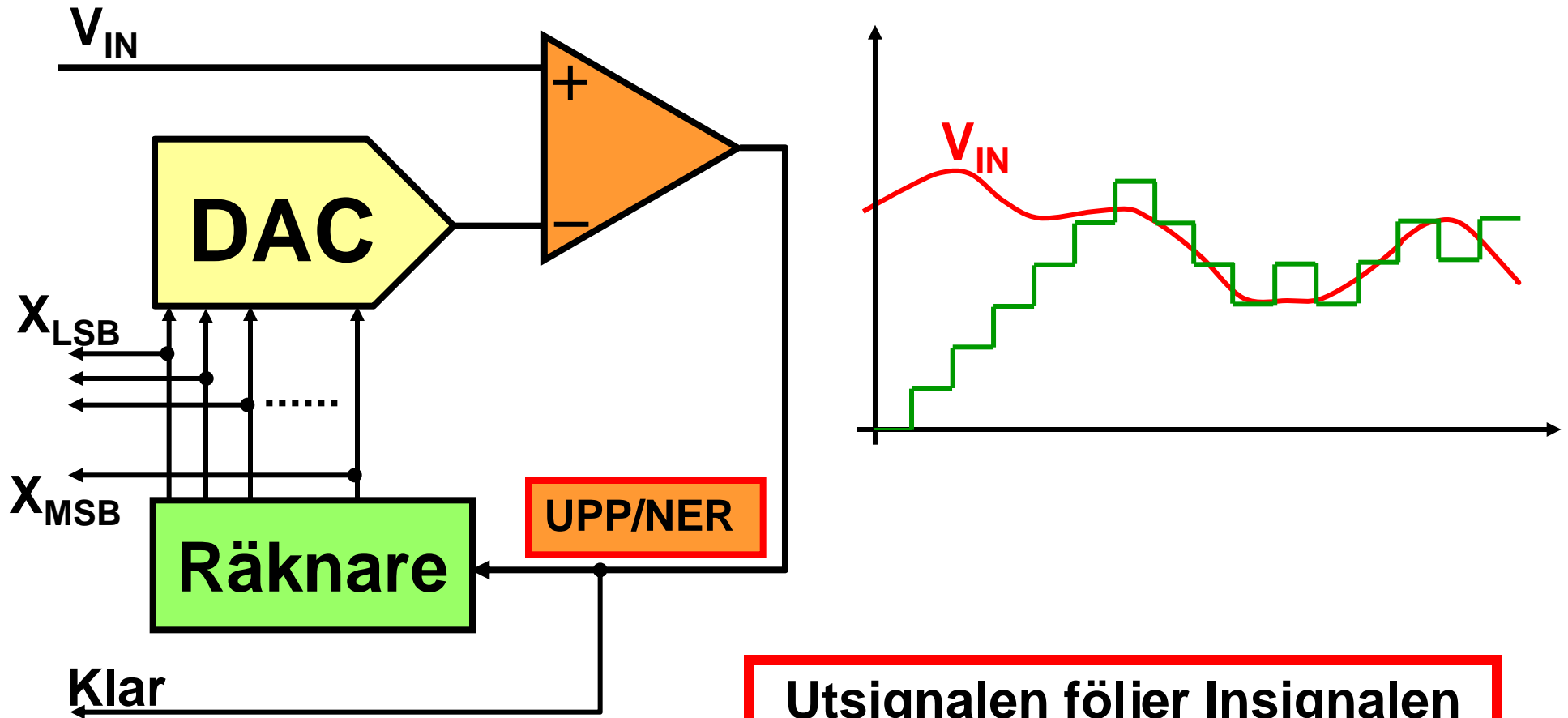


# Trappstegsomvandlare



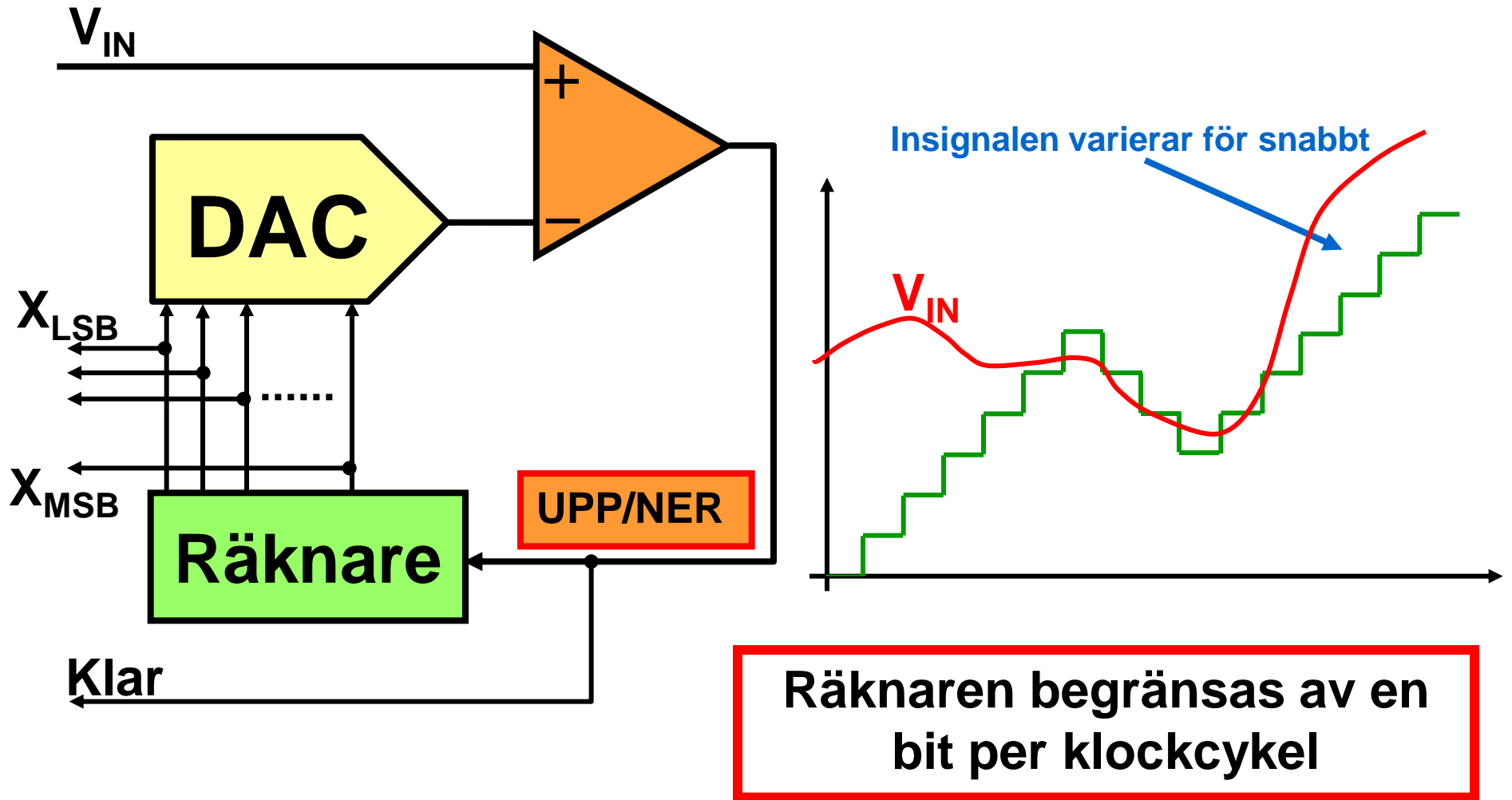
**Omvandlingstid beror på Insignalsnivån**

# Följandeomvandlare



Utsignalen följer Insignalen  
Snabbare än Trappstegs

# Följandeomvandlare



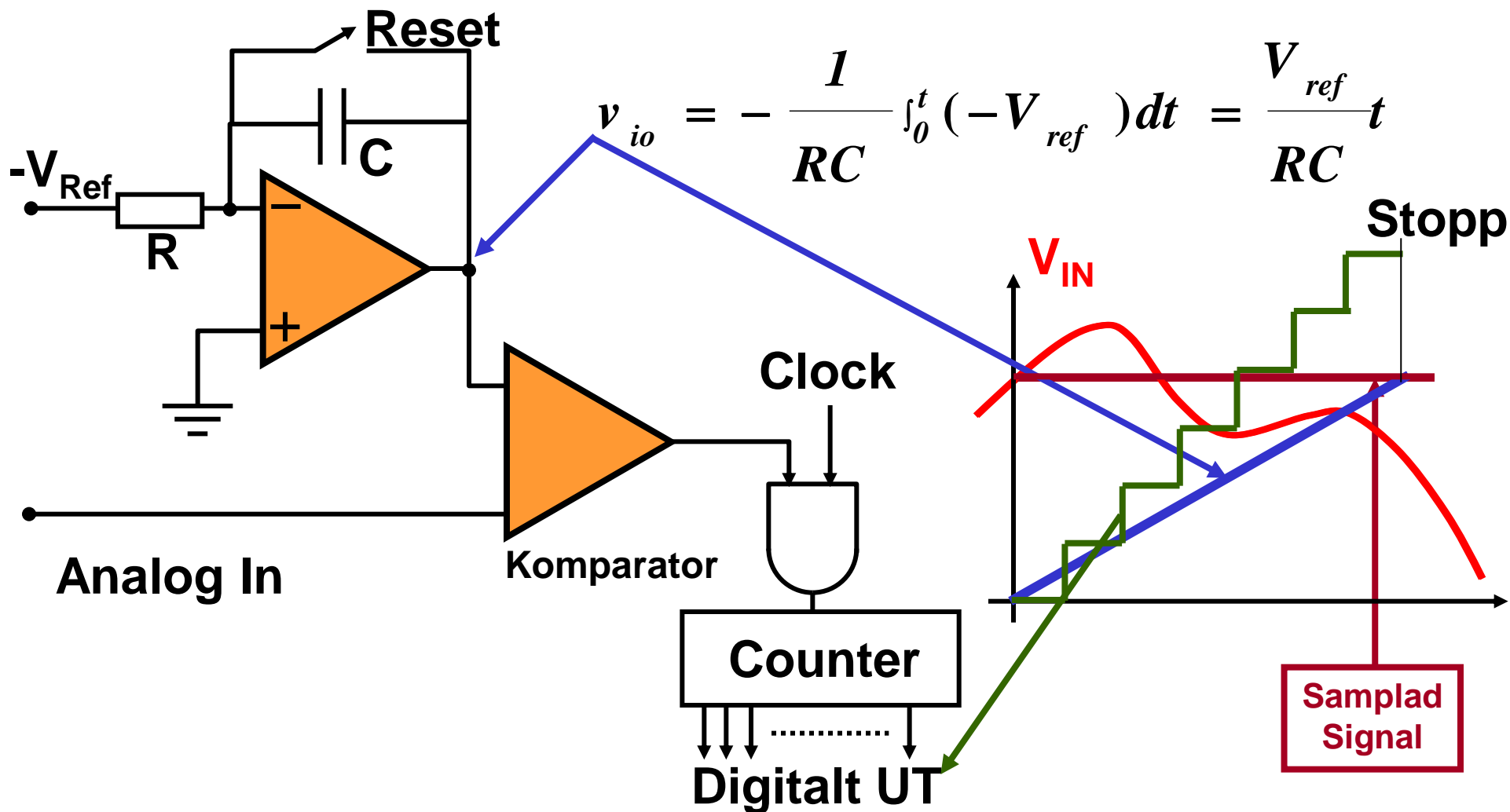
Räknaren begränsas av en bit per klockcykel

# Omvandlingstid

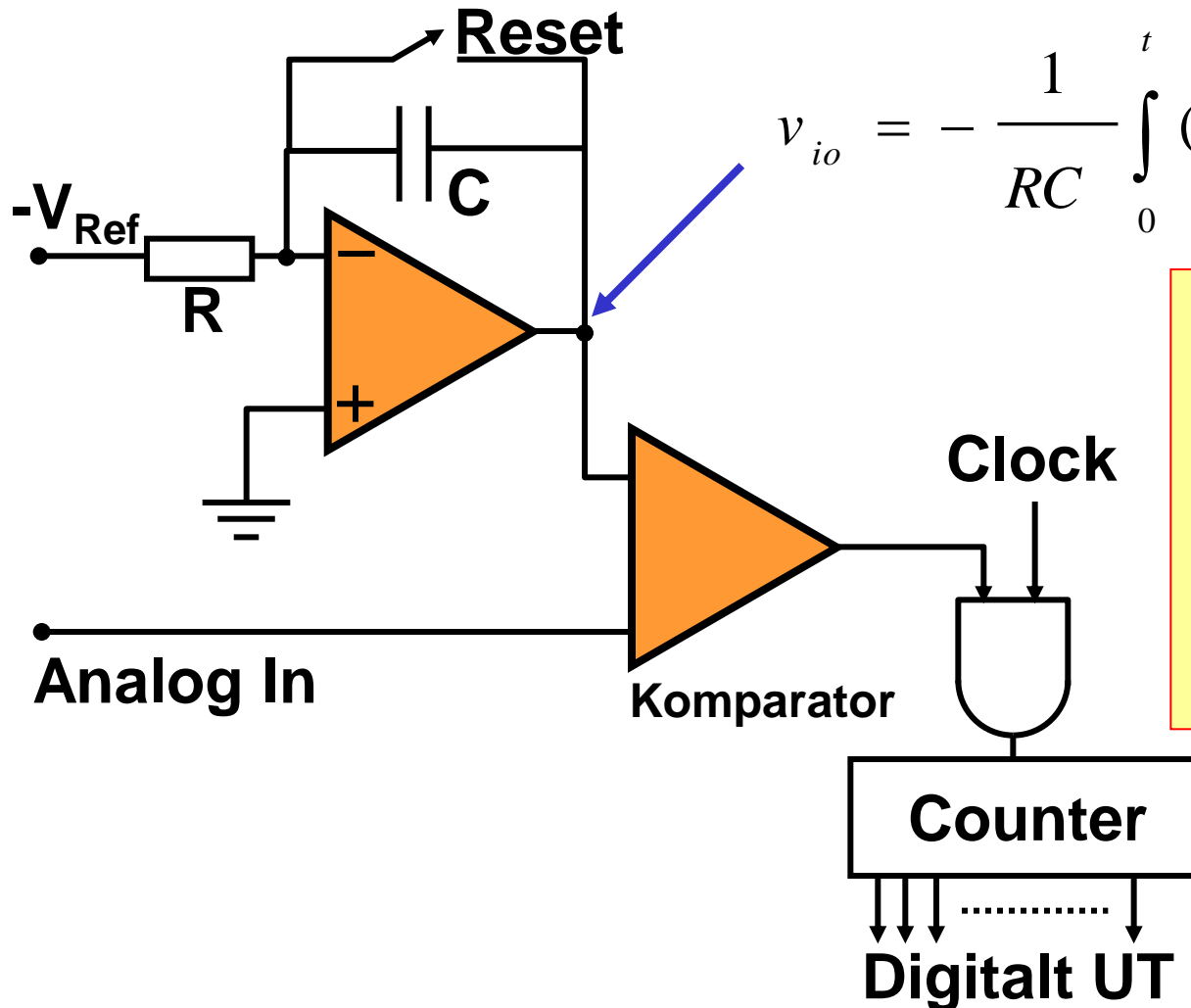
Trappstegsomvandlare	$2^N - 1$
Succesiv approximation	N
Flash	1

Men snabbare omvandling  
betalas med extra hårdvara

# 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