

Digitaalelektronika

X loeng

A/D muundurid



X loengu sisu

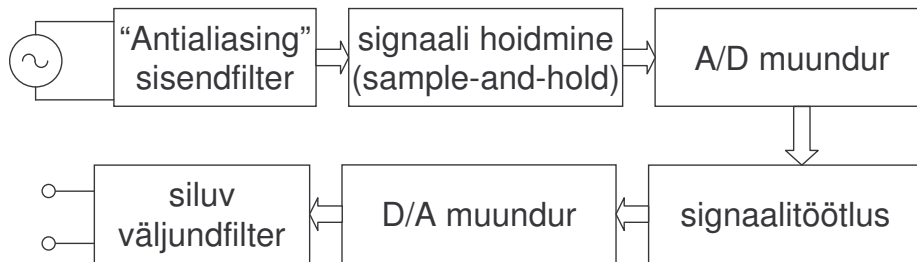
- Analoo-digitaalsignaali muundamine
 - probleemid
- A/D muundurid
 - iseloomustavad parameetrid
 - erinevad tüübid



analoog-digitaalmuundamine

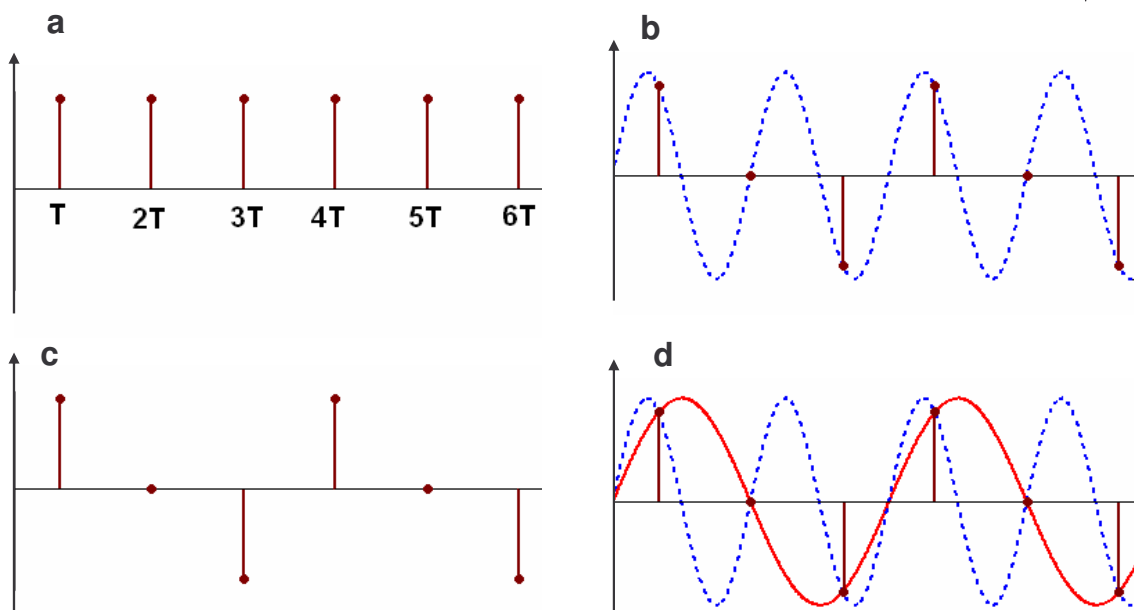


- analoogsignaali digitaalseks tegemine
 - mõõtmised
 - digitaalne signaalitöötlus
 - digitaalne signaali ülekandmine



- kui signaali digitaalne ülekandmine, siis peaks lõppsignaal järgima algsignaali

“Aliasing”



“Antialiasing” filter



- selleks et mõõta üheselt tõlgendatavaid signaale, peab diskreetimissagedus olema vähemalt kaks korda suurem, kui suurim kasulik sagedus
- “antialiasing filter” – filter millega lõigatakse ära signaalid, mille sagedus on kaks korda suurem, kui diskreetimissagedus
 - antud signaalid ei ole eeldatavasti huvipakkuvad, kuid võivad juhusliku müra sisse süsteemi siseneda ja muidu tõlgendatakse neid, kui väiksema sagedusega kasulikke signaali

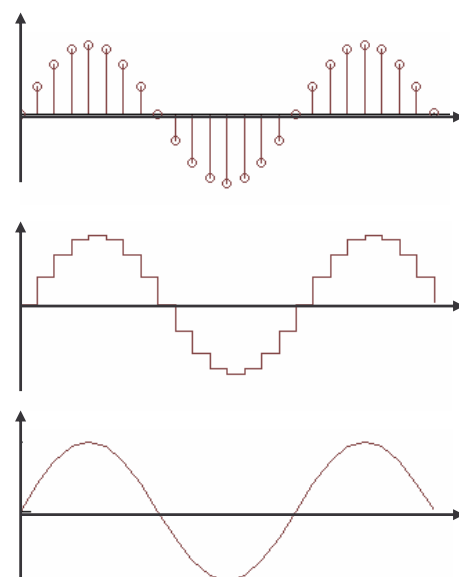
5/12/2009

5

Siluv väljundfilter



- digitaalsignaali väärtused teatud diskreetsetel ajahetkedel
- D/A muundurisse seatakse väljundisse signaal, mis püsib seal uue signaali seadmiseni
- silumiseks kasutatakse filtrit (kondensaator)



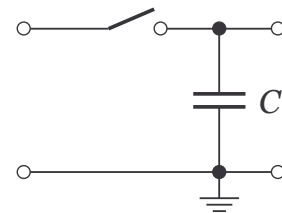
5/12/2009

6

Andmete hõivamine



- A/D muundamiseks on vaja signaal kõigepealt registreerida ja hoida muundamise vältel konstantsena
- lihtsaim viis on kasutada lüliti ja kondensaatorit
 - signaali registreerimiseks lüliti sees
 - signaali muundamiseks lüliti välja ja kondensaator hoiab pinget
 - lülitiks võib olla näiteks transistor



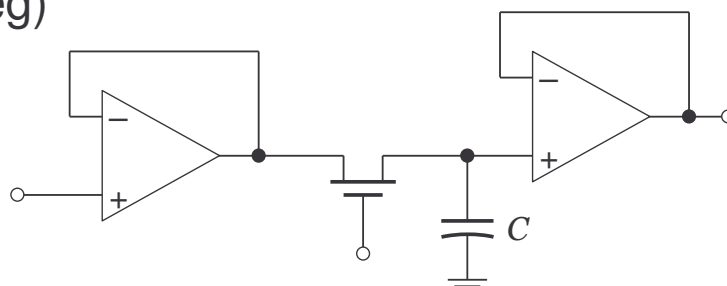
5/12/2009

7

Andmete hõivamine



- praktiline andmete hoidmiseks sobiv lülitus
 - operatsioonivõimendid töötavad puhvritena
 - ajakonstant mille jooksul kondensaator laadub
$$\tau = (R_o + r_{DS}) \cdot C$$
 - R_o – esimese operatsioonivõimendi väljundtakistus
 - r_{DS} – juhtivas olekus transistori kanali takistus
- laadumisel lisandub lüliti sulgumise aeg < 100 ns (apertuuraeg)



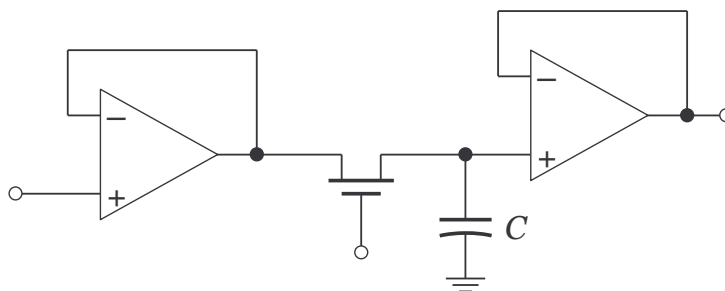
5/12/2009

8

Andmete hõivamine



- kondensaator ei tohiks olla polariseeruvast materjalist ega omada “mälu”
- ka selliste kondensaatorite korral tühjendab väike vool ($< \text{nA}$) kondensaatorit (MOSFET)
 - $0,5 \mu\text{F}$ korral tühjenemine 2 mV/s



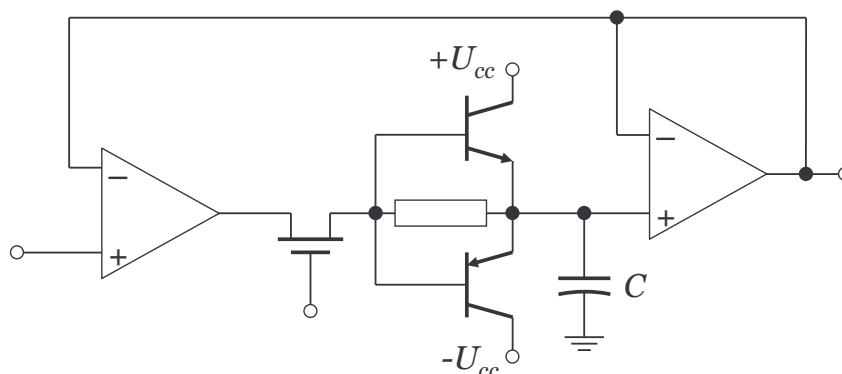
5/12/2009

9

Andmete hõivamine



- kui laadumisaeg ja lülitusaeg tühised, piirab töökiirus operatsioonivõimendi maksimaalne lubatud vool I_{max} ($du/dt = I/C$)
- kiiremaks laadumiseks kasutatakse komplementaarseid emitterjärgijaid



5/12/2009

10

Analoog-digitaalmuundurit iseloomustavad parameetrid

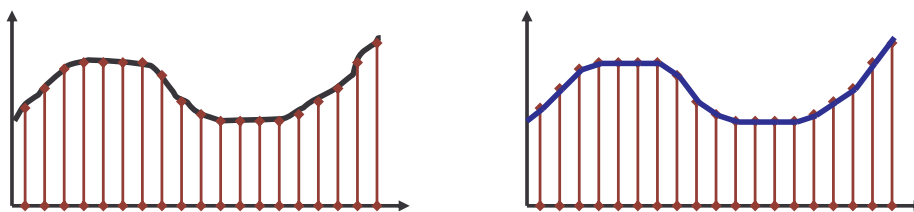


- diskreetimissagedus
- resolutsioon
- lineaarsus
- täpsus

5/12/2009

11

diskreetimissagedus



- sagedus, millega analoogsignaali muundatakse digitaalsignaali
- piisavalt aeglaselt muutuva analoogsignaali saab salvestada digitaalsena ja seejärel muundada uuesti esialgsega sarnaseks signaali, nii et erinevus jääb kvantiseerimisvea piiresse
- suurte sageduste korral tekib eelpool toodud “aliasing” probleem
- diskreetimissagedusega on seotud ka signaali hoidmiseks vajaliku lülituse parameetrid (suurtel sagedustel kiirem salvestamine, madalatel sagedustel piisavalt kaua muutumatu signaali)

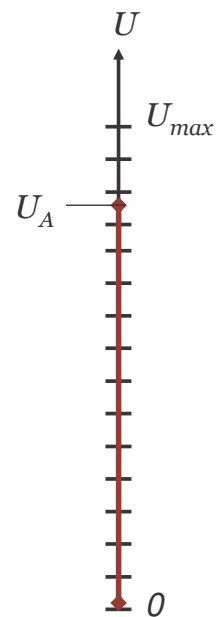
5/12/2009

12

Analoog-digitaalmuundurit iseloomustavad parameetrid



- resolutsioon – erinevate diskreetsete seisundite arv
 - enamasti antakse hoopis bittides N ja seega seisundite arv on kahe aste 2^N
 - 8 bitise muunduri korral 256
 - võib olla $0 - 2^N$ või $-2^{N-1} - 2^{N-1}$
 - võib esitada ka voltides $(U_{max} - U_{min})/2^N$



5/12/2009

13

Analoog-digitaalmuundurit iseloomustavad parameetrid



- lineaarne või mittelineaarne
 - diskreetimine on põhimõtteliselt mitte-lineaarne
 - lineaarne – sisendpinge väärtuste vahemik ΔU , mis vastab teatud digitaalsele väljundväärtusele m , on selle väljundiga lineaarselt seotud ehk m vastab sisenditele, mis omavad väärtust vahemikus $\Delta U \cdot (m + b)$ kuni $\Delta U \cdot (m + 1 + b)$, b on enamasti kas 0 või $-1/2$
 - mitte-lineaarne – erinevates pingepiirkondades on samm erinev: näiteks logaritmiline

5/12/2009

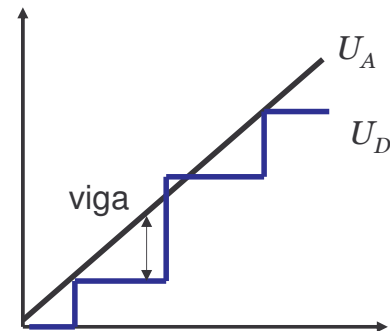
14

Analoog-digitaalmuundurid iseloomustavad parameetrid



- viga – kui suur on erinevus analoog ja digitaalsignaali vahel

- kvantiseerimisviga
- mittelineaarsus
- nulliviga
- apertuuriviga



- täpsus esitatakse tavaliselt LSB-dena ehk kõige vähem tähtsa biti kõrvalekalle soovitus (8 bitisel muunduril 1 LSB vea korral 0,4 %)

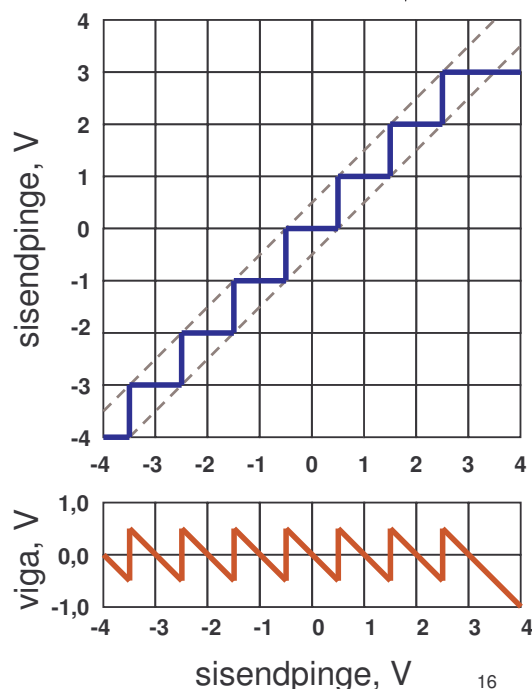
5/12/2009

15

ADM ja DAM kvantiseerimisviga



- digitaliseerimine põhimõtteliselt muundab signaali
- näiteks lineaarselt kasvav analoogsignaali muundatakse astmeteks
- digitaalne signaal on vaid muundamise hetkel lähedane esialgsele signaalile ülejäänud ajal erineb signaal tegelikust ($0 - \frac{1}{2}$ LSB)
- vea suurus seotud resolutsiooniga



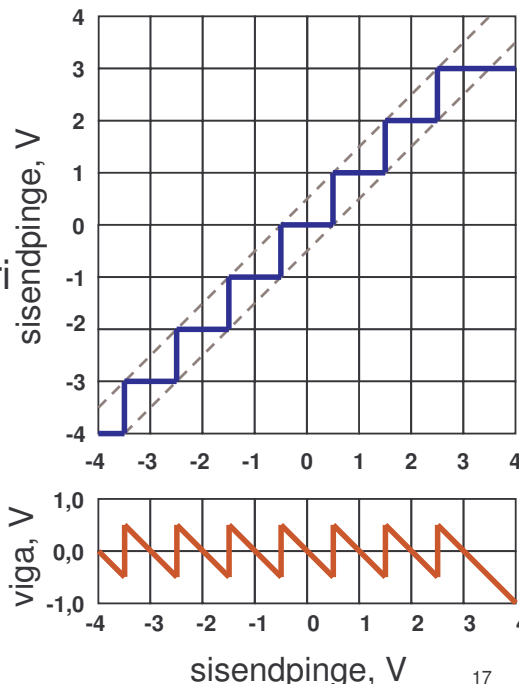
5/12/2009

16

ADM ja DAM kvantiseerimisviga



- suure signaali korral ($\gg \text{LSB}$) puudub korrelatsioon kvantiseerimisvea ja signaali vahel ja omab ühtlast jaotust
- $\text{rms} \approx 0,289 \text{ LSB}$ (8 bitise muunduri korral 0.113% koguskaalast)
- väikse signaali korral sõltub viga signaalist ja põhjustab moonutusi
- kui moonutuste sagedus suurem kvantimissagedusest, läbib see kogu süsteemi



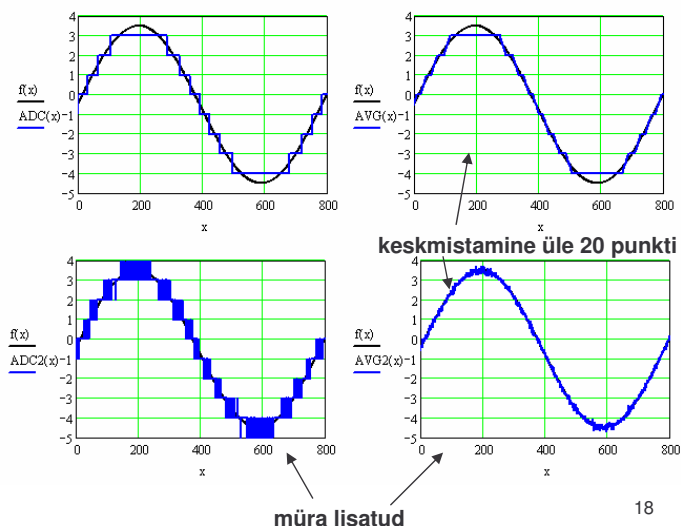
5/12/2009

17

signaali kvaliteedi parandamine müra lisamisega



- väikese resolutsiooni korral erineb signaal märgatavalt tegelikust isegi kui diskreetida piisavalt tihedalt
- lisatakse juhuslik müra ($1/2 \text{ LSB}_{\text{rms}}$) ja pärast digitaliseerimist signaal keskmistatakse
- ilma keskmistamiseta on lõpptulemus veelgi "karvasem"
- ilma müra lisamiseta keskmistamine ei aita



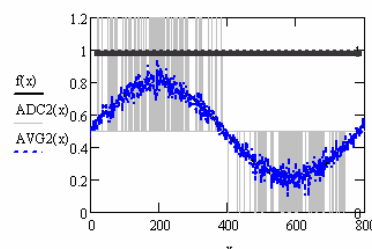
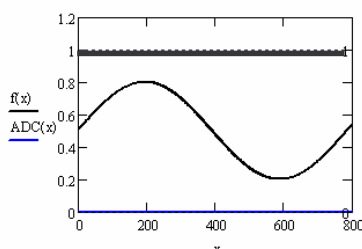
5/12/2009

18

signaali kvaliteedi parandamine müra lisamisega



- müra tõttu varieerub signaal kahe astme vahel samas kui ilma mürata oleks ta vaid ühel astmel
- ühel või teisel astmel olemise sagedus sõltub tegeliku signaali asukohast kahe astme vahel
- keskmistamisega üle teatud arvu tulemite sõltub tulemus samuti sellest, kui sageli on signaal ühel või teisel astmel
- resolutsioon paraneb oluliselt (kuni kaks astet)

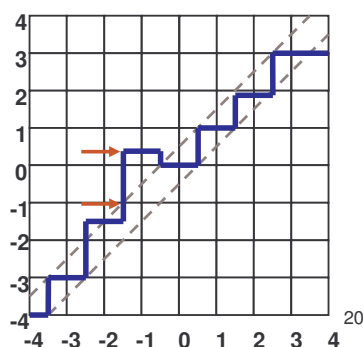
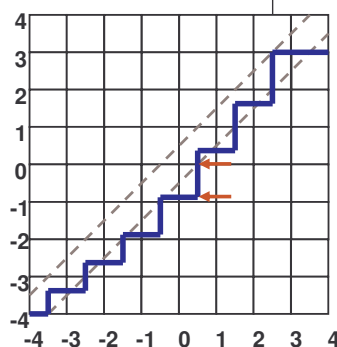


5/12/2009

mittelineaarsus



- kuigi soovitakse saada ühesuguse sammuga astmeid, on astmed füüsikalistel põhjustel tegelikult mõnevõrra erinevad
 - integraalne mitte-lineaarsus - näitab erinevust tegeliku ja eeldatava väärtuse vahel mingi konkreetse astme juures
 - diferentsiaalne mitte-lineaarsus – näitab erinevust tegeliku ja eeldatava väärtuse vahel kahe kõrvuti oleva biti korral



5/12/2009

20

apertuuriviga



- perioodilisel signaali mõõtmisel võib tegelik signaali digitaliseerimise hetk omada teatud määramatust Δt
- siinussignaali $A \cdot \sin(2\pi f_o t)$ korral on viga: $\Delta_{ap} \leq 2A\pi f_o \Delta t$
 - madalatel sagedustel enamasti oluliselt väiksem, kui kvantiseerimisviga ja seega väheoluline
 - kõrgetel sagedustel üha olulisem
- määramatus Δt peab olema väiksem, kui $1/2^N \pi f_o$
- 8 bitise muunduri ja 44.1 kHz signaali korral 28,2 ns, 16 bitise muunduri ja 100 MHz signaali korral 48,6 fs
- seega kas väiksem täpsus või sagedus või alles jääv raha

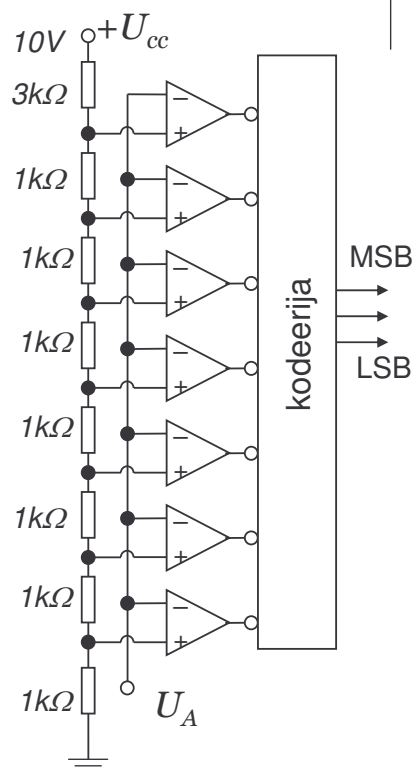
A/D muundurid



Flash A/D-muundur



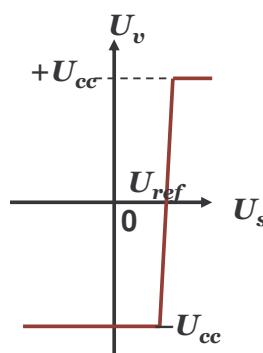
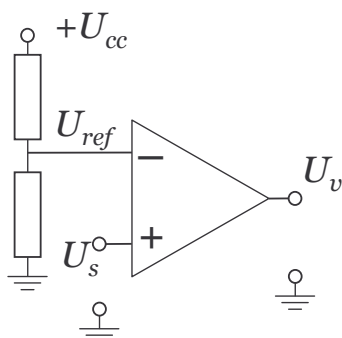
- pingejagurid
- komparaatorid
- kodeerimisloogika



Komparaator



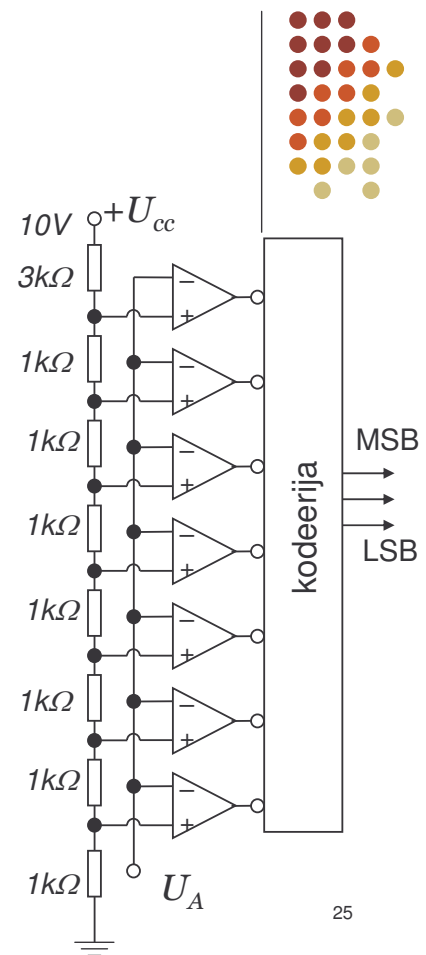
võrdleb ühe sisendi signaali teise sisendi etteantud pingega



Flash A/D-muundur

sisendid							väljundid		
X_7	X_6	X_5	X_4	X_3	X_2	X_1	Y_2	Y_1	Y_0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
0	0	0	0	0	1	1	0	1	0
0	0	0	0	1	1	1	0	1	1
0	0	0	1	1	1	1	1	0	0
0	0	1	1	1	1	1	1	0	1
0	1	1	1	1	1	1	1	1	0
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

5/12/2009

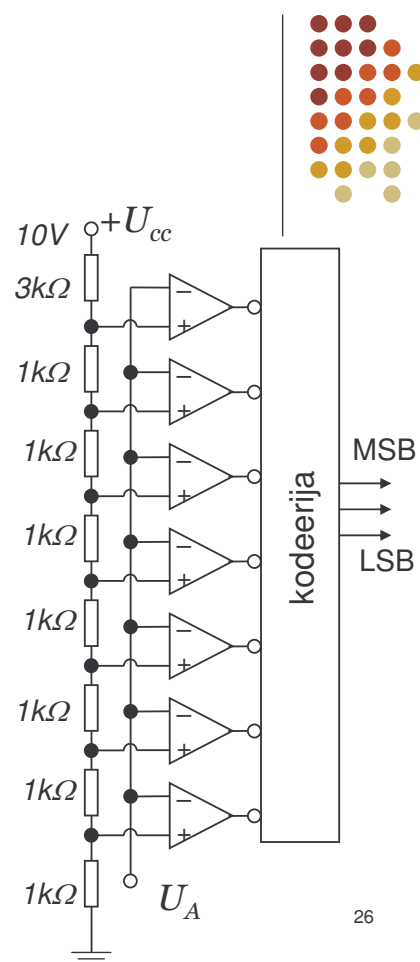


25

Flash A/D-muundur

- kõige kiirem, kuna muundamiskiirust piirab vaid signaali levik läbi komparaatori ja kodeerimisloogika (< 20 ns)
- samas ka kõige keerukam, kuna vajab iga pingestme jaoks eraldi komparaatorit (n biti jaoks $2^n - 1$) ja kodeerimisloogika on ka keeruline
- tänapäeval kuni 8 bitised

5/12/2009

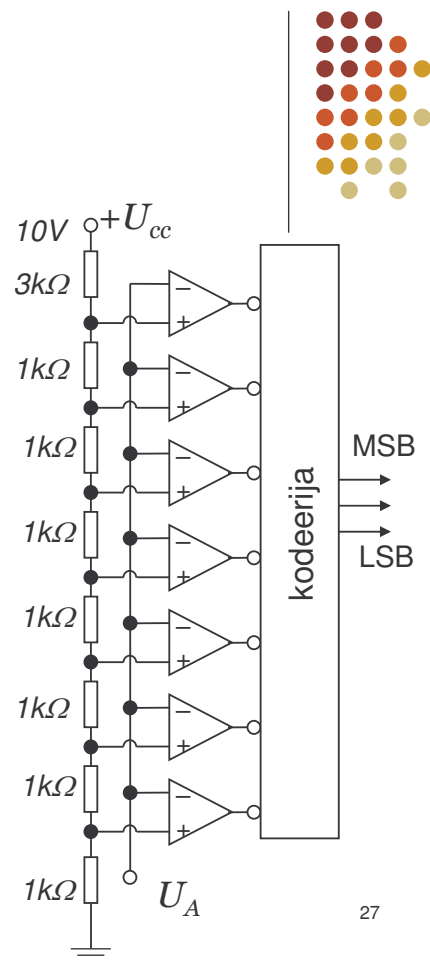


26

Flash A/D-muundur

- vead määratud peamiselt kvantiseerimise sammuga kuid põhimõtteliselt ka takistite erinevusega (mitte-lineaarsuse viga)
- mõnikord kasutatakse takistite asemel kondensaatoreid, mis toimivad ka pinge hoidjana
 - kõrgete sageduste juures pole kondensaatori tühjenemine oluline

5/12/2009

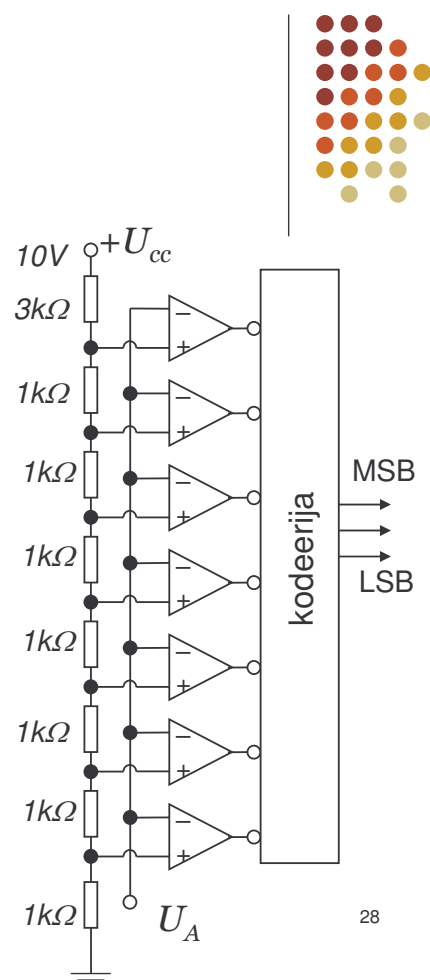


27

Flash A/D-muundur

- sobib GHz rakendustes
 - videosignaali töötlemisel (täpsus pole nii oluline)
 - radarisignaalide detekteerimisel
 - optiliste signaalide edastamisel

5/12/2009

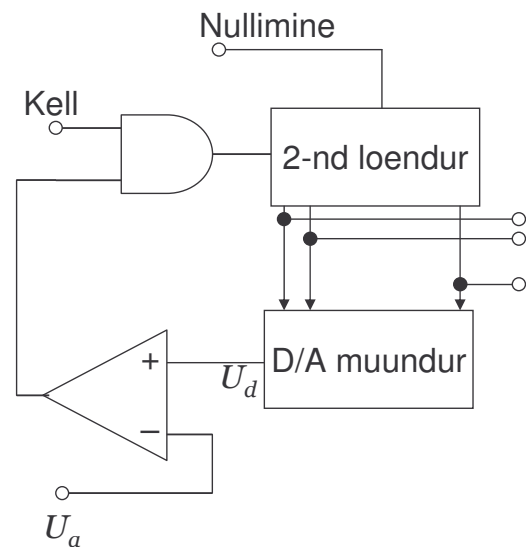


28

Võrdlemismeetod



- loenduriga A/D muundur
 - loenduri abil kasvavas järjekorras kahendarvud
 - D/A muunduri abil muudetakse need pingeks
 - tekib ühtlaselt kasvav pingepulss
 - komparaator võrdleb registreeritavat analoogpinget ja genereeritud pinget
 - loenduri seisma kui genereeritav pinge saab suuremaks kui analoogpinge



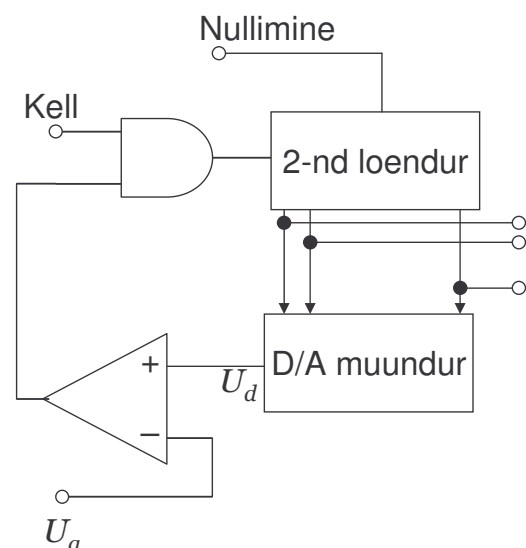
5/12/2009

29

Võrdlemismeetod



- halvimal juhul tuleb lugeda 2^N pulssi, mis muudab registreerimise pikaks (< 10 MHz)
- lihtne kuna vajab vaid ühte komparaatorit (siiski ka D/A muundurit)
- lihtsamal juhul lihtsalt hammaspulsi tekitaja ja timer (ebatäpsem)
- lisanduvad D/A muunduri vead



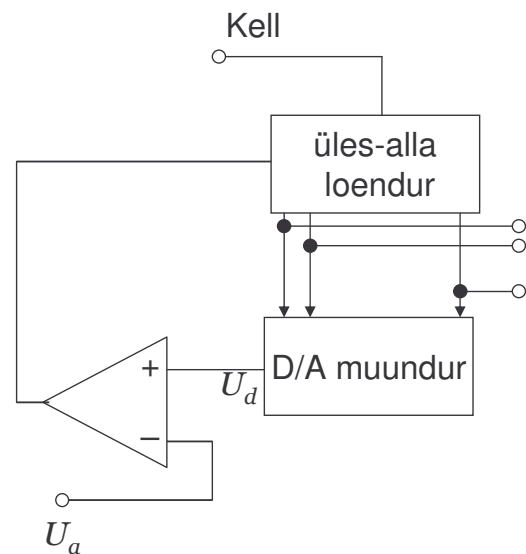
5/12/2009

30

Võrdlemismeetod (järgiv muundur)



- komparaator seab loenduri kas üles või alla lugemise režiimi vastavalt sellele, kas D/A muunduri signaal on suurem või väiksem kui registreeritav signaal
- digitaalne väljund jääb 1 LSB täpsusega muutuma
- aeglase signaali järgimisel väga sobilik



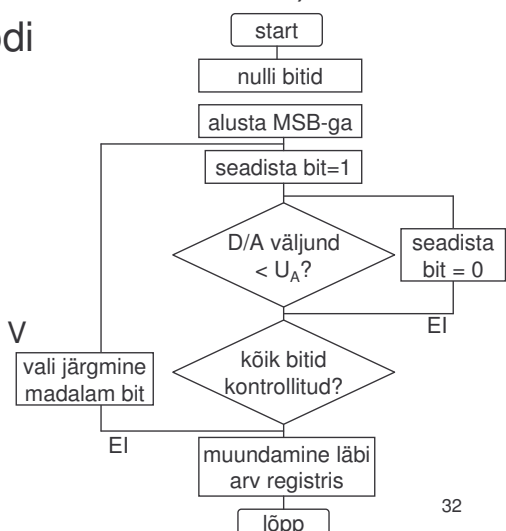
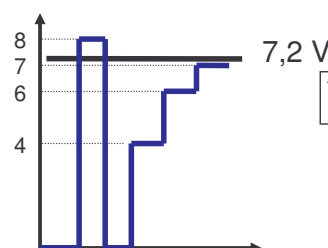
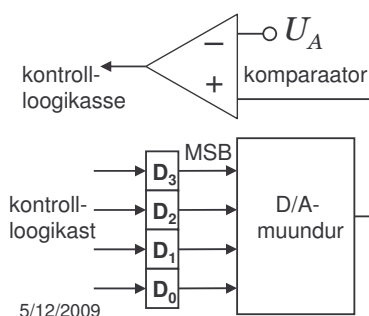
5/12/2009

31

Järjestikuse lähenemise meetod



- kontrolleri kasutamisel saab võrdlemist kiirendada
 - kontroll-loogika sisestab kõigepealt vaid MSB ja võrdleb D/A genereeritud pinget (kui suurem, siis MSB = 0)
 - seejärel järgmine bitt ja samamoodi
 - sammude arv maksimaalselt N
 - kaalutud muundamine



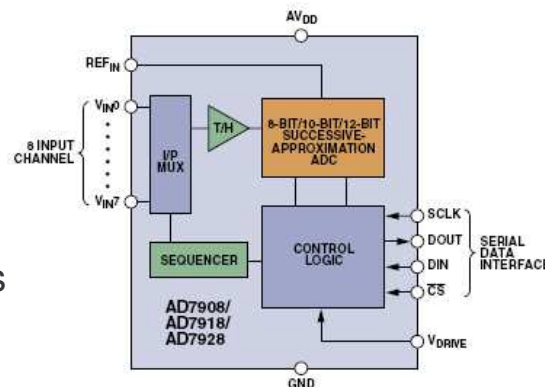
5/12/2009

32

järjestikuse lähenemise meetod



- kella töösagedus peab olema N korda suurem, kui diskreetimissagedus
- võimaldab teha üsna suure resolutsiooniga ja laia tööpiirkonnaga muundureid
- on mõnevõrra keerukamad vajades eraldi kontrollloogikat
- sageli kasutatakse mitme sisendi korral



5/12/2009

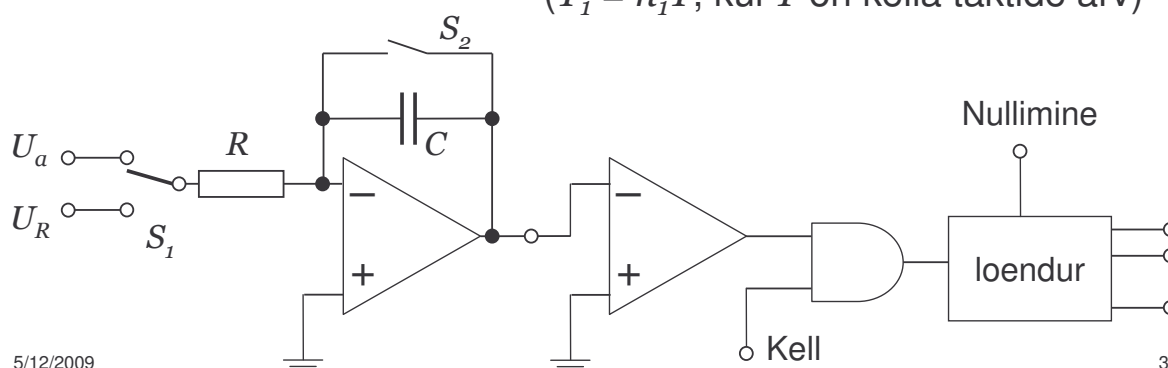
33

Integreeriv A/D muundur



- olgu $U_a > 0$ ja $U_R < 0$
- algul S_1 avatud S_2 suletud ja loendur nullitud
- mingil ajahetkel t_1 ühendatakse U_a intergraatoriga ja S_2 avatakse
- U_a integreeritakse fikseeritud arv n_1 taktimpulssi

($T_1 = n_1 T$, kui T on kella taktide arv)



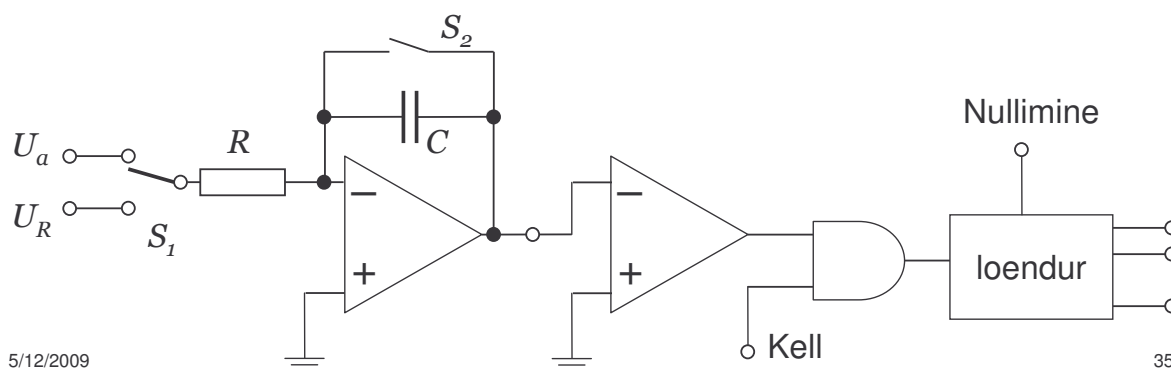
5/12/2009

34



Integreeriv A/D muundur

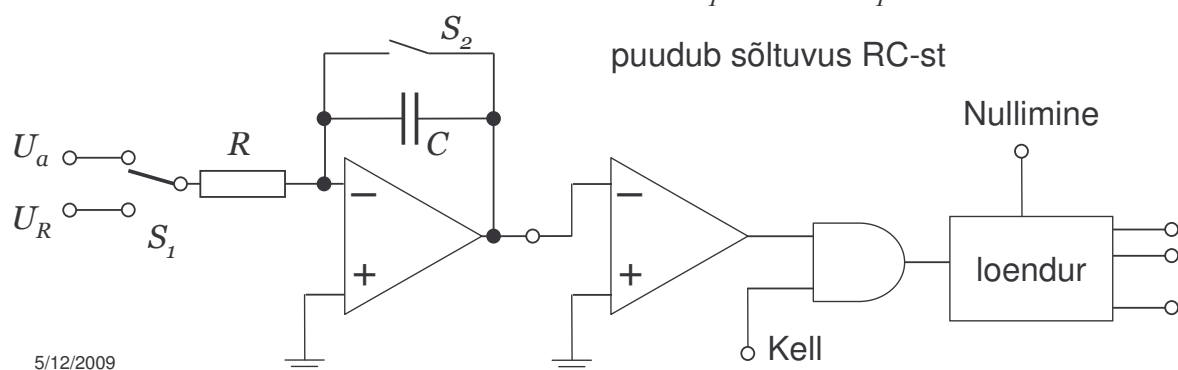
- ajahetkel t_2 lülitatakse S_1 ümber U_R -le
 - kui N astmeline loendur ja $n_1 = 2^N$, siis ajahetkel t_2 jõuab loendur uuesti nulli
 - MSB muutus 1-st 0-i võibki lülitit kontrollida
- kuna $U_R < 0$, on integreeritud signaali tõus positiivne



Integreeriv A/D muundur

- kui pinge integraatoris jõuab nulli (aeg T_2), taktimpulsid enam loendurisse ei jõua
- kui $|U_R| > U_a$, siis $T_2 < T_1$ ja loendur ei jõua nullini

$$U_a = \frac{T_2 |U_R|}{T_1} = \frac{n_2 |U_R|}{n_1} = n_2 \frac{|U_R|}{2^N}$$



Integreeriv A/D muundur



- pärast uuesti nullimist ja näidu registreerimist nullitakse loendur ja S_1 lülitatakse uuesti ümber (aeg t_1)
- uus lugem võetakse iga $t_1 + T_1 + T_2$ järel
- antud meetod võib olla väga täpne (6 ja enama kohalised digitaalsed voltmeetrid näiteks kasutavad)
- mürakindel (integreeritakse) aga aeglane

