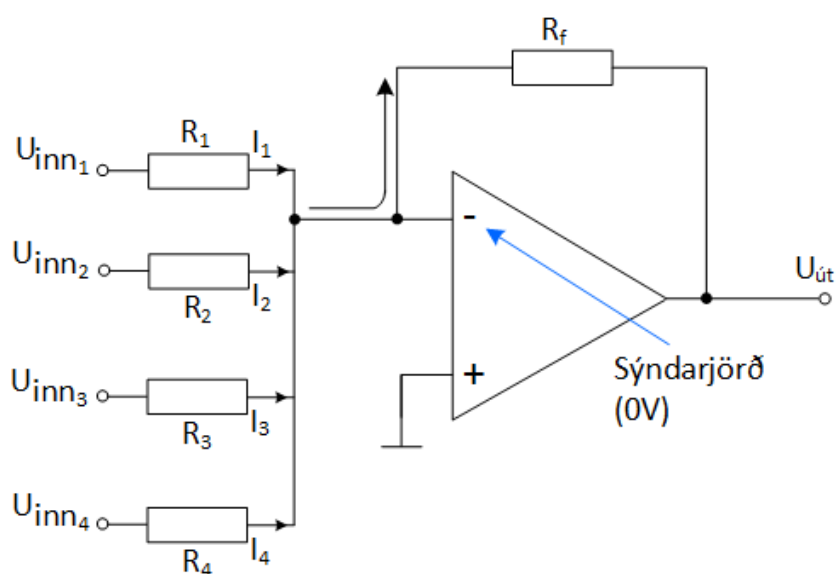


Rafbók



Rafeindafraeði 18. hefti

Notkun aðgerðarmagnara

Sigurður Örn Kristjánsson

Bergsteinn Baldursson

Þetta hefti er án endurgjalds á rafbókinni.

www.rafbok.is

Allir rafiðnaðarmenn og rafiðnaðarnemar geta fengið aðgang án endurgjalds að rafbókinni.

Heimilt er að afrita textann til fræðslu í skólum sem reknir eru fyrir opinbert fé án leyfis höfundar eða Fræðsluskrifstofu rafiðnaðarins. Hvers konar sala á textanum í heild eða að hluta til er óheimil nema að fengnu leyfi höfundar og Fræðsluskrifstofu rafiðnaðarins.

Höfundar eru Sigurður Örn Kristjánsson og Bergsteinn Baldursson.
Umbrot í rafbók Báru Halldórsdóttir.

Vinsamlegast sendið leiðréttingar og athugasemdir til höfundar Sigurðar Arnar Kristjánssonar á sqk@tskoli.is eða til Báru Halldórsdóttur á netfangið bara@rafnam.is

Rafeindafræði 18. hefti – Notkun aðgerðarmagnara -

Efnisyfirlit

1. Notkun aðgerðarmagnara	3
2. Núll stöðu samanburður (<i>Zero-Level Detection</i>)	3
3. Þrepa skynjun (<i>Nonzero-Level Detection</i>)	4
4. Dæmi	6
5. Áhrif truflana (<i>Input Noise</i>) á samanburðarásir	6
6. Að minnka áhrif truflana með slaufu (<i>Hysteresis</i>)	7
7. Dæmi	9
8. Útgangsspennumörk (<i>Output Bounding</i>)	10
9. Dæmi	13
10. Glugga samanburðarás (<i>Window Comparator</i>)	15
11. Yfir hitaskynjun með samanburðarás	16
12. Hliðræn – Stafræn umbreyting (<i>A/D – conversion</i>)	17
13. Dæmi	19
14. Samlagninga magnari (<i>summing amplifier</i>)	20
15. Dæmi:	21
16. Samlagningamagnari sem breytir stafrænu merki í hliðrænt (<i>Digital-to-Analog (D/A) Conversion</i>)	22
17. Tegur- og diffurmagnari (<i>Integrator og differentor</i>)	24
18. Dæmi	29
19. Svör	30

Rafeindafræði 18. hefti – Notkun aðgerðarmagnara -

1. Notkun aðgerðamagnara

Aðgerðamagnarar eru oft notaðir sem samanburðarásir þar sem styrkur spennu er borin saman við aðra fasta spennu. Þegar þetta er gert er annar inngangur aðgerðamagnarans settur á viðmiðunarspennu t.d. U_{REF} og spennan á hinum innganginum borin saman við hana. Aðgerðamagnarar eru án afturvirkni í þessum tengiham.

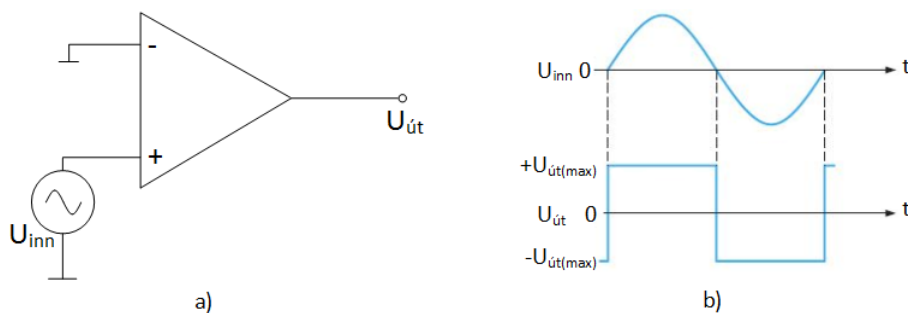
2. Núll stöðu samanburður (*Zero-Level Detection*)

Grunngerð samanburðarrásar (*comparator*) með aðgerðamagnara er sýnd á mynd 1a. Þegar spennan U_{inn} verður minni eða stærri en núll skiptir útgangsspennan $U_{út}$ um pólun og verður $\pm U_{út(max)}$. Takið eftir að snúni inngangur (-) aðgerðamagnarans er jarðaður og að inngangsmerkið er sett inn á ósnúna inngang (+) aðgerðamagnarans. Vegna mikillar eiginmögnunar aðgerðamagnarans $A_{(OL)}$ þarf mjög litla mismunaspennu milli innganganna þannig að útgangsspennan sveiflist milli $\pm U_{(ÚT\ max)}$. Sem dæmi þá er magnari með eiginmögnun $A_{(OL)} = 100000$. Ef spennumismunur milli innganga aðgerðamagnarans er $0,25mV$ verður útgangsspennan samkvæmt jöfnu:

$$U_{ÚT} = A_{(OL)} \cdot \Delta U_{INN} = 100000 \cdot 0,25mV = 25V$$

Þar sem hámarks útgangsspennumöguleiki flestra aðgerðamagnara er minna en $\pm 15V$ fer aðgerðamagnarinn í metnun.

Mynd 1 sýnir hvernig núllstöðu samanburða aðgerðamagnari bregst við sínusbylgju sem sett er inn á ósnúna innganginn.



Mynd 1. Núllstöðu samanburðar-aðgerðamagnari (*zero-level detector*).

Þegar sínusbylgjan er neikvæð verður útgangsspennan neikvæð. Þegar sínusbylgjan er jákvæð verður útgangsspennan jákvæð. Skiptin eru við spennuna núll og þess vegna fær þessi tenging heitið núllstöðu samanburðar-aðgerðamagnari (*zero-level detector*). Þessa rás er til dæmis hægt að nota til að búa til kassabylgju (*square wave*) með sínusbylgju.

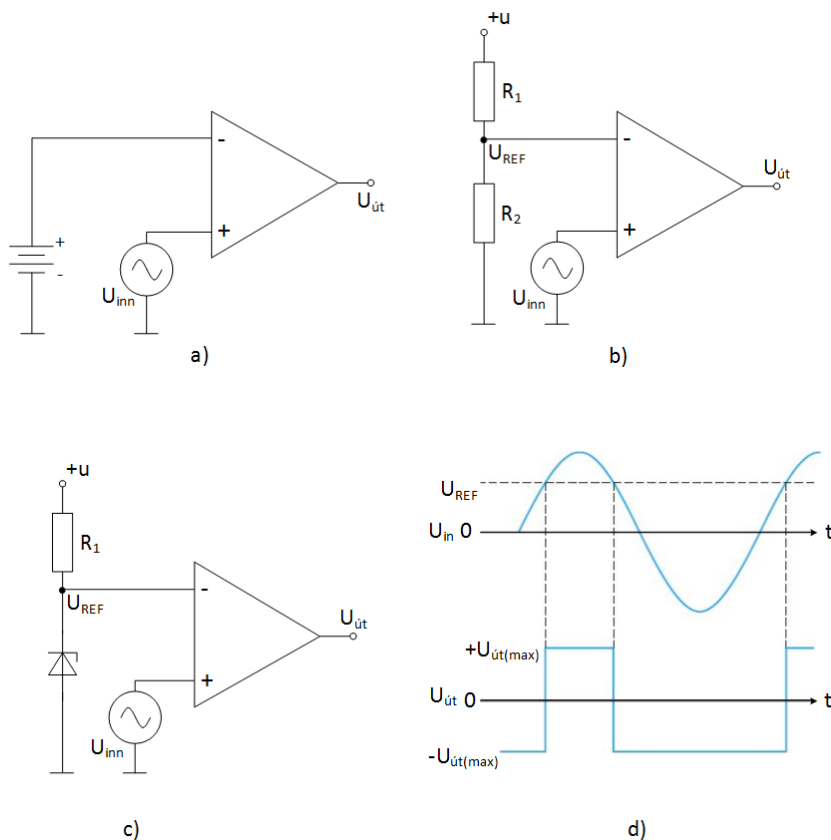
Rafeindafræði 18. hefti – Notkun aðgerðarmagnara -

3. Þrepa skynjun (*Nonzero-Level Detection*)

Hægt er að breyta núllstöðu samanburðar-aðgerðamagnarans sem sýndur er á mynd 1 þannig að hann skynji aðrar spennur. Þetta er gert með því að setja fasta viðmiðunarspennu eins og sýnt er á mynd 2a og mynd 2b. Fyrir mynd 2b gildir að $U_{\text{út}}$ er

$$U_{REF} = \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) \cdot (+U)$$

Þar sem $+U$ er vinnuspenna aðgerðamagnarans. Rásin á mynd 2c notar zenerdíóðu sem viðmiðunarspennu ($U_{REF} = U_Z$). Rásirnar virka þannig að þegar inngangsspennan U_{inn} er minni en U_{REF} er útgangsspennan $-U_{\text{út(max)}}$. Þegar inngangsspennan verður hærri en viðmiðunarspennan U_{REF} skiptir útgangsspennan um pólun og fer yfir í $+U_{\text{út(max)}}$. Þetta sést á mynd 2d.

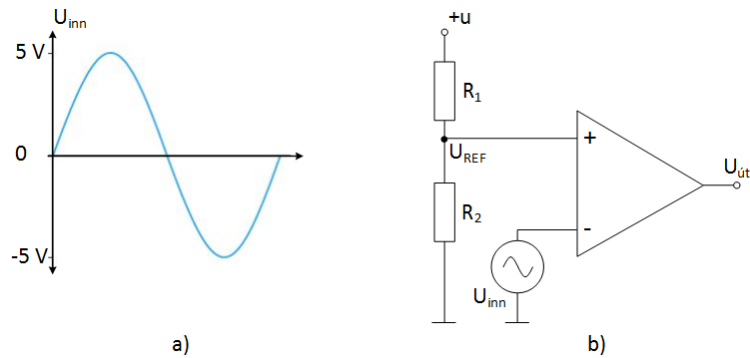


Mynd 2. Mismunandi útfærslur á þrepaskynjurum.

Rafeindafræði 18. hefti – Notkun aðgerðarmagnara -

Sýnidæmi:

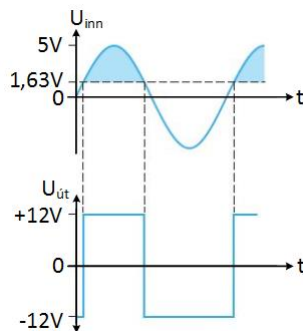
Inngangsmærki er sett á samanburðarás samkvæmt mynd 3a. Hvernig lítur útgangsmærkið út ef $U_{út(max)}$ er ± 12 V og $R_1 = 1k$ og $R_2 = 8,2k$?



Mynd 3.

$$U_{REF} = \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) \cdot (+U) = \left(\frac{1k\Omega}{8,2k\Omega + 1k\Omega} \right) \cdot (+15) = 1,63V$$

Í hvert skipti sem inngangsspennan fer yfir viðmiðunarspennuna $+1,63$ V skiptir útgangsspennan frá -12 V yfir í $+12$ V og fer í -12 V þegar viðmiðunarspennan verður minni en $+1,63$ V. Þetta er sýnt á mynd 4.

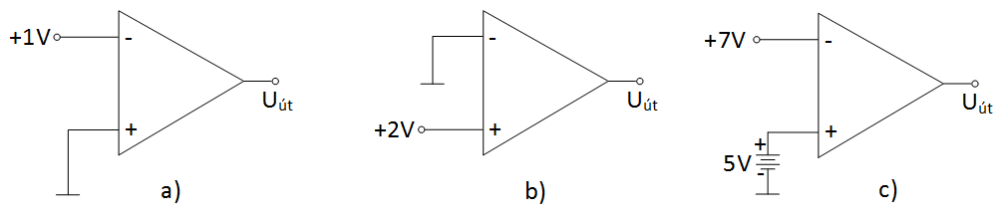


Mynd 4.

Rafeindafræði 18. hefti – Notkun aðgerðarmagnara -

4. Dæmi

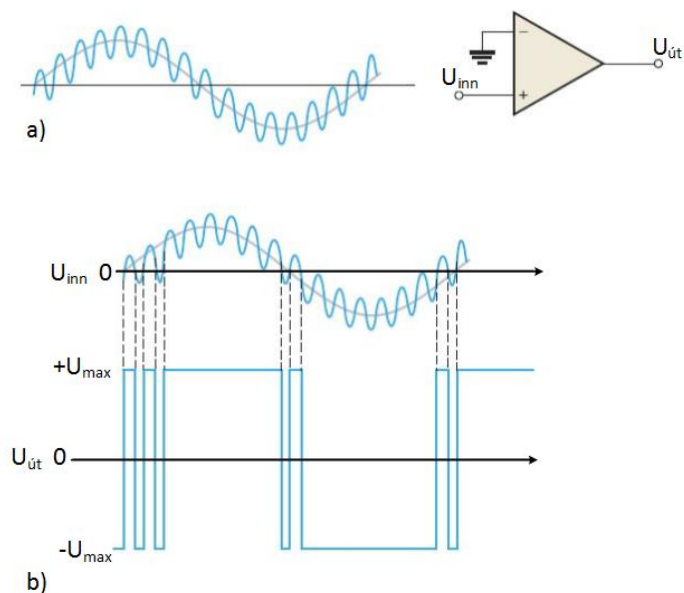
1. Hver er viðmiðunarspennan fyrir *mynd 3* bls. 5 ef mótstaðan $R_1 = 22\text{ k}\Omega$ og $U = 15\text{V}$.
2. Hver yrði útspenna samanburðarmagnaranna á *mynd 5* ef mettnarspenna þeirra er $\pm 12\text{V}$?



Mynd 5.

5. Áhrif truflana (*Input Noise*) á samanburðarásir

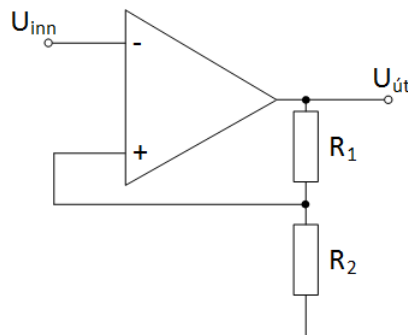
Spennubreytingar á inngangsmarki vegna truflana (*noise*) er algeng við raunverulegar aðstæður. Til að skilja afleiðingar þessara truflana skulum við ímynda okkur truflanir sem hvíla ofaná sínusbylgju sem sett er inn á ósnúna inngang á núllstöðu samanburðarás. Eins og sýnt er á *mynd 6a*. Eins og sést á *mynd 6b* eru afleiðingarnar sífelldar skiptingar á útgangsspennunni $U_{\text{út}}$ í kringum spennuna núll vegna truflananna.



Mynd 6. Áhrif truflana á samanburðarás.

6. Að minnka áhrif truflana með slaufu (*Hysteresis*)

Villuspenna á útgang aðgerðarmagnara vegna truflana á inngangsspennu í kringum viðmiðunarspennu $U_{(REF)}$ aðgerðarmagnarans getur gert hann óstöðugan. Til að vinna á móti þessum óstöðugleika og gera samanburðarásina stöðuga notum við slaufutækni (*hysteresis*). Tæknin gengur út á það að færa til baka inn á ósnúna skaut aðgerðarmagnarans hluta af útgangsmörkinu. Þetta þýðir að viðmiðunarspennan $U_{(REF)}$ er hærri þegar inngangsspennan fer frá lægri spennu að hærri spennugildi. En er lægri þegar inngangsspennan fer frá hærri spennugildi að lægri spennugildi. Hitastillir sem kveikir á sér við eitt hitastig en slekkur við annað er gott dæmi um slaufutengingu. Viðmiðunarspennugildin sem koma fram í slaufutengingu (*hysteresis*) eru efra þröskuldsspennan $U_{(EPS)}$ og neðra þröskuldsspennan $U_{(NPS)}$. Þessar tvær spennur sem eru fengnar fram með rásatengingu eins og sýnd er á mynd 7. Takið eftir því að ósnúni (+) inngangur aðgerðarmagnarans tengist spennudeili þannig að hluti af útgangsmörkinu er sett inn á þann inngang sem $U_{(REF)}$. Sjálfst inngangsmörkið er sett inn á snúna (-) inngang aðgerðarmagnarans.



Mynd 7. Samanburðarás með jákvæða afturvirkni.

$$U_{(EPS)} = \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) \cdot (+U_{út(max)})$$

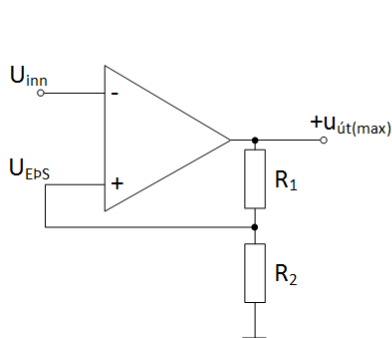
Gerum ráð fyrir því að $+U_{út(max)}$ sé hámarks jákvæða útgangsspennan. Spennan sem þá er sett tilbaka inn á ósnúna innganginn er:

Neðri þröskuldsspennan finnst sem

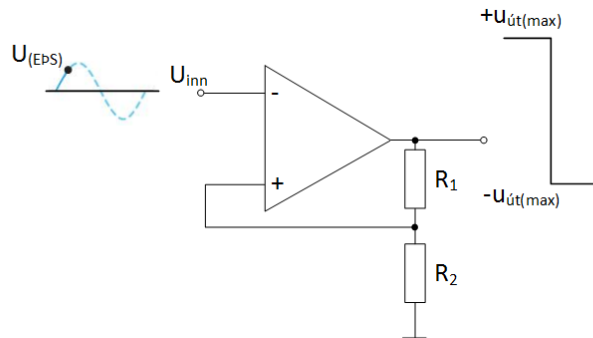
$$U_{(NPS)} = \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) \cdot (-U_{út(max)})$$

Virkni samanburðarásar með slaufu (*hysteresis*) er sýnd á mynd 8.

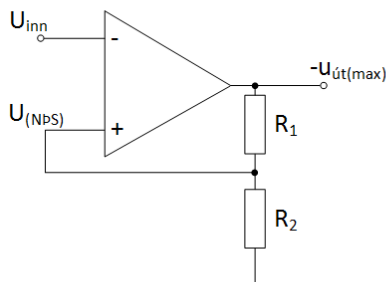
Rafeindafræði 18. hefti – Notkun aðgerðarmagnara -



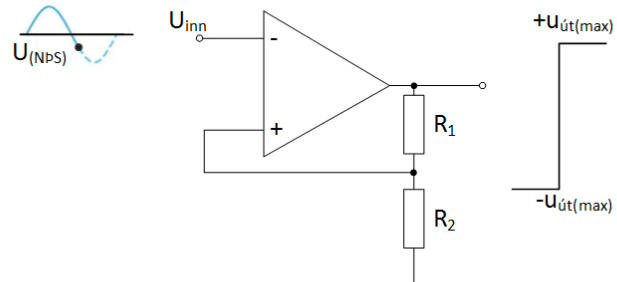
a) Mesta jákvæða útgangsspennan



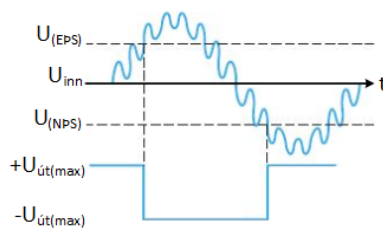
b) Inngangsspennan verður hærri en efri þröskuldsspennan $U_{(EPS)}$ og útgangsspennan verður neikvæð $-U_{út(max)}$



c) Mesta neikvæða útgangsspennan



d) Inngangsspennan verður lægri en lægri þröskuldsspennan $U_{(NPS)}$ og útgangsspennan verður jákvæð $+U_{út(max)}$



e) Rásin skiptir eingöngu við $U_{(EPS)}$ og $U_{(NPS)}$. Rásin er óháð trufunum milli skiptinga.

Mynd 8. Virkni samanburðarásar með jákvæða afturvirkni.

Inngangsspennan verður að falla niður fyrir spennuna $U_{(NPS)}$ þannig að kerfið skipti um stöðu. Þetta er sýnt á mynd 8e.

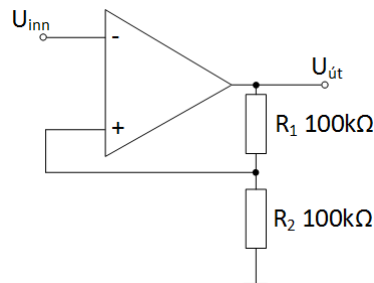
Samanburðarás með slaufuvirkni kallast „Schmitt trigger“. Spennumismunur slaufunnar er skilgreind sem

$$U_{(HYS)} = U_{(EPS)} - U_{(NPS)}$$

Rafeindafræði 18. hefti – Notkun aðgerðarmagnara -

Sýnidæmi:

Finnið lægri og hærri þrepennugildi samanburðarásar eins og hún er sýnd á mynd 9. Gerum ráð fyrir að $+U_{út(max)} = 5\text{ V}$ og $-U_{út(max)} = -5\text{ V}$.



Mynd 9. Samanburðarás.

Gerum ráð fyrir því að $+U_{út(max)}$ sé hámarks jákvæða útgangsspennan. Spennan sem þá er sett tilbaka inn á ósnúna innganginn er

$$U_{(EPS)} = \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) \cdot (+U_{út(max)}) = \left(\frac{100\text{k}\Omega}{100\text{k}\Omega + 100\text{k}\Omega} \right) \cdot (+5) = +2,5\text{V}$$

Neðri þröskuldspennan finnst sem

$$U_{(NPS)} = \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) \cdot (-U_{út(max)}) = \left(\frac{100\text{k}\Omega}{100\text{k}\Omega + 100\text{k}\Omega} \right) \cdot (-5) = -2,5\text{V}$$

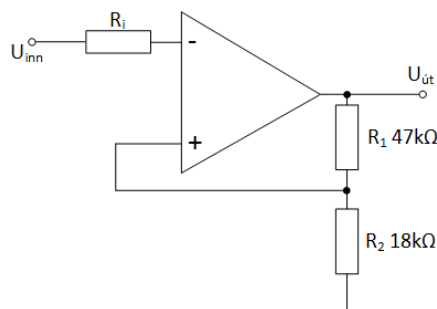
7. Dæmi

1. Finnið lægri og hærri þrepennugildi samanburðarásar eins og hún er sýnd á mynd 9 ef $R_1 = 68\text{ k}\Omega$ og $R_2 = 82\text{ k}\Omega$.

Gerum ráð fyrir að $U_{út(max)} = \pm 7\text{ V}$.

2. a) Reiknaðu U_{EPS} og U_{NPS} fyrir mynd 10 ef $U_{útmax} = \pm 10\text{V}$

b) Hver er slaufuspenna rásarinnar?

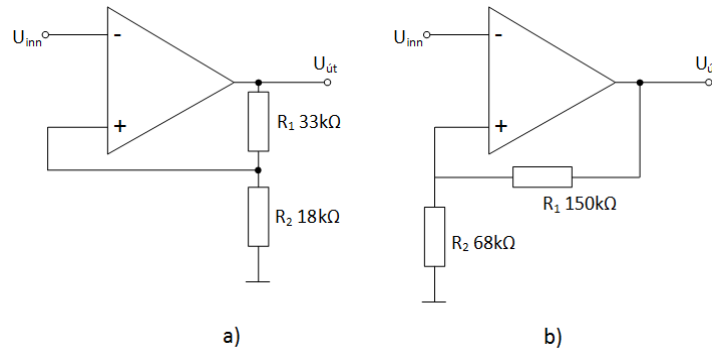


Mynd 10.

Rafeindafræði 18. hefti – Notkun aðgerðarmagnara -

3. Finnið slaufuspennu fyrir samanburðarrásirnar á mynd 11a og 11b ef

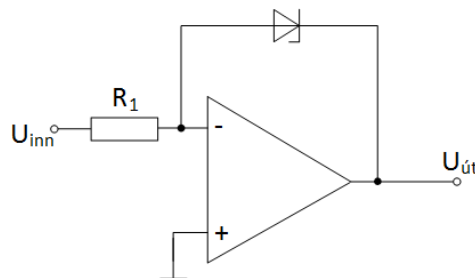
$$U_{\text{útmax}} = \pm 11\text{V}.$$



Mynd 11.

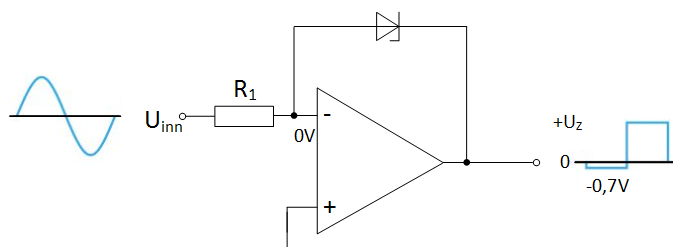
8. Útgangsspennumörk (*Output Bounding*)

Stundum er nauðsynlegt að takmarka útgangsspennu samanburðarrásar þannig að hún sé lægri en mettnarspenna aðgerðamagnarans. Til dæmis má gera þetta með einni zenerdíóðu þannig að útgangsspennan sveiflist milli opnunarspennu hennar í leiðandi- og hindrunarátt eins og sýnt er á mynd 12.



Mynd 12. Samanburðarmagnari með bundinn útgang.

Virgni rásarinnar er á eftirfarandi hátt. Þar sem anóða zenerdíóðunnar er tengd sýndarjörð snúna inngangsins ($- 0\text{V}$) þá opnar zenerdíóðan þegar útgangsspennan nær jákvæðu gildi zenerdíóðunnar eins og sést á mynd 13a.

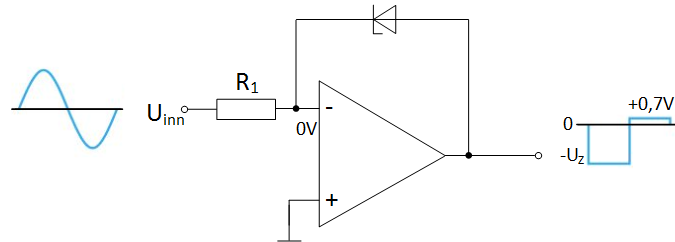


a) Útgangur bundinn jákvæðri spennu.

Mynd 13a. Samanburðarmagnari með útgang bundinn jákvæðri spennu.

Rafeindafræði 18. hefti – Notkun aðgerðarmagnara -

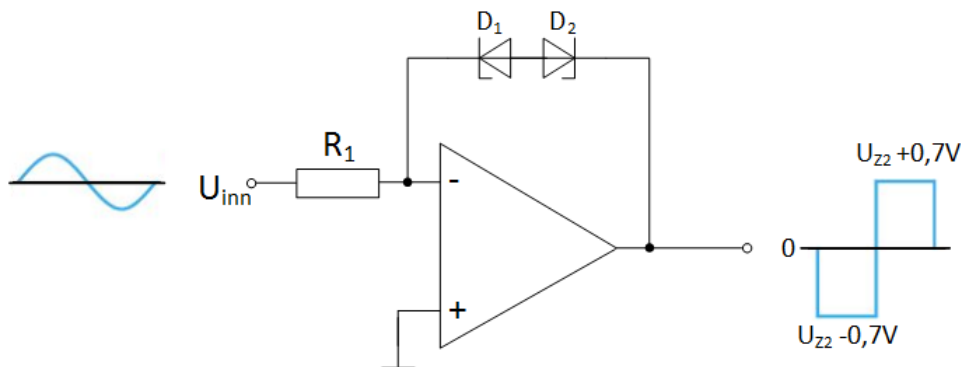
Þegar útgangurinn verður neikvæður virkar zenerdíóðan eins og venjuleg díóða og útgangsspennan verður $0,7V$. Með því að snúa zenerdíóðunni við, fæst ferli eins og sést á mynd 13b.



b) Útgangur bundinn neikvæðri spennu.

Mynd 13b. Samanburðarmagnari með útgang bundinn neikvæðri spennu.

Hægt er að binda útgangsspennu samanburðamagnara í báðar spennuáttir og er það sýnt á mynd 14. Samandurðamagnarar (*Op-amp comparators*) fást í IC húsi t.d. LM307.

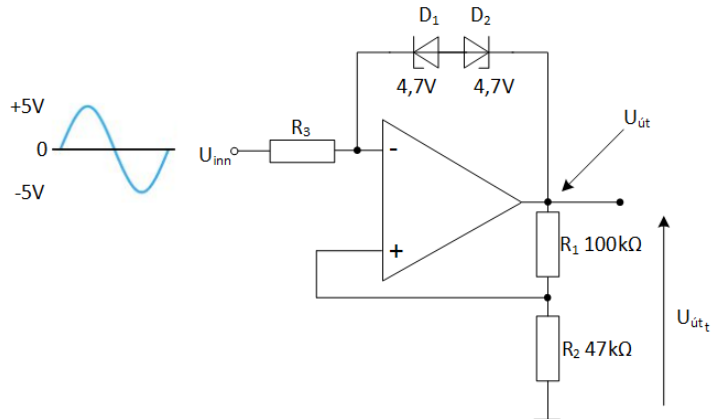


Mynd 14. Samanburðamagnara bundinn í báðar spennuáttir.

Rafeindafræði 18. hefti – Notkun aðgerðarmagnara -

Sýnidæmi:

Hvernig lítur útgangsspennan út fyrir mynd 15.



Mynd 15. Samanburðarás með slaufu og bundna útgangsspennur.

Spennurnar yfir D_1 og D_2 í báðar áttir eru $4,7\text{ V} + 0,7\text{ V} = 5,4\text{ V}$. Þetta stafar af því að þegar önnur er forspennt í hindrunarátt ($4,7\text{ V}$) er hin díóðan forspennt í leiðandi átt ($0,7\text{ V}$). Spennan á snúna inngang aðgerðamagnarans (-) er $U_{út} \pm 5,4\text{ V}$ og vegna sýndarjarðarinnar verður sú spenna einnig á ósnúna (+) inngangi aðgerðamagnarans eða $U_{út} \pm 5,4\text{ V}$. Þess vegna er

$$U_{R1} = U_{út} - (U_{út} \pm 5,4\text{ V}) = \pm 5,4\text{ V} \text{ og } I_{R1} = \frac{U_{R1}}{R_1} = \frac{\pm 5,4\text{ V}}{100\text{ k}\Omega} = \pm 54\mu\text{ A}$$

Þar sem straumar inn í innganga aðgerðamagnara stefna á núll verður

$$I_{R1} = I_{R2} = \pm 54\mu\text{ A}$$

$$U_{R2} = I_{R2} \cdot R_2 = 47\text{ k}\Omega \cdot (\pm)54\mu\text{ A} = \pm 2,54\text{ V}$$

og

$$U_{út_t} = U_{R1} + U_{R2} = \pm 5,4\text{ V} \pm 2,54\text{ V} = \pm 7,94\text{ V}$$

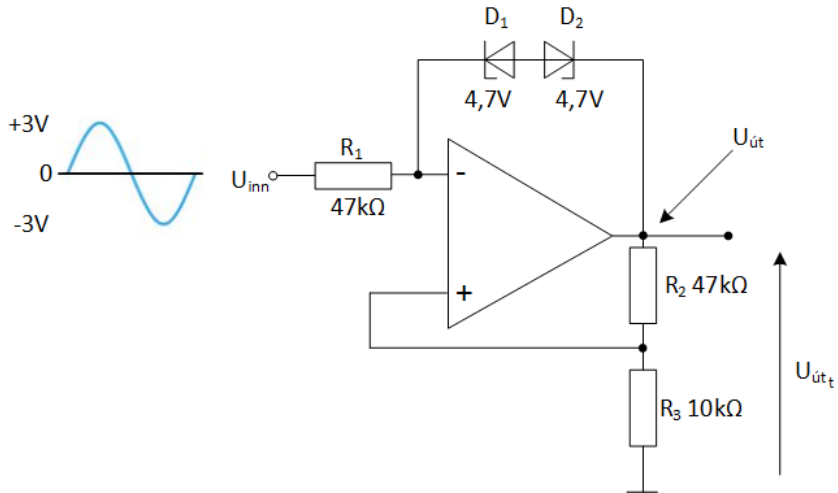
Efri U_{EPS} og neðri U_{NPS} þröskuldspennan fyrir samanburðarásina eru:

Efri þröskuldspennan

$$U_{(EPS)} = \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) \cdot (+U_{út(\max)}) = \left(\frac{27\text{ k}\Omega}{100\text{ k}\Omega + 47\text{ k}\Omega} \right) \cdot (+7,94) = \pm 2,54\text{ V}$$

Rafeindafræði 18. hefti – Notkun aðgerðarmagnara -

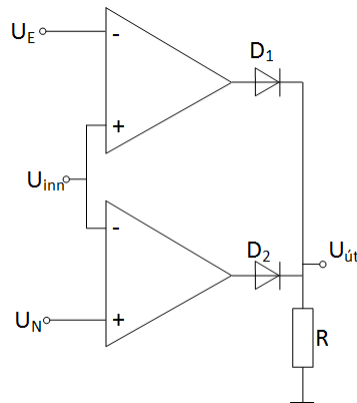
3. Finnið form útbylgjunnar $U_{út_t}$ samkvæmt mynd 18?



Mynd 18.

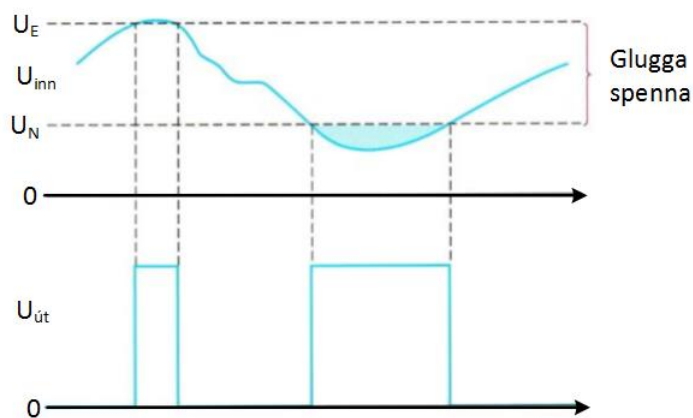
10. Glugga samanburðarás (*Window Comparator*)

Tveir aðgerðarmagnarar tengdir eins og mynd 19 sýnir mynda samanburðarás með glugga (*window comparator*). Þessi rás skynjar inngangsspennu milli einhverra tveggja stærða, efri og neðri spennugilda sem kallaður er stundum gluggi



Mynd 19. Grunngerð glugga samanburðarásar (A basic window comparator).

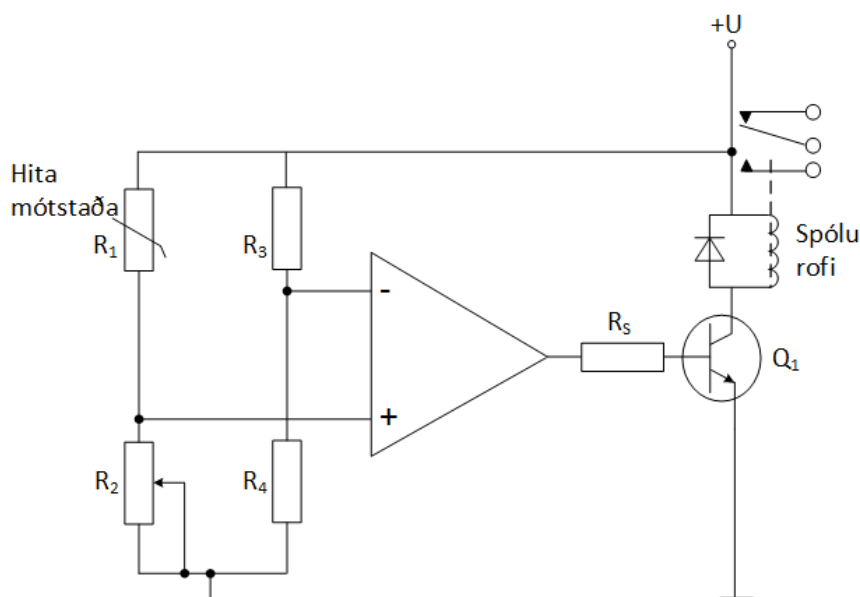
Efri og neðri spennuþrep samanburðarrásarinnar eru fest með spennum í punkta U_E og U_N . Þessar spennur má fá með til dæmis spennudeili. Á meðan að spennan U_{inn} er innan gluggans (hinni en U_E en hærri en U_N) eru útgangsspennur beggja aðgerðarmagnara samanburðarrásarinnar í mínus og díóðurnar D_1 og D_2 lokaðar þannig að spennan $U_{út}$ er 0. Ef spennan U_{inn} verður hærri en U_E eða minni en U_N skiptir útgangur viðkomandi aðgerðarmagnari samanburðarrásarinnar um stöðu og verður með jákvæða spennu þannig að viðkomandi díóða leiðir og spennan $U_{út}$ yfir mótstöðuna verður $+U_{út(max)}$. Þetta er sýnt á mynd 20.



Mynd 20. Virkni gluggaspennu samanburðarásar (*Window comparator*).

11. Yfir hitaskynjun með samanburðarás

Mynd 21 sýnir samanburðarmagnara sem notaður er við á yfirhitun. Rásin samanstendur af *Wheatstone* brú og aðgerðarmagnara sem skynjar jafnvægisástand rásarinnar. Annar helmingur brúarinnar er byggður upp með hitamótstöðu R_1 með neikvæðum hitastuðli (mótstaðan minnkar með auknum hita) og breytimótstöðunni R_2 sem stillir rásina að markhita. Við eðlilegt hitastig, undir markhita, er rásin í neikvæðri metnun ($-U_{\text{út(max)}}$) og transistorinn er lokaður ($U_{\text{BE}} < 0,7\text{V}$).

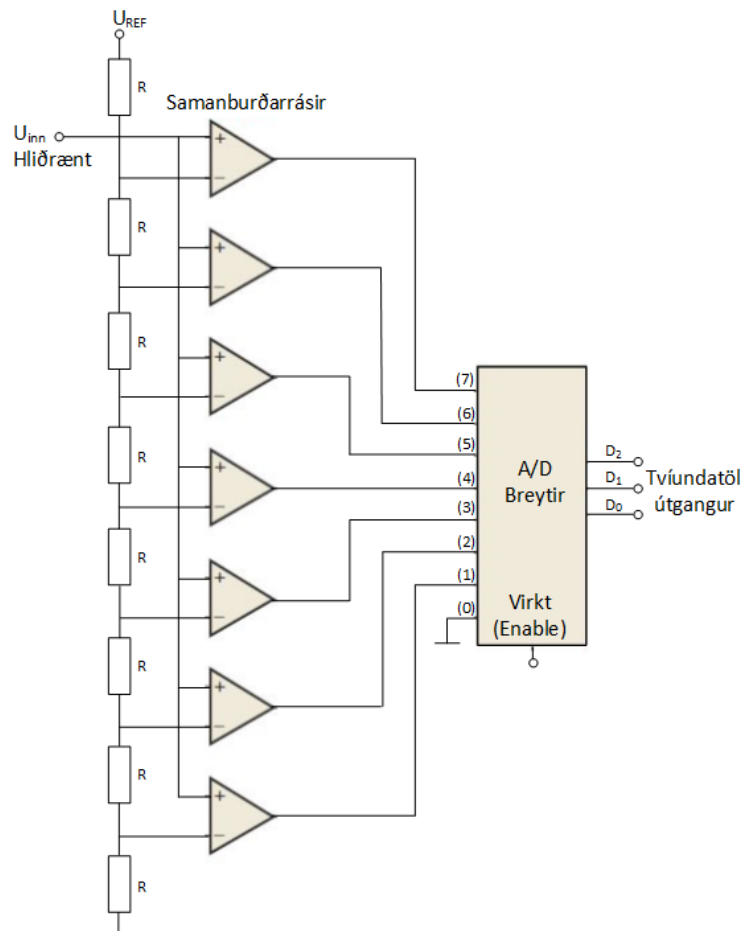


Mynd 21. Yfirhitaskynjari – *Wheatstone* brú.

Þegar hiti eykst minnkar mótstaða hitamótstöðunnar. Við markhita verða mótstöður R_1 og R_2 jafn stórar og rásin nær stöðugleika (*balanced*). Hafa ber í huga að $R_3 = R_4$. Við þessi skilyrði skiptir aðgerðarmagnarinn um stöðu og útspenna hans verður ($+U_{\text{út(max)}}$). Transistorinn opnar ($U_{\text{BE}} > 0,7\text{V}$) og spólurofinn slær til og sendir boð um yfirhitun.

12. Hliðræn – Stafræn umbreyting (A/D – conversion)

A/D breyting er algeng aðferð til að umbreyta hliðrænu merki yfir í stafrænt til að hægt sé að nota það í stafrænum kerfum. Margar aðferðir eru til en hér verður aðeins ein kynnt þar sem samanburðarrásir eru notaðar. Samtíma aðferðin fyrir A/D breytingu notar hliðtengdar samanburðarrásir til að bera saman hliðrænt inngangsmerki við mismunandi viðmiðunarspennur á snúnu inngangana (-) sem búið eru til með spennudeilum. Þegar inngangsspennan nær viðmiðunarspennu viðkomandi samanburðarrásar breytir útgangsspenna rásarinnar um stöð, til dæmis frá $-U_{út(max)}$ í $+U_{út(max)}$. Mynd 22 sýnir tillögu að svona rás sem er hliðrænn – stafrænn breytir (ADC) sem gefur út þiggja stafa tvíundatölur sem tákna gildi inngangsmerkisins. Þessi breytir þarf sjö samanburðarrásir.



Mynd 22. Samtíma (flash) hliðrænn - stafrænn umbreytir (ADC) með aðgerða - magnara sem samanburðarrásir.

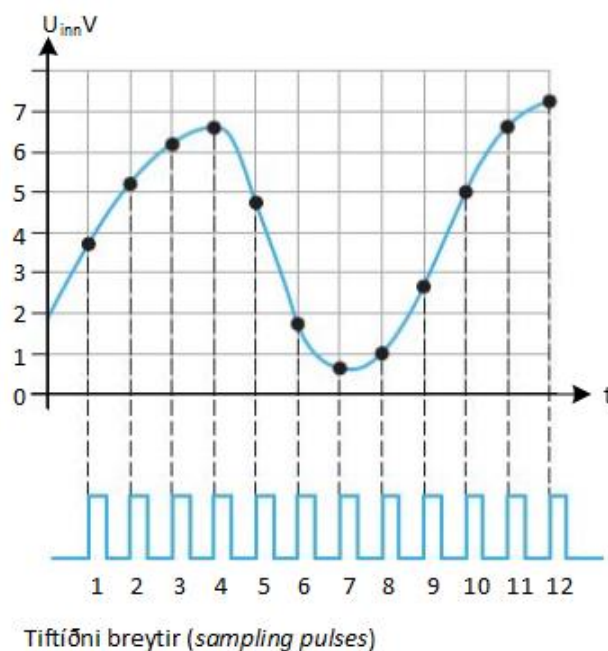
Rafeindafræði 18. hefti – Notkun aðgerðarmagnara -

Aðalkostur samtíma (*flash*) hliðrænn - stafrænn umbreytir (*ADC*) með aðgerða - magnara sem samanburðarásir er hraður skiptitími. Viðmiðunarspenna hvernar samanburðarásar fyrir sig er ákvörðuð af spennudeili og $U_{(REF)}$. Útgangar hvernar samanburðarásar er síðan tengdur við A/D breytinn í forgangsröð (*priority encoder*). A/D breytirinn breytir hæsta inngangsgildi spennu yfir í tvíundatölur. Sjá upplýsingar og sannleikstöflur fyrir A/D breyta.

Breytirinn tekur sýni af inngangsspennunum þegar „enable“ lína rásarinnar er virkjuð með púl. Tvíundatala kemur á útganga rásarinnar í samræmi við styrk spennunnar á þeim tíma. Hversu oft þetta gerist er háð tiftíma/sýnatöku (*sampling*), sem settur er á „enable“ línuna. Hraði sýnatökunnar (*sampling rate*) ákveður nákvæmni röð tvíundartalnanna til að tákna inngangskeril merkisins sem verið er að taka úrtak á.

Sýnidæmi:

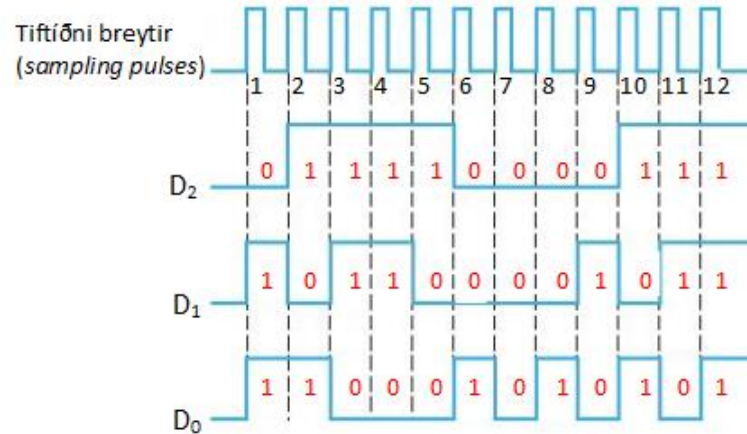
Finnið tvíundatölurnar sem túlka hliðræna inngangsmarkið við sýnatöku sem sýnt er á mynd 22 og mynd 23 og skráið niðurstöðuna á stafrænt form.



Mynd 23. Sýnir sýnatöku á hliðrænt inngangsmarki til breytingar í stafrænt merki.

Rafeindafræði 18. hefti – Notkun aðgerðarmagnara -

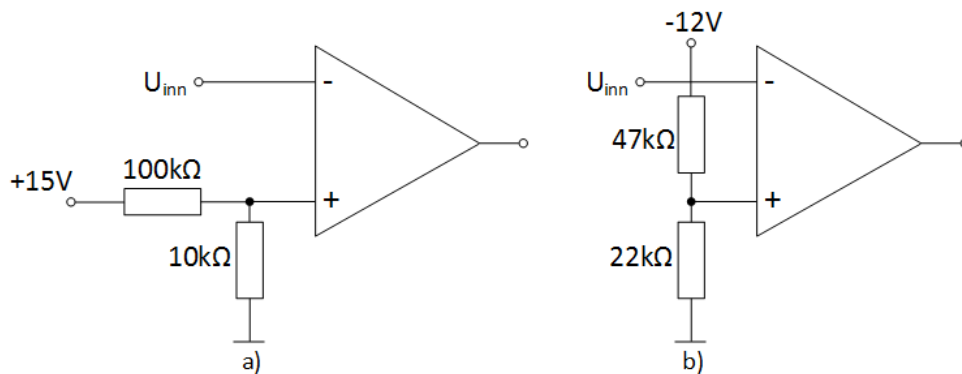
Eftirfarandi tvíundatölur fengust við úrtökin: 011, 101, 110, 110, 100, 001, 000, 001, 010, 101, 110, 111. Niðurstöður eru settar inn í mynd 24.



Mynd 24. Niðurstöður á hliðrænt inngangsmarki yfir í stafrænt merki.

13. Dæmi

1. Hvernig mundi útgangsmarkið líta út ef tiftíðnin er tvöfölduð?
2. Hver er viðmiðunarspennan fyrir samanburðarásina á mynd 25a og 25b.

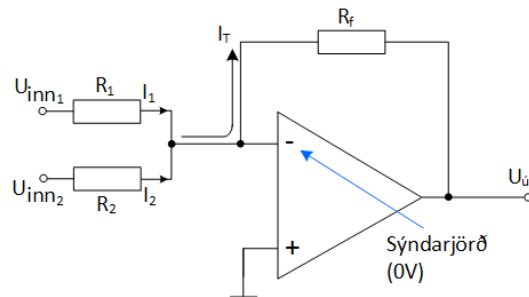


Mynd 25.

3. Hver er tilgangur slaufu (*hysteresis*) í samanburðarásum?
4. Skilgreinið bundin útgangsspenna (*bounding*) í samanburðarásum?

14. Samlagninga magnari (*summing amplifier*)

Samlagningamagnari er afbrigði af snúnum aðgerðarmagnara (*inverting op-amp*) en hefur tvo eða fleiri innganga. Útgangsspenna magnarans er í samræmi við mögnunarstuðla innganganna. Tveggja innganga samlagningamagnari er sýndur á mynd 26.

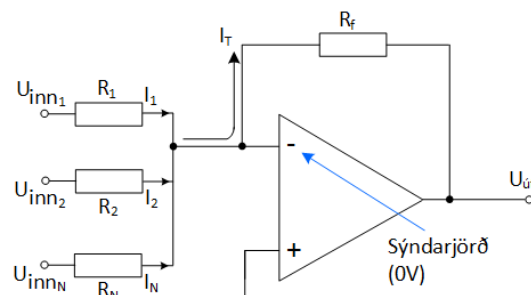


Mynd 26. Tveggja innganga samlagningamagnari.

Virgni rásarinnar er þannig að þegar settar eru spennurnar U_{inn1} og U_{inn2} á inngang aðgerðarmagnarans rennur straumur I_1 og I_2 í mótstöðu R_1 og R_2 og sameinast í einn straum I_T eða $I_T = I_1 + I_2$. Þar sem gert er ráð fyrir að inngangsmótstaða aðgerðarmagnarans sjálfs er óendanlega stór er auðvelt að sjá að heildarstraumurinn I_T fer í gegn um mótstöðuna R_f . Þetta þýðir að útgangsspennan verður

$$U_{út} = -I_T \cdot R_f = -(I_1 + I_2) \cdot R_f = -\left(\frac{R_f}{R_1} \cdot U_{inn1} + \frac{R_f}{R_2} \cdot U_{inn2}\right)$$

Ef inngöngum samlagningamagnara fjölgar eins og mynd 27 sýnir fæst að



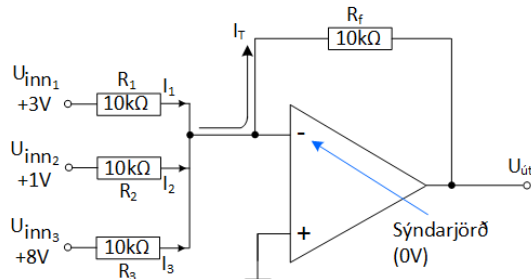
Mynd 27. Samlagningamagnari með N – fjölda innganga.

$$\begin{aligned} U_{út} &= -I_T \cdot R_f = -(I_1 + I_2 + \dots + I_T) \cdot R_f \\ &= -\left(\frac{R_f}{R_1} \cdot U_{inn1} + \frac{R_f}{R_2} \cdot U_{inn2} + \dots + \frac{R_f}{R_N} \cdot U_{innN}\right) \end{aligned}$$

Rafeindafræði 18. hefti – Notkun aðgerðarmagnara -

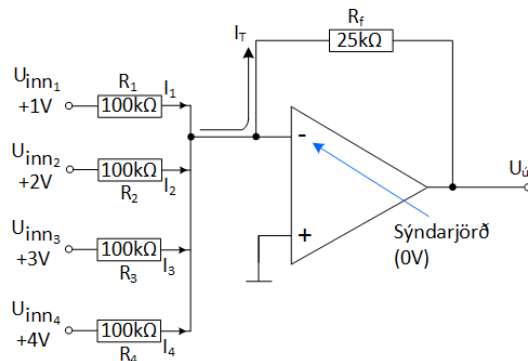
15. Dæmi:

1. Reiknaðu spennuna $U_{\text{út}}$ fyrir mynd 28?



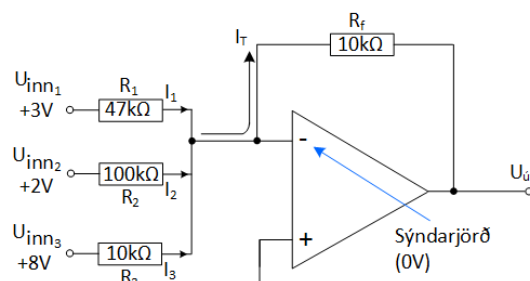
Mynd 28. Samlagningamagnari með þremur inngöngum.

2. Hver er útgangsspennan fyrir samlagningamagnarann sem sýndur er á mynd 29?



Mynd 29. Samlagningamagnari með fjórum inngöngum.

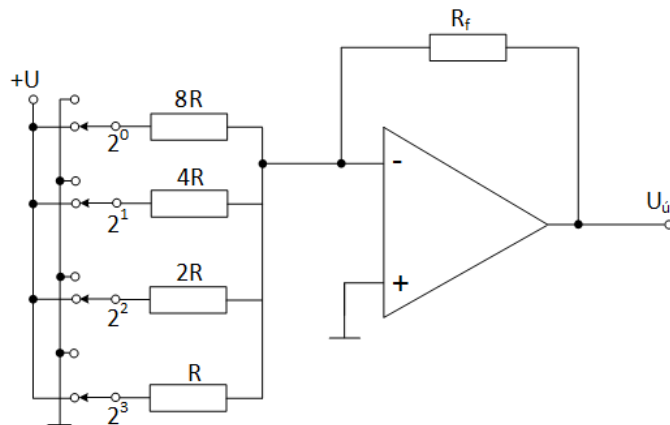
3. Hvaða vægi (mögnun) hefur hver inngangur í samlagningamagnara sem er með þrjá innganga samkvæmt mynd 30? Hver er spennan $U_{\text{út}}$?



Mynd 30. Samlagningamagnari með þremur inngöngum.

16. Samlagningamagnari sem breytir stafrænu merki í hliðrænt (*Digital-to-Analog (D/A) Conversion*)

Mikilvægt er að geta breytt stafrænu merki yfir í hliðrænt. Sem dæmi tónar sem þarf að geymda á stafrænu formi. Einn möguleiki til að gera þetta er með samlagningamagnara og er sú rás sýnd á mynd 31. Rásin tekur fjögurra stafa tvíundatölu og skilar henni á samsvarandi spennugildi á útgang rásarinnar.

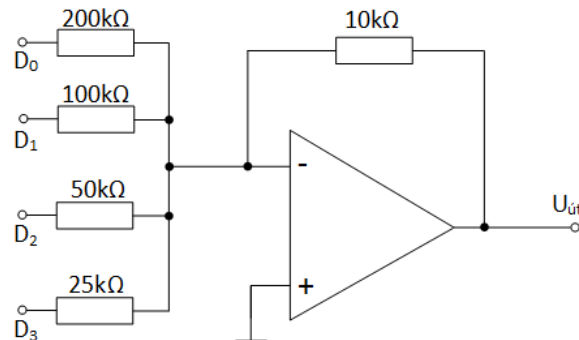


Mynd 31. Stafræn yfir í hliðræna breytingu með summumagnara (DAC).

Rofarnir á myndinni eru til að mynda tvíundatölur á innganga rásarinnar. Snúni inngangur (-) tengist sýndarjörð þannig að útgangsspennan verður í réttu hlutfalli við strauminn í afturvirknimótstöðunni R_f . Mest marktækasta tvíundatalan er á innganginn merktan (2^3) við mótstöðuna R en allir aðrir inngangar eru margfeldi af R eins og sést á mynd 31.

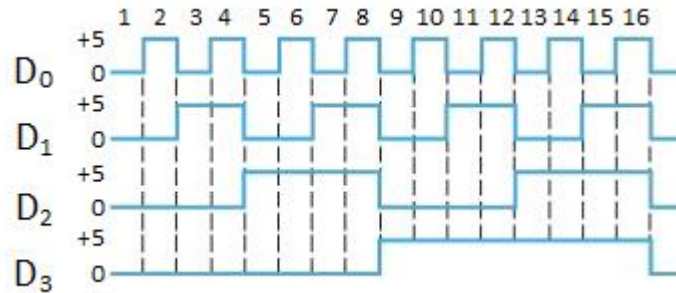
Sýnidæmi:

Finnið hvernig útgangsspennan breytist fyrir rásina (DAC) á mynd 32a ef hún fær stafrænt inngangsmerki eins og sýnt er á mynd 32b.



Mynd 32a. Stafræn/Hliðræn tenging.

Rafeindafræði 18. hefti – Notkun aðgerðarmagnara -



Mynd 32b. Stafræn/Hliðræn inngangsmarki.

Skoðum útgangsspennu fyrir hvern útgang fyrir sig og gerum ráð fyrir því að snúni inngangurinn er á sýndarjörð (0V).

$$I_0 = \frac{5V}{200k\Omega} = -0,025mA \Rightarrow U_{út(D_0)} = R_f \cdot (-)I_0 = 10k\Omega \cdot (-)0,025mA = -0,25V$$

$$I_1 = \frac{5V}{100k\Omega} = -0,05mA \Rightarrow U_{út(D_1)} = R_f \cdot (-)I_1 = 10k\Omega \cdot (-)0,05mA = -0,5V$$

$$I_2 = \frac{5V}{50k\Omega} = -0,1mA \Rightarrow U_{út(D_2)} = R_f \cdot (-)I_2 = 10k\Omega \cdot (-)0,1mA = -1V$$

$$I_3 = \frac{5V}{25k\Omega} = -0,2mA \Rightarrow U_{út(D_3)} = R_f \cdot (-)I_3 = 10k\Omega \cdot (-)0,2mA = -2V$$

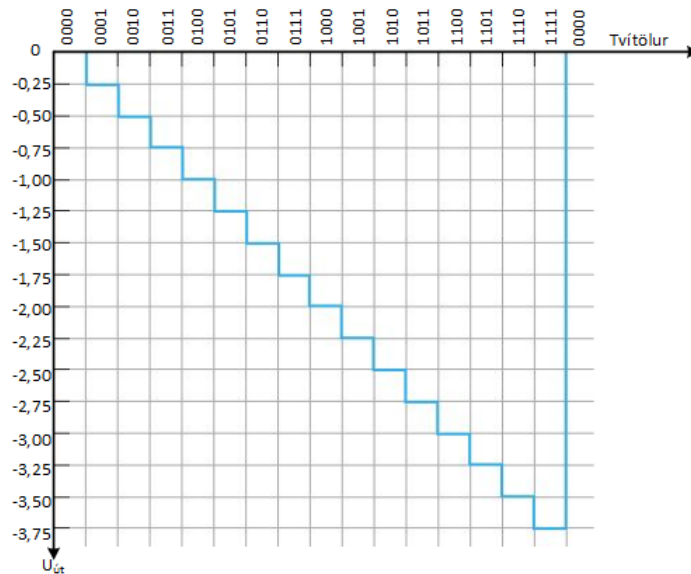
Út frá mynd 27b sést að fyrsta stafræna úrtakstalan er 0001 ($D_3D_2D_1D_0$). Fyrir þetta gildi er útgangsspennan -0,25V.

Næsta stafræna úrtakstala er 0010 ($D_3D_2D_1D_0$). Fyrir þetta gildi er útgangsspennan -0,5V.

Síðan kemur stafræna úrtakstala er 0011 ($D_3D_2D_1D_0$) sem gefur útgangsspennuna $(-0,25V + (-)0,5V) = -0,75V$.

Á mynd 33 er niðurstaða útgangsspennunnar sýnd. Ef úrtaksþrepín eru nægjanlega lítil myndum við beina línu.

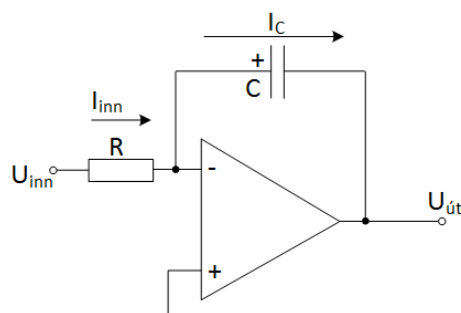
Rafeindafræði 18. hefti – Notkun aðgerðarmagnara -



Mynd 33. Stafræn/Hliðræn útgangsspenna

17. Tegur- og diffurmagnari (*Integrator og differentor*)

Aðgerðamagnari getur hermt eftir tegrun sem er samlagningaaðferð sem ákvarðar heildarflatarmál undir ferli sem skilgreind er með stærðfræðijöfnu. Diffurmagnari hermí eftir stöðugri hlutfallsbreytingu í stærðfræðilegrar jöfnu. Gruntenging tegurmagnara er sýnd á mynd 34. Taktu eftir því að afturvirka rásin er þéttir en ekki mótstaða.



Mynd 34. Tegurmagnari.

Til að átta sig á hvernig tegurmagnari vinnur rifjum við upp hvernig þéttir hleðst upp.

Rafeindafræði 18. hefti – Notkun aðgerðarmagnara -

Hleðsla þéttisins Q er í réttu hlutfalli við strauminn I_C sem rennur að honum og tíman t sem straumurinn rennur. Einnig hleðslan Q í réttu hlutfalli við ásetta spennu U_C og stærð þéttarins eða

$$Q = I_C \cdot t = C \cdot U_C$$

Með hjálp þessara fullyrðinga verður spenna þéttisins á hverjum tíma

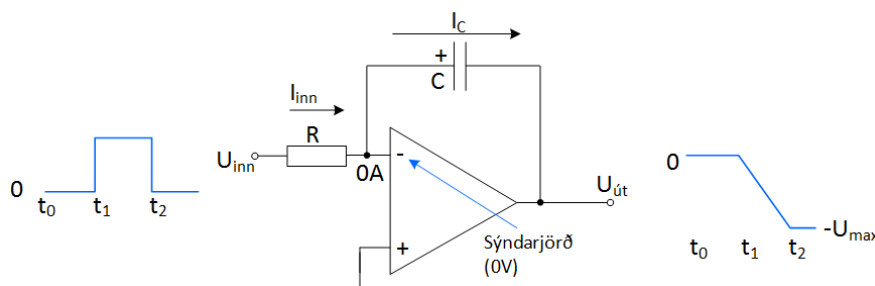
$$U_C = \left(\frac{I_C}{C}\right) \cdot t = m \cdot t$$

Ef sett er upp spennutímalínurit fæst bein lína, sem uppfyllir skilyrði stærðfræðinnar að $y = mx + b$ og ferill beinu línunnar fer í gegn um $0, 0$ með $m = \frac{I_C}{C}$ sem hallastuðul. Munum að þéttir hleðst upp veldislega (*exponential*), hratt fyrst en hleðslan minnkar með tíma. Á mynd 34 er snúni inngangur aðgerðarmagnarans við sýndarjörð ($0V$) þannig að spennufallið yfir mótstöðuna R verður U_{inn} og straumurinn I_{inn} verður þá

$$I_{inn} = \frac{U_{inn}}{R} \text{ þar sem } I_{inn} = I_C \text{ verður}$$

$$U_C = -U_{út} = \left(\frac{I_C}{C}\right) \cdot t = \left(\frac{U_{inn}}{R \cdot C}\right) \cdot t$$

Sýnidæmi:



Mynd 35. Tegurmagnari.

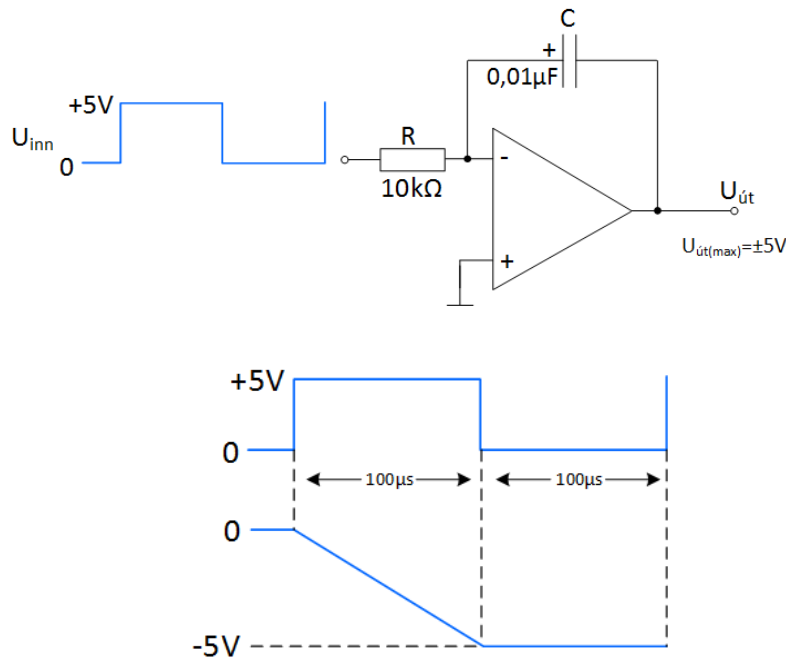
Ef sett er kassabylgja á inngang á tegurmagnara er niðurstaðan sú að spennan út fellur samkvæmt ferlinum eins og sést á mynd 35.

$$-U_{út} = \left(\frac{U_{inn}}{R \cdot C}\right) \cdot t$$

Rafeindafræði 18. hefti – Notkun aðgerðarmagnara -

Sýnidæmi:

Finndu hraðabreytingu og teiknaðu feril útgangsspennunnar fyrir eina kassabylgju samkvæmt mynd 36.



Mynd 36. Tegurmagnari.

$$U_{\text{út}} = -\left(\frac{U_{\text{inn}}}{R \cdot C}\right) \cdot t = -\left(\frac{5}{10\text{k}\Omega \cdot 0,01\mu\text{F}}\right) \cdot 100\mu\text{s} = -5\text{V}$$

Hraðabreytingin er

$$-\Delta U_{\text{út}} = \left(\frac{U_{\text{inn}}}{R \cdot C}\right) \cdot \Delta t \Rightarrow \frac{\Delta U_{\text{út}}}{\Delta t} = -\left(\frac{U_{\text{inn}}}{R \cdot C}\right) = -\left(\frac{5}{10\text{k}\Omega \cdot 0,1\mu\text{F}}\right) = -50 \frac{\text{mV}}{\mu\text{s}}$$

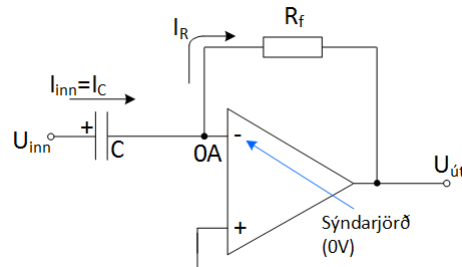
Til að teikna ferilinn þarf að finna hve langan tíma það tekur magnarann að ná $U_{\text{út}}$

$$\tau(\text{sec}) = t(\text{sec}) = R \cdot C = 10\text{k}\Omega \cdot 0,01\mu\text{s} = 100\mu\text{s}$$

Sjá niðurstöður á mynd 36.

Rafeindafræði 18. hefti – Notkun aðgerðarmagnara -

Grunntenging diffurmagnara er sýnt á mynd 37. Mismunur diffurmagnara og tegurmagnara er að nú er þéttirinn sem inngangsihlutur fyrir aðgerðarmagnarann en mótstaðan virkar á afturvirknina.



Mynd 37. Diffurmagnari.

Magnarinn virkar þannig að straumurinn

$$I_C = I_{inn} \text{ og } U_{inn} = U_C \text{ og } I_C = \left(\frac{U_C}{t}\right) \cdot C \Rightarrow$$

$$I_C = I_{inn} = \left(\frac{U_C}{t}\right) \cdot C = \left(\frac{U_{inn}}{t}\right) \cdot C$$

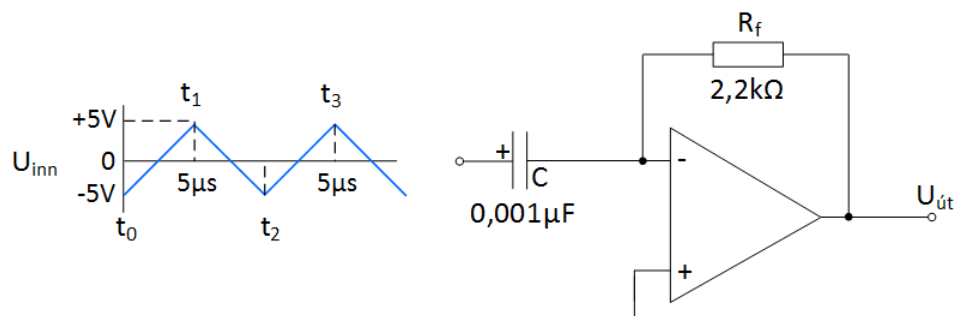
Einnig er $I_R = I_C$ þar sem gert er ráð fyrir að enginn straumur rennur inn í aðgerðarmagnarann. Þetta þýðir að spennan $U_{út}$ verður

$$U_{út} = -I_R \cdot R_f = -\left(\frac{U_C}{t}\right) \cdot C \cdot R_f = -\left(\frac{U_{inn}}{t}\right) \cdot C \cdot R_f$$

Þar sem $\left(\frac{U_{inn}}{t}\right)$ er hallatala inngangsspennunnar á hverjum tíma.

Sýnidæmi:

Teiknið upp útgangsspennu diffurmagnara ef inngangsspennan er eins og sýnt er á mynd 38.



Mynd 38. Diffurmagnari með spennusagtönn á sem inngangspennu.

Rafeindafræði 18. hefti – Notkun aðgerðarmagnara -

Fyrst þarf að finna hallatölur inngangsferilsins. Það sést að það koma fram tvær hallatölur. Önnur sem er jákvæð en hin neikvæð. Þær eru fundnar á eftirfarandi hátt

$$\text{Hallatalan } \frac{U_{inn}}{t} \text{ frá } t_0 \text{ að } t_1 \text{ er } \frac{U_{inn(t_1)} - U_{inn(t_0)}}{t_1 - t_0} = \frac{5V - (-)5V}{5\mu S - 0} = 2 \left[\frac{V}{\mu S} \right]$$

$$\text{Hallatalan } \frac{U_{inn}}{t} \text{ frá } t_1 \text{ að } t_2 \text{ er } \frac{U_{inn(t_2)} - U_{inn(t_1)}}{t_2 - t_1} = \frac{(-)5V - 5V}{5\mu S - 0} = -2 \left[\frac{V}{\mu S} \right]$$

$$\text{Hallatalan } \frac{U_{inn}}{t} \text{ frá } t_2 \text{ að } t_3 \text{ er } \frac{U_{inn(t_3)} - U_{inn(t_2)}}{t_3 - t_2} = \frac{5V - (-)5V}{5\mu S - 0} = 2 \left[\frac{V}{\mu S} \right]$$

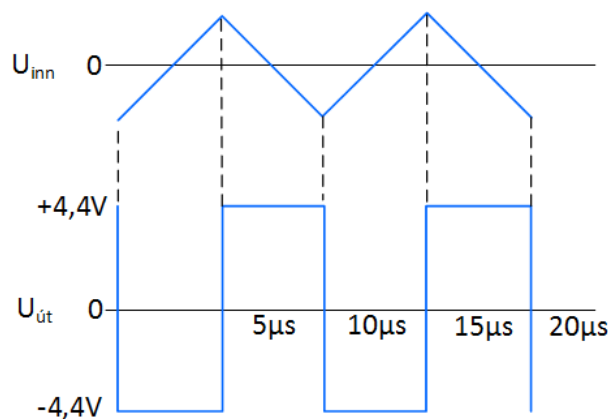
Útgangsspennan fyrir tímenn t_0 til t_1 og tímenn t_2 til t_3 finnst síðan sem

$$U_{út} = - \left(\frac{U_{inn}}{t} \right) \cdot C \cdot R_f = -2 \left(\frac{V}{\mu S} \right) \cdot 0,001\mu F \cdot 2,2k\Omega = -4,4V$$

Útgangsspennan fyrir tímenn t_1 til t_2

$$U_{út} = - \left(\frac{U_{inn}}{t} \right) \cdot C \cdot R_f = -(-2) \left(\frac{V}{\mu S} \right) \cdot 0,001\mu F \cdot 2,2k\Omega = 4,4V$$

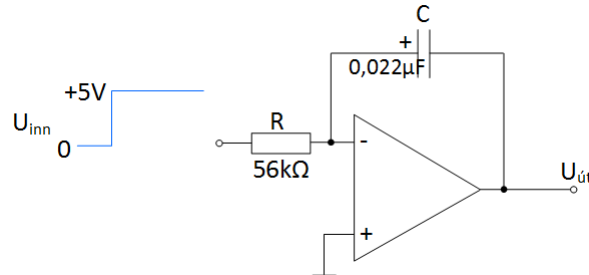
Mynd 39 sýnir niðurstöðu útgangsspennunnar



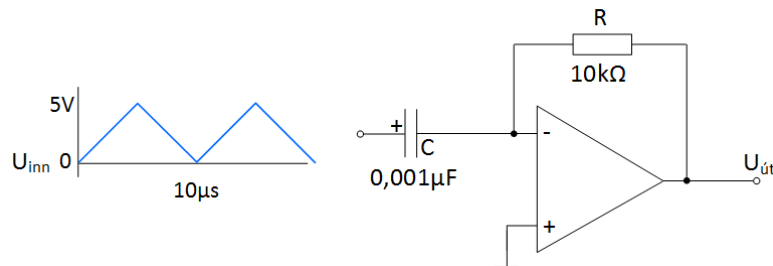
Mynd 39.

18. Dæmi

1. Hver er hraðabreyting magnarans á mynd 40?



2. Ákvarðið útspennuna fyrir mynd 41 og skissið útmyndina.



Mynd 41.

19. Svör
4. Dæmi bls. 6

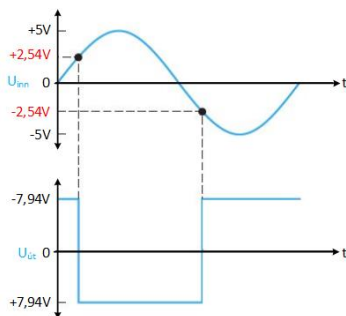
1. 0,65V
2. a) -12V
b) +12V
c) -12V

7. Dæmi bls. 9

1. $U_{(EPS)} = \left(\frac{82k}{68k+82k}\right)(+7) = 3,83V$
 $U_{(EPS)} = \left(\frac{82k}{68k+82k}\right)(-7) = -3,83V$
- 2.a. $U_{EPS} = 2,77V$ $U_{NPS} = -2,77V$
b. 5,54V
3. a. 7,76V
b. 6,86V

9. Dæmi bls. 13

1. +1,82V -1,82V
2. $+U_{út} = 0,7V$; $-U_{út} = 6,2V$
- 3.


13. Dæmi bls. 18

1. óbreytt
- 2.a. 1,36V b.3,83V
3. Til að fyrirbyggja ótímabæra breytingu á út-merki samanburðarrásar vegna truflana.
4. Notað til að takmarka útspennu samanburðarrása þannig að hún fari ekki í metnun.

Rafeindafræði 18. hefti – Notkun aðgerðarmagnara -

15. Dæmi bls. 20

1. $U_{út} = -12V$

2. $U_{út} = -2,5V$

3. Vægið er fyrir $U_{inn_1} = 0,213$; $U_{inn_2} 0,1$; $U_{inn_3} = 1$; $U_{út} = -8,48V$

18. Dæmi bls. 28

1. $-4,04V/ms$

2. $U_{út_{t_1-t_0}} = -10V$

$U_{út_{t_2-t_0}} = +10V$

