Mælitækni I:

Merkjagjafar

Kafli 10

Jón Tómas Guðmundsson

tumi@hi.is

25. október 1999

Heimildir

- David A. Bell, *Electronic Instrumentation and Measurements*, 2 ed., Prentice Hall, 1994, kafli 11
- Joseph J. Carr, *Elements of Electronic Instrumentation and Measurement*, Prentice Hall, 1996, kafli 9

Inngangur

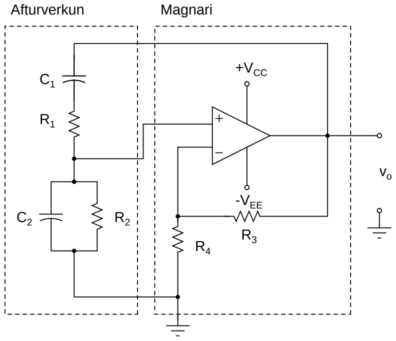
- Merkjagjafar eru tæki sem gefa út bylgjuform eða merki, sem nota má til prófunar, stillinga eða mælinga á öðrum rásum og tækjum
- Merkjagjöfum má skipta í fimm hópa:
  - Lágtíðni sínusgjafa
  - rf sínusgjafa
  - fallagjörvill (e. function generator)
  - púlsagjafa
  - sveiptíðnigjafa

Lágtíðni-sínus-sveiflugjafi

- Lágtíðni-sínus-sveiflugjafi samanstendur gjarnan af sínussveiflugjafa og rás sem breytir sínusbylgju í kassabylgju
- Wein brúarsveiflugjafinn er sínussveiflugjafi sem er tiltölulega stöðugur í tíðni og útslagi
- Þeir vinna á tíðnibilinu 10 Hz – 100 kHz og spennusviðið liggur milli 0 – 10 V
- Wein brúin er ac brú þar sem jafnvægi næst aðeins við tiltekna tíðni. Tíðnin ákvarðast af stærðum viðnáma og þétta í rásinni
- Þegar Wein brú er notuð sem sveiflugjafi myndar hún afturverkunarrás milli útgangs og inngangs magnara

Wein sveiflugjafi

- Aðgerðamagnarinn, ásamt með viðnámunum R_3 og R_4 mynda magnara
- Bútarnir R_1, R_2, C_1 og C_2 mynda afturverkunarrás



Greining á rásinni sýnir að jafnvægi er þegar

$$\frac{R_3}{R_4} = \frac{R_1}{R_2} + \frac{C_2}{C_1}$$

og

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_1 C_1 R_2 C_2}}$$

Wein sveiflugjafi

- Ef $R_1 = R_2 = R$ og $C_1 = C_2 = C$ þá er

  $$R_3 = 2R_4$$

  og

  $$f = \frac{1}{2\pi CR}$$

- Þegar brúin er í jafnvægi er inngangsspenna magnarans (spennan yfir R_2 og C_2) í fasa við útspennuna v_o
- Við allar aðrar tíðnir er brúin í ójafnvægi
- Spennumögnun magnarans er

  $$A_v = \frac{R_3 + R_4}{R_4}$$

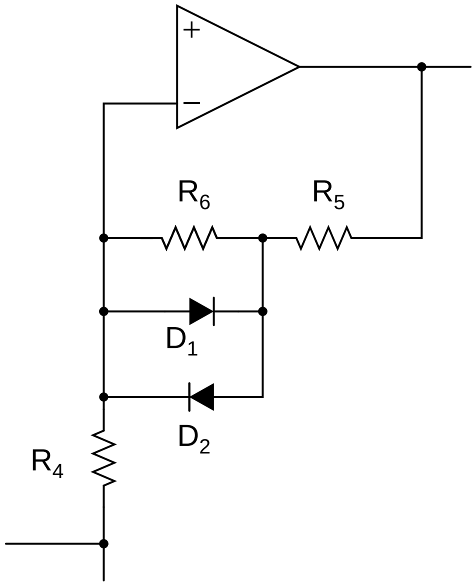
  svo ef $R_3 = 2R_4$ þá er $A_v = 3$.

Wein sveiflugjafi

- Í raun þarf mögnun magnarans að vera stærri en 3 til að viðhalda sveiflum
- Útslag útmerkisins hefur tilhneygingu til að hækka þar til fæðispennugildi spennugjafans $+V_{\mathrm{CC}}$ og $-V_{\mathrm{EE}}$ er náð. Þessi spennugildi geta innleitt bjögun í merkið.
- Rásin hér að neðan er dæmi um aðferð sem er notuð til að tryggja stöðugt útslag frá Wein sveiflugjafa

Wein sveiflugjafi

- Til að forðast þetta vandamál er viðnáminu R_3 gjarnan skipt upp í tvo búta, viðnámin R_6 og R_5 og tvista D_1 og D_2, sem eru tengdir samsíða R_6



Wein sveiflugjafi

- Þegar útslag útgangs er lítið, er spennufallið yfir R_6 ekki nægjanlegt til að framspenna tvistana. Þá er mögnunin

$$A_V = \frac{R_4 + R_5 + R_6}{R_4}$$

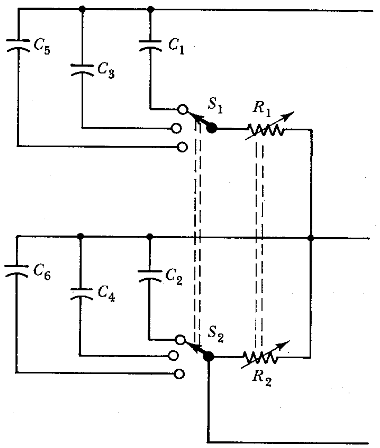
- Þegar útslagið er nægjanlegt til að framspenna tvistana er skammhlaup yfir R_6 og mögnunin

$$A_V = \frac{R_4 + R_5}{R_4}$$

- Viðnámin eru valin þannig að $(R_4 + R_5)/R_4 < 3$
- Þetta þýðir að sveiflum með lítið útslag er viðhaldið en þær sem hafa hærra útslag deyja út

$\Longrightarrow$ Dæmi 10.1.

Wein sveiflugjafi



- Við sjáum að samkvæmt

$$f = \frac{1}{2\pi RC}$$

  má breyta tíðninni með því að breyta stærðunum C og/eða R

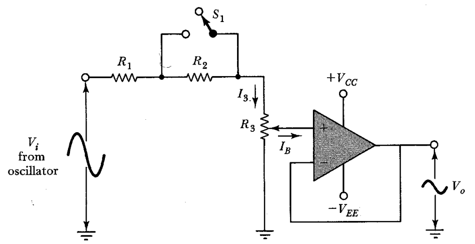
- Það verður að stilla R_1 og R_2 samtímis til að breyta R og C_1 og C_2 til að breyta C

Wein sveiflugjafi

- Þetta er gjarnan gert með því að breyta C_1 og C_2 milli nokkurra staðlaðra þétta. Þéttarnir svara þá til tíðnisviðs

- Viðnáminu er síðan breytt með samfelldum stilliviðnámum og gefa því samfellda breytingu í tíðni

Wein sveiflugjafi

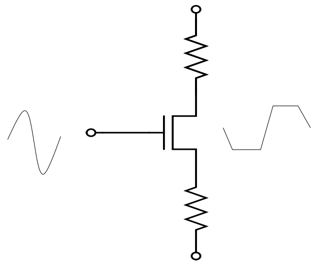


- Útslagi frá sveiflugjafanum má breyta með einföldum spennudeili og deyfilið
- Spennusviðinu er breytt með því að skammhleypa viðnáminu R_2 með rofanum S_1
- Aðgerðamagnarinn tryggir lágt útgangsviðnám

$\Longrightarrow$ Dæmi 10.2.

Wein sveiflugjafi

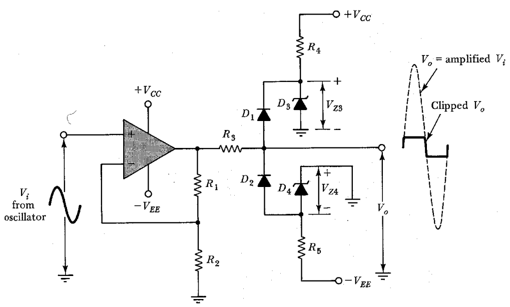
- Framkalla má kassabylgju með því að klippa sínuslaga bylgjuform
- Einfaldasta rásin til slíkrar klippingar er sýnd hér að neðan



- Notaður er magnari sem er drifinn með lágri spennu og því aðvelt að metta
- Sínusbylgjan sem lögð er á gáttina hefur hátt útslag þannig að útmerkið er klippt
- Ristími kassabylgjunnar er tiltölulega langur ef þessari aðferð er beitt

Wein sveiflugjafi

- Betri er aðferðin hér að neðan



- Tvistarnir D_1 og D_2 ásamt zener tvistunum D_3 og D_4 og tilheyrandi viðnámum mynda klippirásina
- Þegar útgangur magnarans er jákvæður er D_1 framspennt og kemur í veg fyrir að útgangsspennan verði hærri en $V_{\mathrm{z}3} + V_{\mathrm{D}_1}$
- Á sama hátt ef útgangur er neikvæður er D_2 framspennt og útgangur fer ekki neðar en $-V_{\mathrm{z}4} + V_{\mathrm{D}_2}$

Wein sveiflugjafi

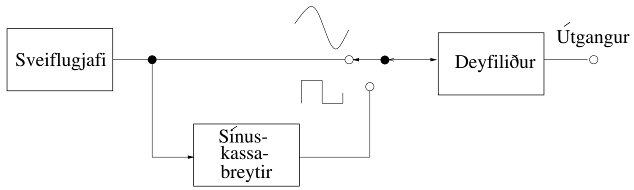
- Mögnun er fengin með magnarnum og bylgjan er klippt við $+(V_{\mathrm{z}3} + V_{\mathrm{D}_1})$ og - $V_{\mathrm{z}4} + V_{\mathrm{D}_2}$
- Kassabylgja myndast með

$$v_0 = \pm(V_{\mathrm{z}} + V_{\mathrm{D}})$$

- Ef $V_{z3} = V_{z4} = 6.3$ V og D_1 og D_2 eru kísildíóður með spennufall í framstefnu 0.7 V þá er klippt við ± 7 V

Lágtíðni-sínus-sveiflugjafi

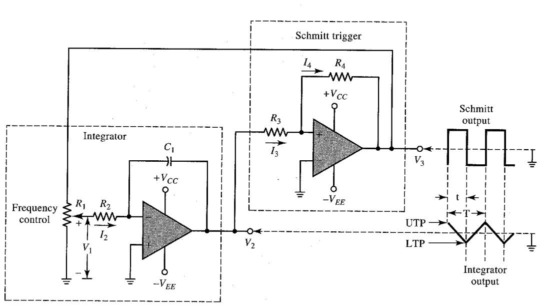
- Lágtíðni-sínus-sveiflugjafi samanstendur gjarnan af sínussveiflugjafa og rás sem breytir sínusbylgju í kassabylgju
- Þá fylgir gjarnan deyfiliður



Fallagjörvill

- Fallagjörvill framleiðir:
  - Sínusbylgju
  - Kassabylgju
  - Þríhyrningsbylgju
- Tíðni, útlslag og dc hliðrun útmerkis má stilla
- Sömu aðferð og áður má beita til að framkalla sínus- og kassabylgjur
- Til að framkalla þríhyrningsbylgju er síðan notuð tegurrás og Schmitt gikkur

Fallagjörvill



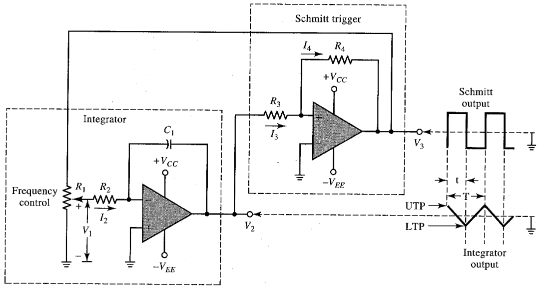
- Þegar innspenna Schmitt gikksins hækkar í efri gikk spennu (UTP) hækkar útgangur frá lægsta neikvæða gildi í hæsta jákvæða gildi
- Á sama hátt þegar inngangurinn lækkar í lægri gikkspennu (LTP) þá fellur útspennan í lægsta neikvæða gildi

Fallagjörvill

- Rifjum upp að mögnun aðgerðamagnarans er aðeins 200000
- Lítinn spennumun þarf á inngöngum aðgerðamagnarans til að koma magnaranum í mettun, hvort heldur sem er, neikvæða eða jákvæða spennu
- Ef V_{CC} og V_{EE} eru $\pm$ 15 V þá er útgangsspenna magnarans $\pm$ 14 V
- Minnsti spennumunur milli jákvæðs og neikvæðs inngangs aðgerðamagnara til að framkalla mettun í útmerki er

$$V_i = \frac{14\ \mathrm{V}}{200000} = 70\ \mu\mathrm{V}$$

Fallagjörvill



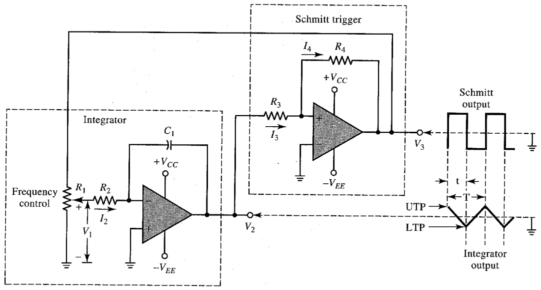
- Þegar C_1 er óhlaðinn virkar tegurrásin eins spennueltir (e. voltage follower). Þá eru allar tengingar aðgerðamagnarans við jörð
- Gerum nú ráð fyrir jákvæðri spennu ($+V_1$), sem lögð er á R_2. Vinstri hlið R_2 er við $+V_1$ en hægri hlið er við jörð.
- Spennan V_1 fellur öll yfir R_2 og fastur straumur I_2 fer um R_2,

$$I_2 = \frac{V_1}{R_2}$$

Fallagjörvill

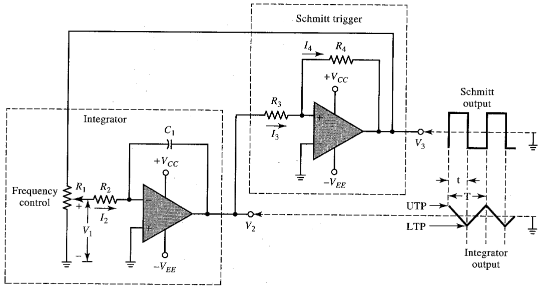
- Nær allur straumurinn fer um C_1, sem hleðst upp, $+$ vinstra megin og - hægra megin
- Þegar C_1 hleðst upp hækkar spennan yfir hann línulega, og þar sem vinstri hlið hans er upphaflega við jörð, fellur útspenna aðgerðamagnarans línulega frá jörð
- Þegar pólun V_1 er snúið, snýr straumurinn I_2 í gagnstæða stefnu og C_1 hleðst upp með gagnstæðri pólun. Útspenna tegurrásarinnar, V_2, fer þá hækkandi.
- Við sjáum að inngangsspenna tegurrásarinnar er fengin frá útgangi Schmitt gikksins
- Útspenna tegurrásarinnar er síðan fædd inn á inngang Schmitt gikksins

Fallagjörvill



- V_1 er jákvæð þegar útspenna Schmitt gikksins (V_3) er jákvæð og þá hleður straumurinn I_2 upp þéttinn C_1 þannig að útspennan frá tegurrásinn lækkar frá jörð
- Þegar V_2 nær lægri gikkspennu (LTP) Schmitt gikksins skiptir hann snöggt í neikvæða mettun
- Ferlið er síendurtekið og tegurrásin skilar út þríhyrningsbylgju og Schmitt gikkurinn kassabylgju

Fallagjörvill



- Tíðni bylgjuformsins ákvarðast af tímanum sem það tekur C_1 að hlaðast upp frá lægri gikkspennu (LTP) upp í hærri gikkspennu (UTP)
- Um þétti sem hleðst línulega gildir

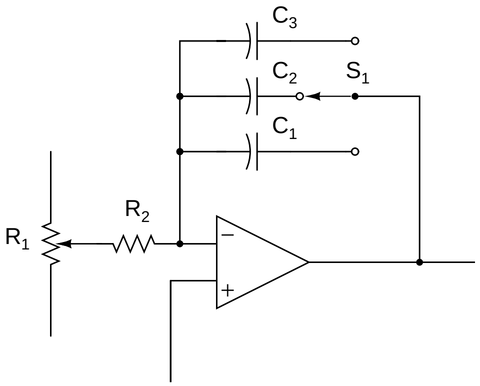
$$C = \frac{It}{\Delta V}$$

eða

$$t = \frac{C\Delta V}{I}$$

þar sem $\Delta V = \text{UTP} - \text{LTP}$

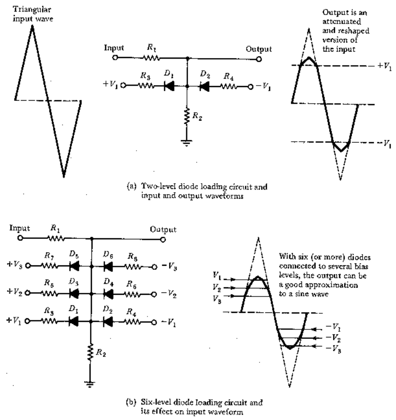
Fallagjörvill



- Tíðni útmerkis sveiflugjafans er stýrt samfellt með stilliviðnáminu R_1, og tíðnisviðið er ákvarðað með því að stilla á milli þétta

Fallagjörvill

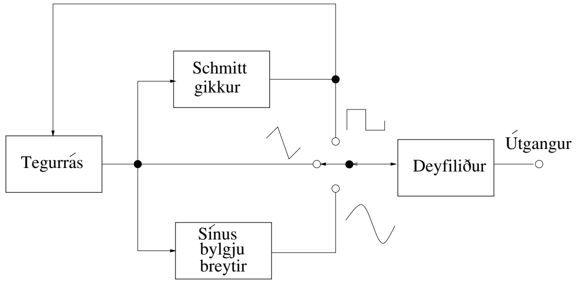
- Þríhyrningsbylgju má breyta í nálgun á sínusbylgju með tvistum og viðnámum



- Við lága spennu ræðst útspennan af spennudeilingu á milli R_1 og R_2
- Við hærri spennu framspennast tvistarnir D_1 og D_2 og R_3 eða R_4 tengjast samsíða R_2 og veldur frekari deyfingu
- Með fleiri tvistum, og viðnámum má nálga sínsubylgju betur

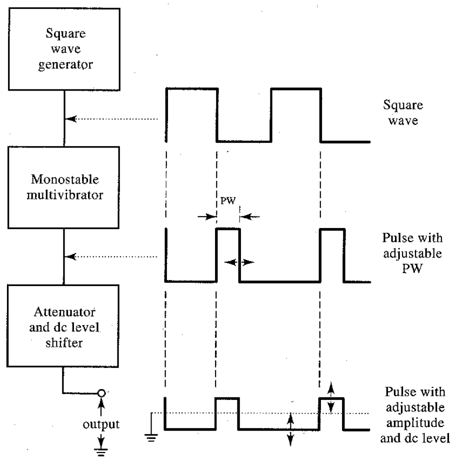
Fallagjörvill

- Fallagjörvlar vinna gjarnan á tíðnisviðinu frá 0.2 Hz upp í 2 MHz og útspenna liggur á bilinu 0 – 20 V og er útgangsviðnámið oft 50 Ω
- Með rofa er valið á milli sínus-, kassa- eða þríhyrningsbylgju



- Tegurrásin tekur inn kassabylgjuna frá Schmitt gikknum
- Útgangur tegurrásarinnar fæðir Schmitt gikkinn og sínusbylgjugjafann

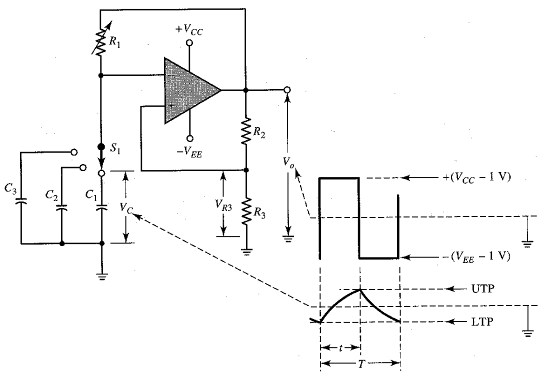
Púlsagjafi



- Púlsagjafi samanstendur af kassabylgju gjörvla, einstöðugum titrara (e. monostable multivibrator) og deyfilið við útgang
- Einstöðugi titrarinn er settur af stað með fallandi skör kassabylgju. Með honum er framkölluð föst púlsabreidd sem fædd er á deyfiliðinn

Púlsagjafi

- Púlsatíðnin ræðst af tíðni kassabylgjunnar og breidd púlsa er ákvörðuð með stillingu á einstöðuga titraranum. Útslag (hæð) púlsins er ákvörðuð með deyfiliðnum
- Kassabylgjuna má framkalla í rás sem nefnd er óstöðugur titrari (e. astable multivibrator)
- Hún hefur ekkert stöðugt ástand, og sveiflast á milli þess að gefa hátt og lágt útmerki



Púlsagjafi

- Þéttirinn C_1 er hlaðinn upp af aðgerðamagnaranum um viðnámið R_1
- Aðgerðamagnarinn ásamt viðnámunum R_2 og R_3 mynda umpólandi Schmitt gikk
- Þegar spennan yfir þéttinn nær efri gikkspennu verður útgangur Schmitt gikksins lágur og hleðslustraumurinn inn á C_1 skiptir um stefnu og þéttirinn afhleðst og hleðst síðan aftur með neikvæðri pólun
- Þegar spennan yfir C_1 nær lægri gikkspennunni verður útgangur Schmitt gikksins hár og ferlið byrjar á ný
- Tíðni kassabylgjnnar ræðst af tímanum sem það tekur þéttinn að hlaðast upp frá lægri gikkspennu (LTP) upp í hærri gikkspennu (UTP)

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{2t}$$

Púlsagjafi

- Tímann má stilla með viðnáminu R_1 sem þá er samfelldur tíðnistillir
- Tíðnisviðið er stillt með vali á milli þétta með rofanum S_1
- Tímann t má reikna með

$$v_C(t) = V - (V - V_0)\exp\left(\frac{-t}{RC}\right)$$

sem má umrita í

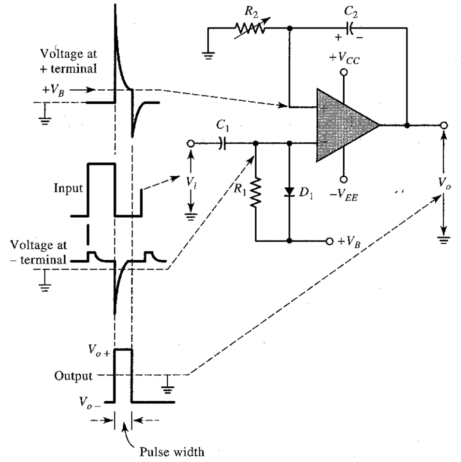
$$t = RC \ln\left(\frac{V - \mathrm{LTP}}{V - \mathrm{UTP}}\right)$$

og efri og lægri gikkspennurnar eru

$$|\mathrm{UTP}| = |\mathrm{LTP}| = V_0 \frac{R_3}{R_2 + R_3}$$

$\Longrightarrow$ Dæmi 10.3.

Púlsagafi

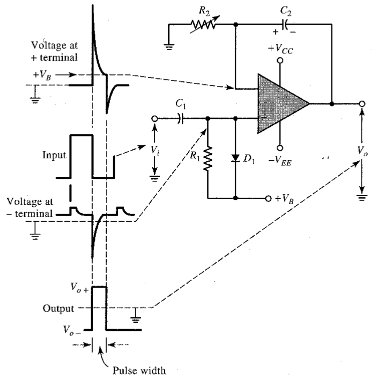


- Einstöðugur titrari hefur einungis eitt stöðugt ástand
- Þegar ræsimerki er gefið, skiptir útgangurinn um stöðu, er í henni yfir fast tiltekið tímabil, en leitar svo aftur í upphaflegt ástand

Púlsagafi

- Með þessu má framkalla púls með fasta breidd í sérhvert skipti sem einstöðugi titrarinn er ræstur
- Þegar $+V_B$ (venjulega 1 V) er lagt á neikvæðan inngang aðgerðamagnarans er útgangurinn lágur (við V_{0-})
- Þéttirinn C_2 er hlaðinn ($+$ í vinstri hlið og – á hægri hlið) þ.a. $V_{C2} = V_{0-}$
- Þegar kassabylgja er fædd inn í rásina hleðst C_1 hratt upp um R_1 við rísandi og fallandi skör
- Hleðslustraumarnir um R_1 framkalla brodda við neikvæðan inngang aðgerðamagnara

Púlsagafi



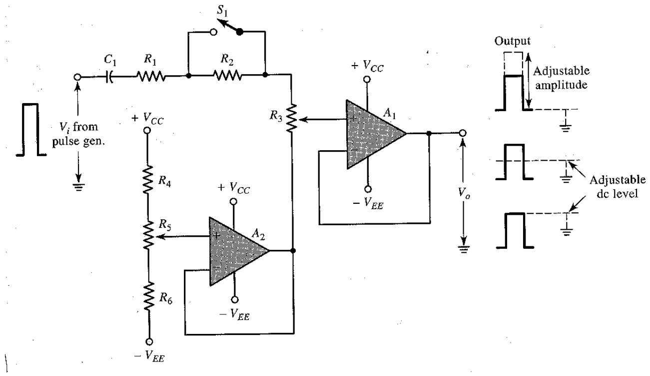
- Jákvæðir broddar myndast á rísandi skör og neikvæðir á fallandi skör
- C_1 og R_1 mynda einskonar diffurrás og tvisturinn D_1 klippir af jákvæða brodda
- Neikvæðu broddarnir draga inngang aðgerðamagnarans niður og hann skiptir snöggt í jákvæða mettun $V_{0+} \approx V_{\mathrm{CC}} - 1$ V

Púlsagafi

- Hleðslan á þéttinum viðheldur hárri jákvæðri spennu, þó svo að ræsimerkið sé ekki fyrir hendi lengur
- Þéttirinn C_2 afhleðst um R_2 og hleðst á ný með öfugu formerki
- Þegar spennan fellur niður fyrir V_B skiptir aðgerðamagnarinn aftur í V_{0-}
- Tíminn sem þetta tekur ákvarðar púlsbreiddina sem þá ræðst af C_2 og R_2

$$\mathrm{PW} = RC \ln \left[\frac{V_{0+} - V_{0-}}{V_B} \right]$$

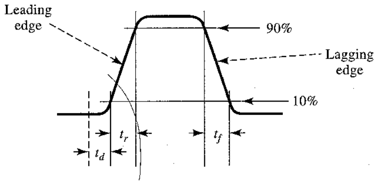
Púlsagjafi



- Viðnámin R_1, R_2 og R_3 ásamt aðgerðamagnaranum A_1 mynda deyfilið fyrir útgangsmerkið
- Aðgerðamagnarinn A_2 og viðnámin R_4, R_5 og R_6 gefa stillanlega dc hliðrun á útmerkið

Púlsagjafi

- Útgangstíðninni má breyta frá 0.0001 Hz – 20 MHz
- Breidd púlsa er oftast stillanleg frá 25 ns upp í 1 ms
- Útgangspúlsar hafa rísandi og fallandi skör með endanlegum ris- og falltímum



rf sveiflugjafar

- rf sveiflugjafar gefa sínuslaga bylgju á tíðnisviðinu 100 kHz – 40 GHz
- Hann samanstendur af
  - rf sveiflugjafa
  - aflgjafa
  - kvörðuðum deyfilið
- Sveiflurásin í rf aflgjafa er gjarnan Hartley eða Colpitts sveiflugjafi
- Báðar rásirnar samanstanda af magnara og afturverkun

rf sveiflugjafar

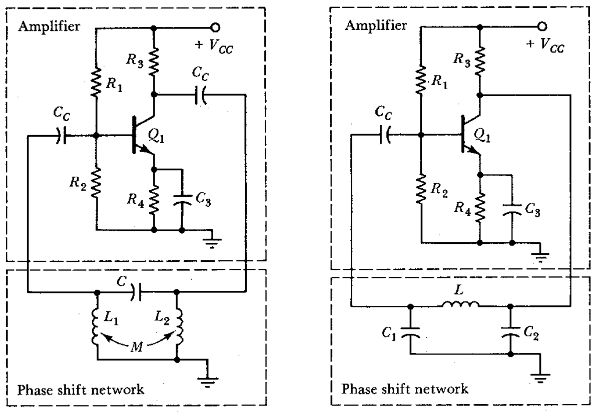
- Jafnframt því að magna innmerkið þá umhverfir magnarinn merkinu, eða hliðrar því í fasa um 180°
- Magnaða merkið er síðan deyft og hliðrað í fasa um aðrar 180° með afturverkunarrásinni
- Þá fer það aftur inn á inngang magnarans
- Sveiflurásin hefur mögnunina 1 og fasahliðrun 360°
- Munurinn á rásunum tveimur liggur í því hvernig fasahliðrunin er framkvæmd
- Hartley rásin notar tvær spólur, L_1 og L_2 og einn þétti C
- Colpitts rásin notar tvo þétta, C_1 og C_2 og eina spólu L

rf sveiflugjafar

- Sveiflutíðnin fyrir báðar rásirnar er

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{C_T L_T}}$$

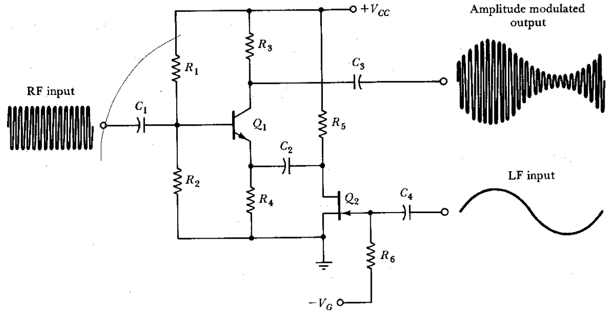
þar sem fyrir Hartley rás $C_T = C$ og L_T er heildar span L_1 og L_2 ásamt gagnspani og fyrir Colpitts rás er $L_T = L$ og C_T er heildar rýmdin af raðtengingunni C_1 og C_2.



(a) Hartley oscillator (b) Colpitts oscillator

Styrkmótun rf bylgju

- Flestir rf sveiflugjafar gefa möguleika á því að **styrkmóta** (e. amplitude modulation) og **tíðnimóta** (e. frequency modulation) útmerkið
- Styrkmótun má framkvæma á mögnunarstiginu



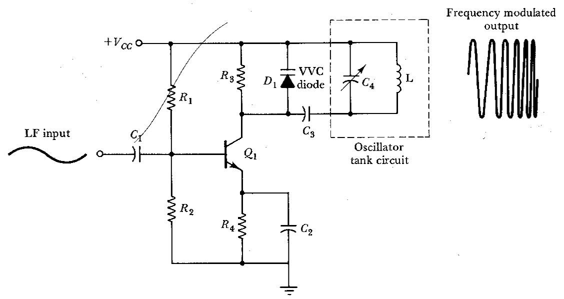
Styrkmótun rf bylgju

- Án smárans Q_2 væri mögnun magnarans $A_v = R_3/R_4$. Með smáranum Q_2 verður mögnun rásarinnar

$$A_v = \frac{R_3}{R_4 \parallel R_\mathrm{D}}$$

  þar sem R_D er svelgviðnám smárans Q_2
- Lágtíðni merki er fætt inn á gátt smárans. Það breytir svelgviðnáminu R_D og þar af leiðandi mögnun magnarans
- Á þennan hátt er útslag rf merkisins aukið og minnkað í fasa við lágtíðnimerkið

Tíðnimótun rf bylgju



- Tíðnimótun er framkvæmd í sveiflurás rf sveiflugjafans
- Tvistur með breytanlegri rýmd C_{D} er tengdur samsíða rýmd sveiflurásarinnar C_4
- Lágtíðnimerki stýrir rýmdinni á C_{D} með því að stýra bakspennunni sem lögð er á tvistinn
- Við það tíðnimótast merkið