

# Mælitækni I:

## Merkjagjafar

### Kaflí 10

Jón Tómas Guðmundsson

tumi@hi.is

19. september 2008

1

## 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 nokkra hópa:
  - Lágtíðni sínusgjafa
  - rf sínusgjafa
  - fallagjörvill (e. function generator)
  - púlsagjafa
  - sveiptíðnigjafa

2

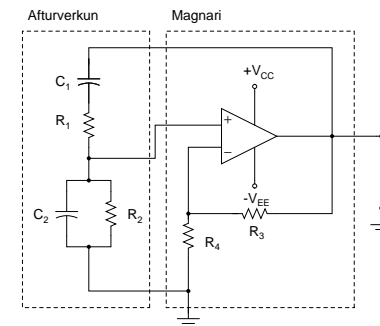
## Lágtíðni-sínus-sveifflugjafi

- Lágtíðni-sínus-sveifflugjafi samanstendur gjarnan af sínussveifflugjafa og rás sem breytir sínusbylgju í kassabylgju
- Wein brúarsveifflugjafinn er sínussveifflugjafi 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 sveifflugjafi myndar hún afturverkunarrás milli útgangs og inngangs magnara

3

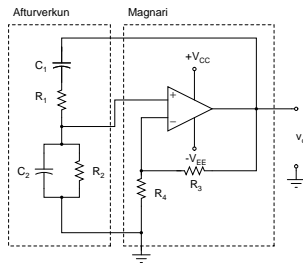
## Wein sveifflugjafi

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



4

## Wein sveifflugjafi



- Greining á rásinni sýnir að jafnvægi er þegar

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

og

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

5

## Wein sveifflugjafi

- 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

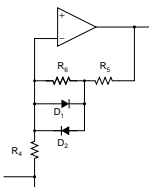
$$A_v = \frac{R_3 + R_4}{R_4}$$

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

6

## Wein sveifflugjafi

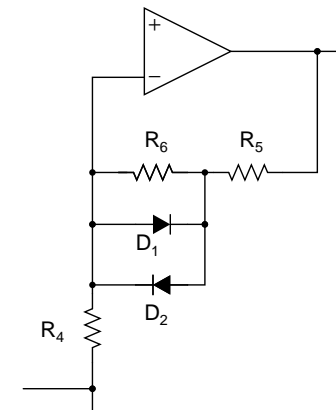
- Í raun þarf mögnun magnarans að vera stærri en 3 til að viðhalda sveiflum
- Útslag útmerkisins hefur tilhneygingu til að hækka þar til fæðispennugildi spennugjafans  $+V_{CC}$  og  $-V_{EE}$  er náð. Þessi spennugildi geta innleitt bjögun í merkið.
- Rásin hér að neðan er dæmi um aðferð sem er notuð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



7

## Wein sveifflugjafi

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



8

## Wein sveifflugjafi

- 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

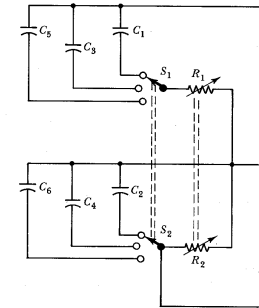
$$A_v = \frac{R_4 + R_5}{R_4}$$

- Viðnámmin 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

⇒ Dæmi 10.1.

9

## Wein sveifflugjafi



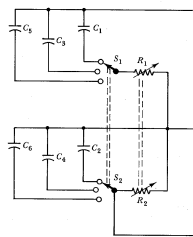
- Við sjáum að samkvæmt

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

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

10

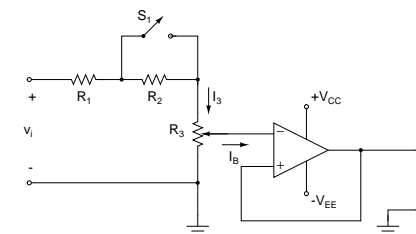
## Wein sveifflugjafi



- Það verður að stilla  $R_1$  og  $R_2$  samtímis til að breyta  $R$  og  $C_1$  og  $C_2$  til að breyta  $C$
- Þetta er gjarnan gert með því að breyta  $C_1$  og  $C_2$  milli nokkurra staðlaðra þétta. Þéttarnir svara þá til tíðnisviðs
- Viðnámminu er síðan breytt með samfelldum stillivíðnámum og gefa því samfellda breytingu í tíðni

11

## Wein sveifflugjafi



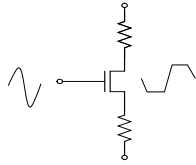
- Útslagi frá sveifflugjafanum má breyta með einföldum spennudeili og deyfilið
- Spennusviðinu er breytt með því að skammhleypa viðnámminu  $R_2$  með rofanum  $S_1$
- Aðgerðamagnarinn tryggir lágt útgangsviðnám

⇒ Dæmi 10.2.

12

## Wein sveifflugjafi

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

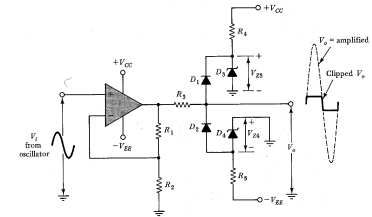


- Notaður er magnari sem er drifinn með lágrri spennu og því aðvelt að metta
- Sínusbylgjan sem lögð er á gáttina hefur hátt útslag þannig að útmerkið er klippt
- Ristími kassabylgjunnar er tiltölulega langur með þessari aðferð

13

## Wein sveifflugjafi

- 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  $V_{z3} + V_{D1}$
- Á sama hátt ef útgangur er neikvæður er  $D_2$  framspennt og útgangur fer ekki neðar en  $-(V_{z4} + V_{D2})$

14

## Wein sveifflugjafi

- Mögnun er fengin með magnarnum og bylgjan er klippt við  $+(V_{z3} + V_{D1})$  og  $-(V_{z4} + V_{D2})$
- Kassabylgja myndast með

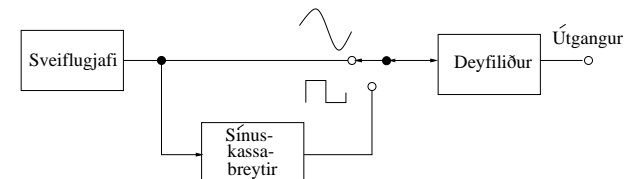
$$v_0 = \pm(V_z + V_D)$$

- 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  $\pm 7$  V

15

## Lágtíðni-sínus-sveifflugjafi

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



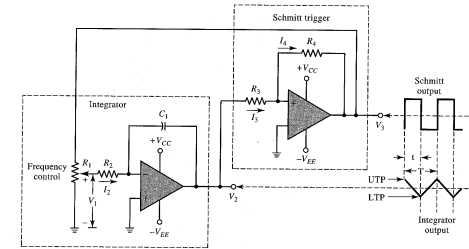
16

## Fallagjörvill

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

17

## Fallagjörvill



- Þegar innspenna Schmitt gíkkisins hækkar í efri gíkk spennu (UTP) hækkar útgangur frá lægsta neikvæða gildi í hæsta jákvæða gildi
- Á sama hátt þegar inngangurinn lækkar í lægri gíkkspennu (LTP) þá fellur útspeunna í lægsta neikvæða gildi

18

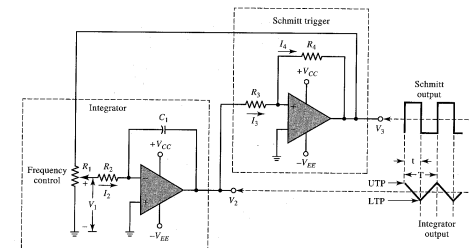
## Fallagjörvill

- Rifjum upp að mögnun aðgerðamagnarans er aðeins 200000
- Lítinn spennunum þarf á inngöngum aðgerðamagnarans til að koma magnaranum í metnun, 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 spennunumur milli jákvæðs og neikvæðs inngangs aðgerðamagnara til að framkalla metnun í útmerki er

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

19

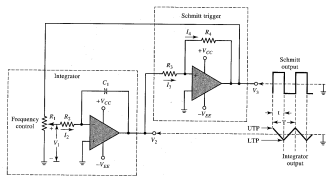
## Fallagjörvill



- 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

20

## Fallagjörvill



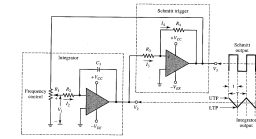
- Spennan  $V_1$  fellur öll yfir  $R_2$  og fastur straumur  $I_2$  fer um  $R_2$ ,

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

- 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 útspena aðgerðamagnarans línulega frá jörð

21

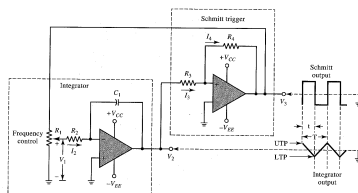
## Fallagjörvill



- Þegar pólun  $V_1$  er snúið, snýr straumurinn  $I_2$  í gagnstæða stefnu og  $C_1$  hleðst upp með gagnstæðri pólun. Útspena tegurrásarinnar,  $V_2$ , fer þá hækkandi.
- Við sjáum að inngangsspenna tegurrásarinnar er fengin frá útgangi Schmitt gikksins
- Útspena tegurrásarinnar er síðan fædd inn á inngang Schmitt gikksins

22

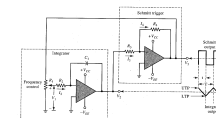
## Fallagjörvill



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

23

## 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

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

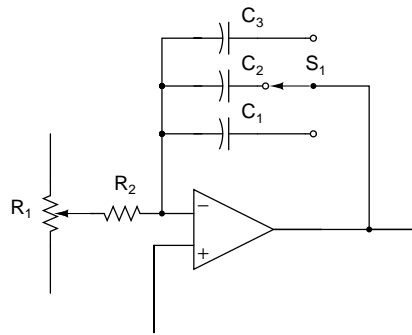
eða

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

þar sem  $\Delta V = UTP - LTP$

24

## Fallagjörvill



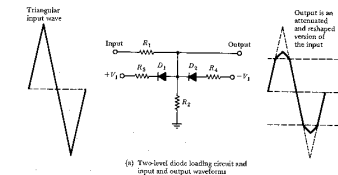
- Tíðni útmerkis sveiflugjafans er stýrt samfelld með stilliviðnáminu  $R_1$ , og tíðnisviðið er ákvarðað með því að stilla á milli þetta

⇒ Dæmi 10.3.

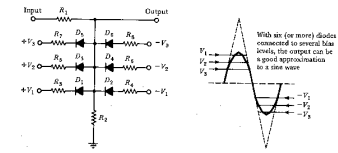
25

## Fallagjörvill

- Þríhyrningsbylgju má breyta í nálgun á sínusbylgju með tvístum og viðnánum



(a) Two-level diode loading circuit and input and output waveforms

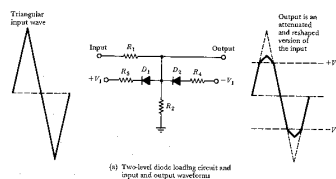


(b) Six-level diode loading circuit and its effect on input waveform

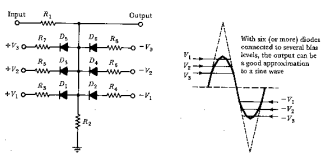
- Við lága spennu ræðst útspennan af spennudeilingu á milli  $R_1$  og  $R_2$

26

## Fallagjörvill



(a) Two-level diode loading circuit and input and output waveforms



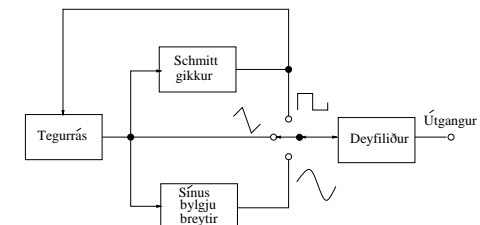
(b) Six-level diode loading circuit and its effect on input waveform

- Við hærri spennu framspennast tvístarnir  $D_1$  og  $D_2$  og  $R_3$  eða  $R_4$  tengjast samsíða  $R_2$  og veldur frekari deyfingu
- Með fleiri tvístum, og viðnánum má nálgast sínusbylgju betur

27

## Fallagjörvill

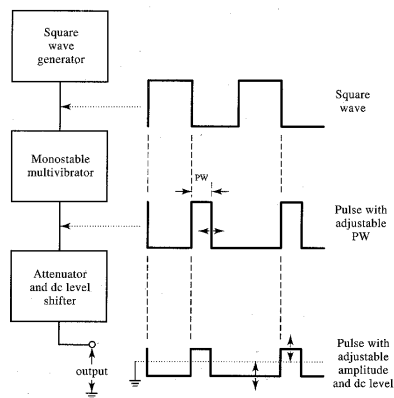
- Fallagjörvlar vinna gjarnan á tíðnisviðinu frá 0.2 Hz upp í 2 MHz og útspena liggur á bilinu 0 – 20 V og er útgangsviðnámið oft 50  $\Omega$
- Með rofa er valið á milli sínus-, kassa- eða þríhyrningsbylgju



- Tegurrásin tekur inn kassabylgjuna frá Schmitt gíkknum
- Útgangur tegurrásarinnar fæðir Schmitt gíkkinn og sínusbylgjugjafann

28

## Púlsagjafi

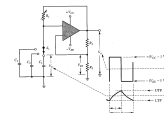


- Púlsagjafi samanstendur af kassabylgju gjörvla, einstöðugum titrara (e. monostable multivibrator) og deyfilið við útgang

29

## Púlsagjafi

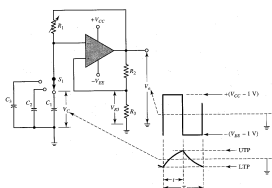
- Einstöðugi titrarinn er settur af stað með fallandi skör kassabylgju. Með honum er framkölluð föst púlsabreidd sem fædd er á deyfiliðinn
- Púlsatíðnin ræðst af tíðni kassabylgjunnar og breidd púlsa er ákvörðuð með stillingu á einstöðuga titrarannum. Útslag (hæð) púlans er ákvörðuð með deyfiliðnum



- 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

30

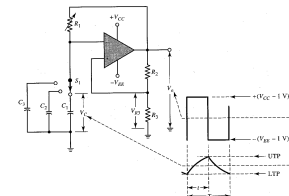
## Púlsagjafi



- 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  $V_C$  nær efri gikkspennu  $UTP = V_0 R_3 / (R_2 + R_3)$  þá stekkur útgangurinn í  $-(V_{EE} - 1)$  og þéttirinn afhleðst

31

## Púlsagjafi



- Þegar spennan yfir þéttinn  $V_C$  nær lægri gikkspennunni  $LTP = -V_0 R_3 / (R_2 + R_3)$  verður útgangur Schmitt gikksins hár  $(V_{CC} - 1)$  og þéttirinn hleðst upp aftur
- Tíðni kassabylgjunnar ræðst af tímanum sem það tekur þéttinn að hlaðast upp frá lægri gikkspennu ( $LTP$ ) upp í hærri gikkspennu ( $UTP$ )

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

32



## Púlsagjafi

- Tímann má stilla með viðnáminu  $R_1$  sem þá er samfelldur tíðnistillir
- Tíðnisviðið er stillt með vali á milli þetta með rofanum  $S_1$
- Tímann  $t$  sem það tekur að hlaða þéttinn má reikna út frá jöfnu fyrir upphleðslu þéttis í  $RC$ -rás

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

þar sem  $V_{TP}$  getur verið efri eða neðri gíkkspennan

33

## Púlsagjafi

- Þetta má umrita í

$$t = R_1 C_1 \ln\left(\frac{V - LTP}{V - UTP}\right)$$

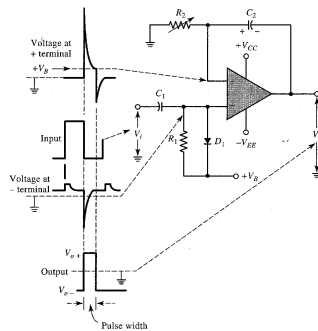
- Hjá okkur er  $V = V_0$  sem er ýmist  $V_{CC} - 1$  eða  $-(V_{EE} - 1)$
- Efri og lægri gíkkspennurnar eru

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

⇒ Dæmi 10.4.

34

## 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

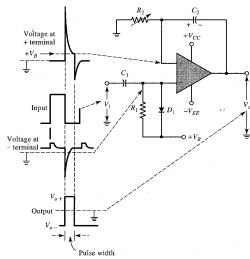
35

## Púlsagafi

- Með þessu má framkalla púls með fasta breidd í sérhvert skipti sem einstöðugi titrari 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

36

## 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 snögg í jákvæða metun  $V_{0+} \approx V_{CC} - 1 \text{ V}$

37

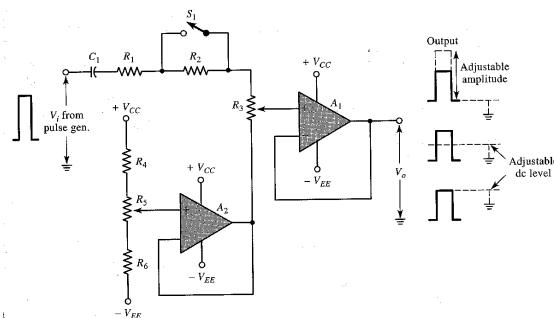
## Púlsagafi

- Hleðslan á þéttinum viðheldur hárrí 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  $R_2$

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

38

## Púlsagjafi

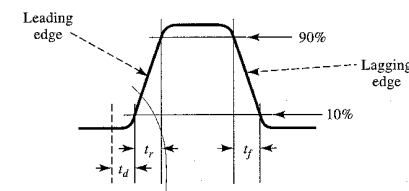


- Viðnámin  $R_1$ ,  $R_2$  og  $R_3$  ásamt aðgerðamagnaranum  $A_1$  mynda deyfilið fyrir útgangsmarkerkið
- Aðgerðamagnarinn  $A_2$  og viðnámin  $R_4$ ,  $R_5$  og  $R_6$  gefa stillanlega dc hliðrun á útmerkið

39

## 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

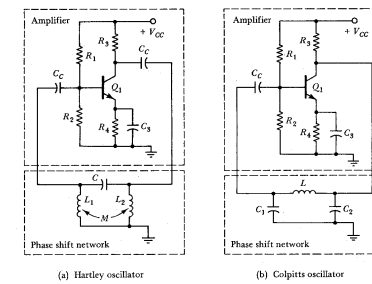


40

## rf sveifflugjafar

- rf sveifflugjafar gefa sínuslaga bylgju á tíðnisviðinu 100 kHz – 40 GHz
- Hann samanstendur af
  - rf sveifflugjafa
  - aflagjafa
  - kvörðuðum deyfilið
- Sveiflurásin í rf aflagjafa er gjarnan Hartley eða Colpitts sveifflugjafi
- Báðar rásirnar samanstanda af magnara og afturverkun

## rf sveifflugjafar



- 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

## rf sveifflugjafar

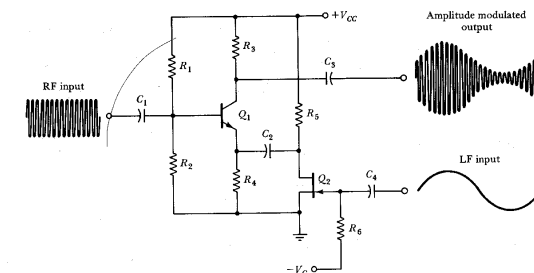
- Sveiflurásin hefur mögnunina 1 og fasahliðrun 360°
- Munurinn á rásunum tveimur liggur í því hvernig fasahliðrunin er framkvæmd
- Hartley rásin notar tvær spólur,  $L_1$  og  $L_2$  og einn þétti  $C$
- Colpitts rásin notar tvo þétta,  $C_1$  og  $C_2$  og eina spólu  $L$
- Sveiflutíðnin fyrir báðar 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  $C_2$ .

## Styrkmótun rf bylgju

- Flestir rf sveifflugjafar 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

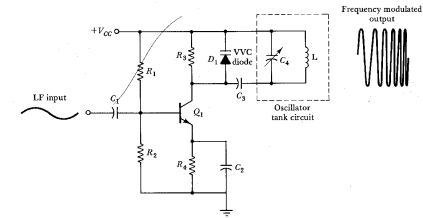
$$A_v = \frac{R_3}{R_4 \parallel R_D}$$

þar sem  $R_D$  er sveigviðnám smárans  $Q_2$

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

45

## Tíðnimótun rf bylgju



- Tíðnimótun er framkvæmd í sveiflurás rf sveifflugjafans
- 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

46

## Frekara lesefni

Um sveifflugjafa er fjallað hjá Bell (1994, kafli 11), Carr (1996, kafli 9) og Wolf and Smith (2003, kafli 13).

## References

- Bell, D. A. (1994). *Electronic Instrumentation and Measurements*. Englewood Cliffs, New Jersey, USA: Prentice Hall.
- Carr, J. J. (1996). *Elements of Electronic Instrumentation and Measurement* (3 ed.). Englewood Cliffs, New Jersey, USA: Prentice Hall.
- Wolf, S. and R. F. M. Smith (2003). *Student Reference Manual for Electronic Instrumentation Laboratories* (2 ed.). Englewood Cliffs, New Jersey, USA: Prentice Hall.

47