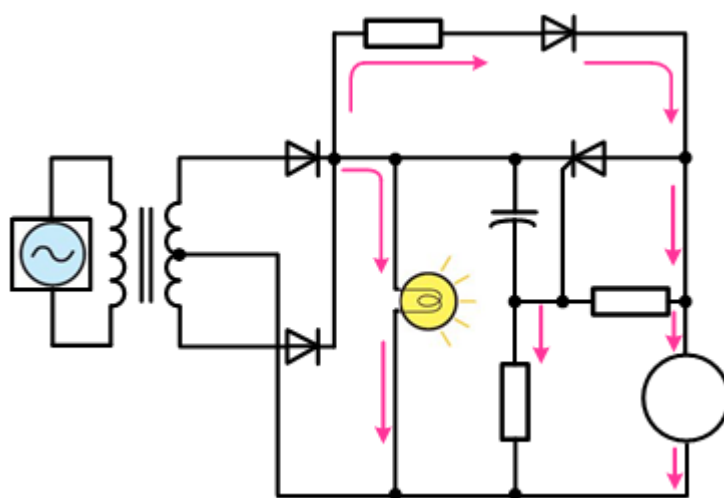


Rafbók



Rafeindafræði 19. hefti

Tyristorar

Sigurður Örn Kristjánsson

Rafeindafræði 19. hefti – Tyristorar -

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.

Höfundur er Sigurður Örn Kristjánsson.

Umbrot í rafbók Báru Laxdal Halldórsdóttir.

Vinsamlegast sendið leiðréttingar og athugasemdir til

Báru Laxdal Halldórsdóttur á netfangið bara@rafmennt.is eða til höfundar

Sigurðar Arnar á sigurduorn@gmail.com

Rafeindafræði 19. hefti – Tyristorar -

Efnisyfirlit

1. Tyristor.....	4
1.1 Grunnrás 4ra laga íhlutar	4
1.1.2 Dæmi	5
1.2 Gegnumslagsspenna (<i>Forward-Breakover Voltage</i>)	5
1.2.1 Notkun.....	6
1.2.2 Dæmi	7
1.3 Kísil stýrður afriðill (SCR)	7
1.4 Jafngildismynd fyrir SCR	8
1.5 Að opna SCR	8
1.6 Að loka SCR	10
1.7 Notkun á SCR	11
1.7.1 Dæmi	12
1.8 Hálfbylgju aflstýring.....	13
1.9 SCR notaður til stýringar á varaafli	15
1.10 DIAC og TRIAC.....	16
1.11 TRIAC.....	18
1.12 Notkun.....	20
1.13 Fasa stýring	20
1.14 Dæmi.....	21
1.15 Kísil stýrður rofi (SCS).....	22
1.16 Notkun.....	24
1.17 Dæmi.....	24
2. UNIJUNCTION TRANSISTOR (UJT)	25
2.1 Íbætistuðullinn η (Standoff Ratio)	26
2.2 Notkun á UJT transistorum	28
2.3 Forsendur ræsingar (Turn-On)/lokunar (Turn-Off)	29
2.4 Dæmi	31

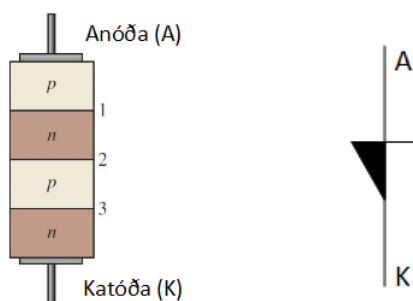
Rafeindafræði 19. hefti – Tyristorar -

2.5 Forritanlegur einpóla transistor (PUT)	31
2.6 Ákvörðun ræsispennu fyrir PUT.....	32
2.7 Notkun á PUT	32
2.8 Dæmi	33
3. Ljósnaemir (photo) transistorar	34
3.1 Notkun.....	36
3.2 Ljósstýrður SCR (LASCR).....	37
3.3 Ljóstengi (OPTICAL COUPLERS)	37

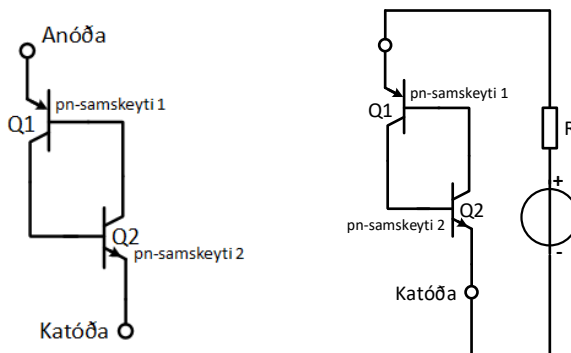
1. Tyristor

1.1 Grunnrás 4ra laga íhlutar

Frumgerð *tyristors* er fjögurra laga *pnpn* íhlutur með tveim tengipólum, anóðu og katóðu, sem virkar sem rofi og er lokaður (*off*) þar til spennufall yfir hann nær brotgildi U_{BR} . Þá verður hann leiðandi þar til straumur hans verður lægri en haldstraumur I_H . Þessi tyristor grunnrás er kölluð *Shockley* díóða eða 4ra laga díóða. Uppbyggingin er sýnd á mynd 1. Jafngildismynd fjögurra laga íhlutarins *pnpn* er sýnd á mynd 2a. Hún samanstendur af *pnp* (*Q1*) og *npn* (*Q2*) transistorum.



Mynd 1. 4-laga díóðan (*shokley díóða*).



Mynd 2a)

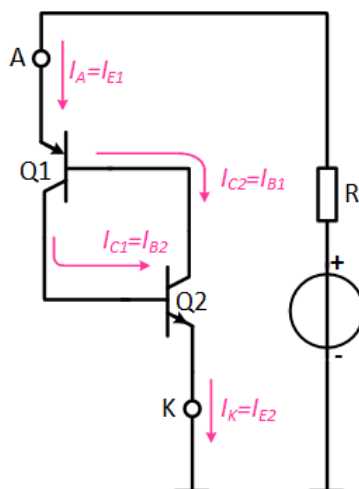
Mynd 2b)

Mynd 2. Jafngildismynd 4-laga díóðu.

Þegar sett er jákvæð spenna á anóðu og neikvæð á katóðu eins og sést á mynd 2b verða *base-emitter* samskeyti á *Q1* og *Q2* forspennt í leiðandi átt en *base-collector* samskeyti *Q2* er bakspennt. Þetta þýðir að transistorarnir eru að vinna á línulega hluta sínum.

Straumrás 4-laga íhlutarins er sýndur á mynd 3. Hafið í huga að við mjög lága innspennu er mjög lítill anóðustraumur í íhlutnum þannig að hann er lokaður.

Rafeindafræði 19. hefti – Tyristorar -



Mynd 3. Straumur í 4-laga díóðu.

Sýnidæmi:

4-laga díóða er forspennt í leiðandi átt þannig að anóðu-katóðu spennan U_{AK} er 20 V. Við þessa forspennu rennur $1 \mu A$ anóðustraumur í rásinni. Hver er mótstaða rásarinnar?

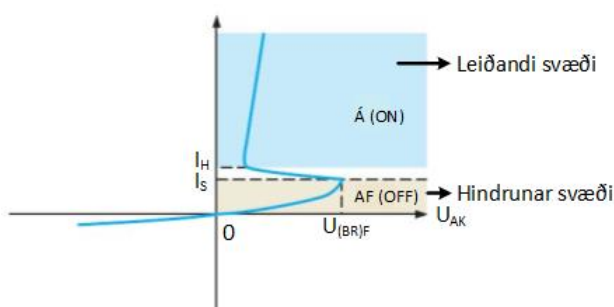
$$R_{AK} = \frac{U_{AK}}{I_{AK}} = \frac{20V}{1\mu A} = 20M\Omega$$

1.1.2 Dæmi

Hver er mótstaðan ef straumurinn eykst í $2 \mu A$?

1.2 Gegnumslagsspenna (*Forward-Breakover Voltage*)

Vinnsla 4-laga díóðunnar virkar einkennilega því að þegar hún er forspennt getur hún virkað sem opinn rofi. Svæðið þar sem hún leiðir ekki er hindrunarsvæði hennar og er mótstaðan þar mjög há. Hindrunarsvæðið er frá spennunni $U_{AK} = 0$ að spennugildi U_{AK} sem kölluð er gegnumslagsspenna $U_{BR(F)}$. Þetta er sýnt á mynd 4 yfir kennilínurit 4-laga díóðunnar. Gula svæðið sýnir hindrunarsvæði díóðunnar.



Mynd 4.

Rafeindafræði 19. hefti – Tyristorar -

Eins og sést á mynd 4 að þegar spennan U_{AK} er aukin eykst anóðustraumurinn I_A . Þegar anóðustraumurinn I_A nær skiptistraumnum I_S er $U_{AK}=U_{BR(F)}$ og 4-laga díóðan verður leiðandi og spennufallið U_{AK} verður mjög lítið. Ef straumurinn I_A lækkar niður fyrir haldstrauminn I_H lokar 4-laga díóðan (rofin).

Haldstraumur (I_H)

Ef straumur í 4-laga díóðu I_A er hærri er haldstraumur I_H díóðunnar er hún viðvarandi opin (*On*). Ef straumur í 4-laga díóðu I_A er lægri er haldstraumur I_H díóðunnar er hún viðvarandi lokuð (*Off*).

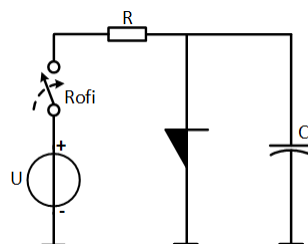
Skiptistraumur (I_S)

Skiptistraumur 4-laga díóðunnar er þegar anóðustraumurinn (I_A) nær því gildi að 4-laga díóðan skiptir úr hindrunar í leiðandi ástand. Straumgildi skiptistraumsins I_S er alltaf lægra en haldstraumsins I_H .

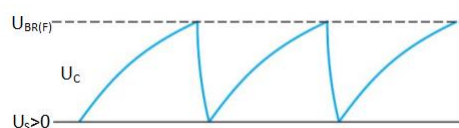
1.2.1 Notkun

Þó að 4-laga díóðan sé sjaldan eða aldrei notuð í nýjum rásum þá gilda eiginleikar hennar enn. Mynd 5 sýnir *relaxation* sveifflugjafa.. Hann vinnur á eftirfarandi máta.

Þegar rofanum er lokað hleðst þéttirinn C upp í gegn um mótstöðuna R. Þegar gegnumslagsspennu $U_{BR(F)}$ 4-laga díóðunnar er náð yfir þéttinn verður hún leiðandi og þéttirinn C afhleðst í gegn um hana. Afhleðslan er viðvarandi þar til haldstraumur I_H , 4-laga díóðunnar, er náð og lokar þá díóðan og upphleðsluferlið hefst aftur. Mynd 5b sýnir feril bylgjunnar sem mynduð er með rás í mynd 5a.



Mynd 5a)



Mynd 5b)

Mynd 5. 4-laga díóðu relaxation sveifflugjafa.

Rafeindafræði 19. hefti – Tyristorar -

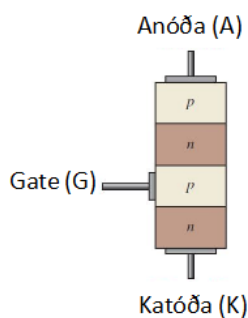
1.2.2 Dæmi

1. Af hverju er 4-laga díóðan flokkuð með *tyristorum*?
2. Hvað er hindrunarsvæði díóðunnar?
3. Hvað gerist þegar U_{AK} nálgast gegnumslagsspennu $U_{BR(F)}$?
4. Hvernig er hægt að slökkva á 4-laga díóðunni eftir að kveikt var á henni?

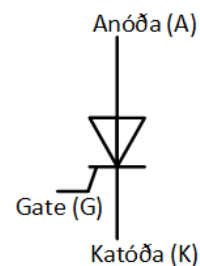
1.3 Kísil stýrður afriðill (SCR)

Kísil stýrður afriðill (SCR) er 4-laga *pnpn* íhlutur sem líkist 4-laga díóðu nema að hann hefur þrjú skaut: anóðu, katóðu og *gate*. SCR hefur möguleika á að vera opinn eða lokaður eins og 4-laga díóðan. Í lokuðu (*off*) ástandi er mótstaðan milli anóðu og katóðu mjög stór. Þegar hann er opinn nálgast mótstaðan í honum núll. Notkun SCR tekur til móturstýringa, tímaseinkunarása, hitastýringa, fasastýringa og segulrofastýringa

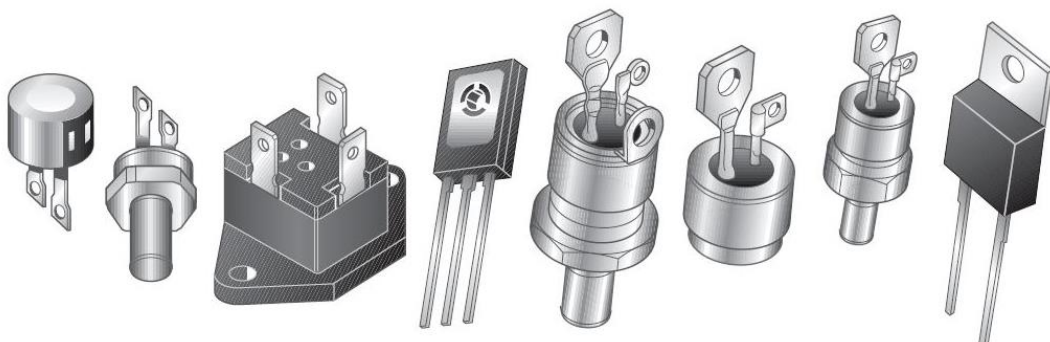
Uppbygging SCR (kísil stýrðs afriðils) er sýnd á mynd 6a og táknmynd er sýnd á mynd 6b. Einnig sýnir mynd 6c mismunandi hús sem SCR getur komið í.



Mynd 6a) Uppbygging SCR.



Mynd 6b) Táknmynd SCR.



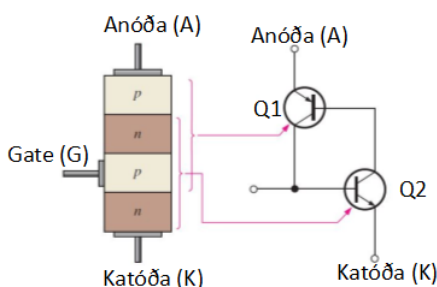
Mynd 6c) Möguleg hús fyrir SCR.

Mynd 6.

Rafeindafræði 19. hefti – Tyristorar -

1.4 Jafngildismynd fyrir SCR

Eins og fyrir 4-laga díóðuna er best að sjá vinnslu SCR með því að horfa á jafngildismynd hans eins og sýnt er á mynd 7. Uppbyggingin er eins og fyrir 4-laga díóðuna nema að *gate* tengingin er viðbót. Efri *pnp* lögin virka eins og transistorinn *Q1* og *nnp* lögin vinna sem transistorinn *Q2*. Takið eftir að miðlögin tvö eru samnýtt í þessu móteli.

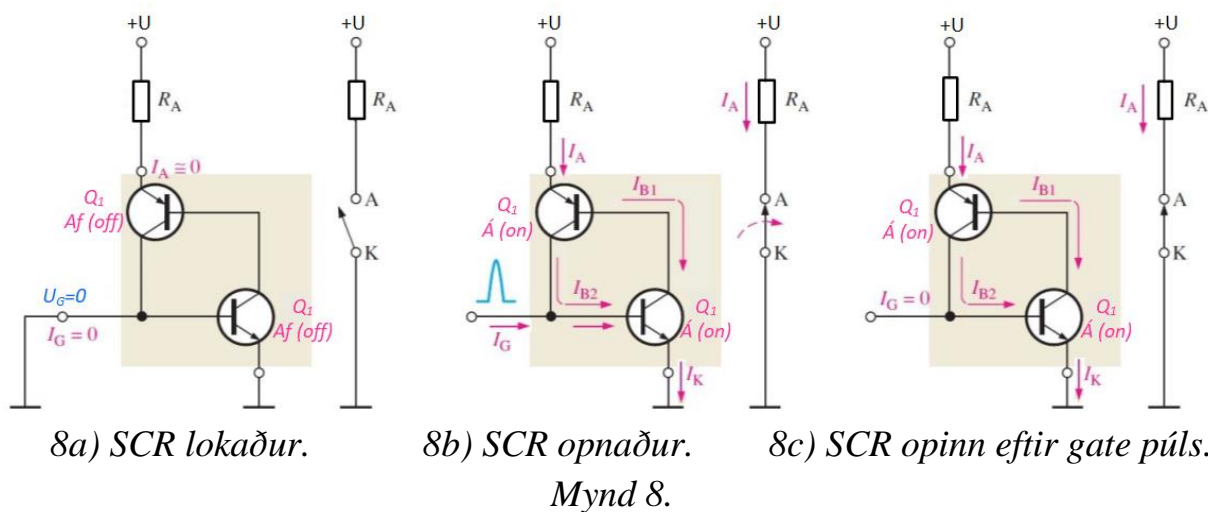


Mynd 7. Jafngildismynd fyrir SCR.

1.5 Að opna SCR

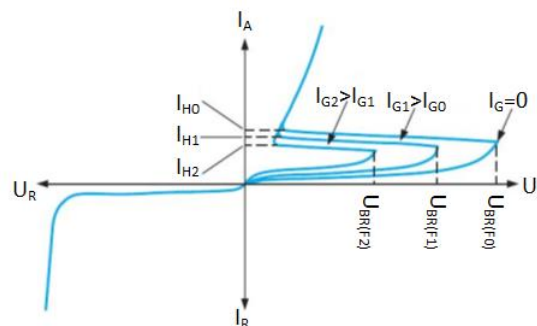
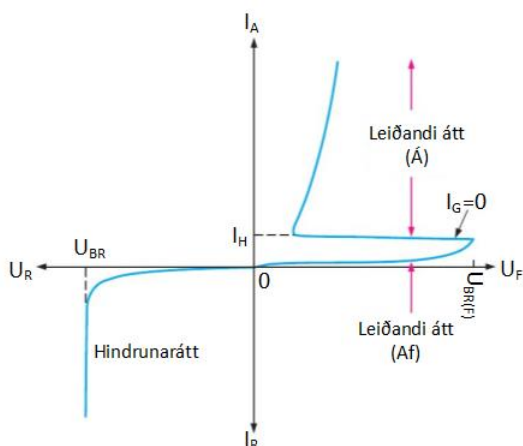
Þegar *gate* straumurinn I_G er núll, eins og sýnt er á mynd 8a, virkar íhluturinn eins og 4-laga díóðan og er lokaður. Í þessu ástandi er mjög há mótstaða milli anóðu og katóðu og má líkja henni við opinn rofa eins og sýnt er. Þegar jákvæður *gate* straumpúls (ræsipúls) er settur á *gate* opnast báðir transistorarnir (anóðan verður að vera spennu jákvæðari heldur en katóðan). Þetta ástand er sýnt á mynd 8b. Straumurinn I_{B2} opnar *Q2* sem opnar straumleið fyrir *base* strauminn I_{B1} í gegn um *collector* transistorsins *Q2* þannig að transistorinn *Q1* opnast. Þar sem *collector* straumur transistor *Q1* fæðir *base* strauminn I_{B2} helst transistor *Q2* opinn eftir að ræsipúlsinn hverfur. Með þessu ferli nær transistorinn *Q2* að viðhalda mettunarástandi *Q1* með því að halda opinni leið fyrir strauminn I_{B1} og *Q1* viðheldur mettunarástandi *Q2* með því að færa honum strauminn I_{B2} . Íhluturinn viðheldur opnun um leið og hann er gerður virkur með ræsipúls. Sjá mynd 8c. Í þessu ástandi er mjög lítil mótstaða milli anóðu og katóðu íhlutarins og hann virkar sem lokaður rofi eins og sýnt er.

Rafeindafræði 19. hefti – Tyristorar -



Eins og fyrir 4-laga díóðuna má opna *SCR*, án þess að nota ræsipúlss, með því að auka spennuna U_{AK} að $U_{BR(F)}$ gildi hennar eins og sýnt er á mynd 9a.

Gegnumslagsspennan minnkar með hækkandi I_G eins og sést á mynd 9b. Að lokum fæst gildi á I_G sem veldur því að *SCR* opnar við mjög lága anóðu – katóðu spennu. Straumurinn I_G stjórnar því stærð gegnumslagsspennu $U_{BR(F)}$ sem opnar hann.



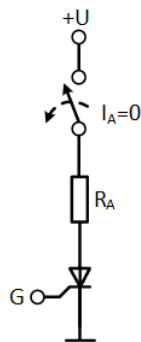
Mynd 9. Kennilínur *SCR*.

Rafeindafræði 19. hefti – Tyristorar -

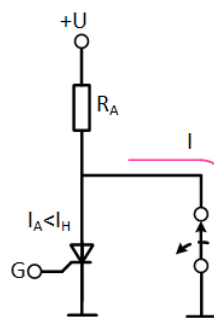
1.6 Að loka SCR

Þegar *gate* spennan verður 0 V eftir að ræsipúlsinn hverfur getur SCR rásin ekki lokað sér aftur. SCR rásin helst opinn þangað til að anóðustraumurinn I_A verður minni en haldstraumurinn I_H . Haldstraumurinn er merktur inn á línurit á mynd 9.

Tvær aðferðir eru til að slökkva á SCR. Önnur er að hafa áhrif á anóðustrauminn I_A með rofum og þannig er hann gerður minni en haldstraumurinn I_H . Mynd 10a og mynd 10b sýna þær aðferðir.



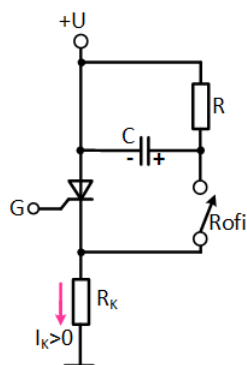
Mynd 10a)



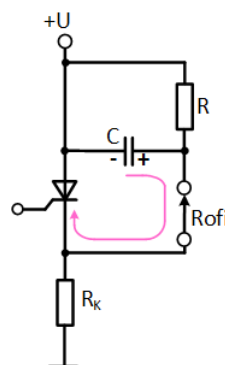
Mynd 10b)

Mynd 10. Slökkt á SCR með rofa.

Hin aðferðin er með þvingaðri straumvendingu og er hún sýnd á mynd 11a og b.



Mynd 11a) Á (On).



Mynd 11b) Af (Off).

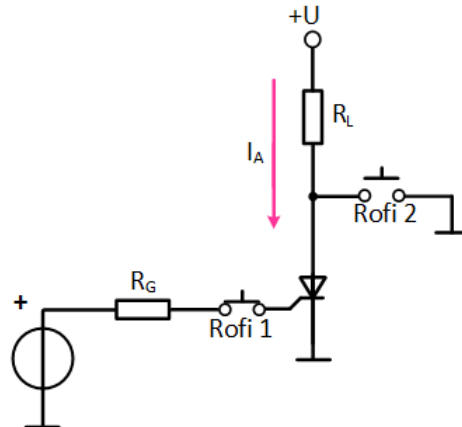
Mynd 11. Slökkt á SCR með straumvendingu.

Þvingaða straumvendingin byggir á því að augnabliksstraumur er þvingaður á móti anóðustraumnum og þannig er hann gerður minni en haldstraumurinn I_H . Til að þvinga SCR í lokun þarf þvingunarstraumurinn að vara frá örfáum microsekúndum í allt að 30 μ s.

1.7 Notkun á SCR

SCR á sér ýmsa notkunarmöguleika svo sem í aflstýringum og rofastýringum.

Mynd 12 sýnir notkun á SCR í augnabliks rofarás þar sem rofi 1 ræsir rásina en rofi 2 er notaður til að slökkva á rásinni.



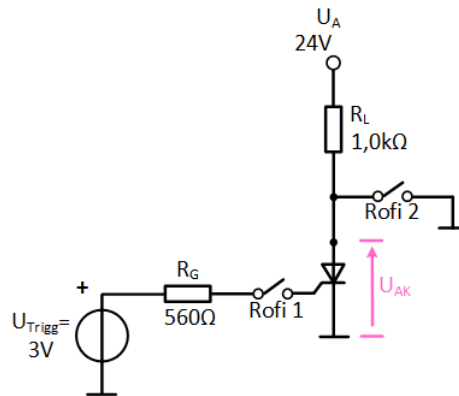
Mynd 12. Á/af SCR rofi.

Gerum ráð fyrir því að þegar þrýst er augnablik á rofa 1 fær SCR rásin straumstýripúls á *gate*. Við það ræsir SCR íhluturinn þannig að anóðustraumur rennur í rásinni og þar með í R_L . SCR helst viðvarandi opinn þar sem anóðustraumurinn er hærri en haldstraumur rásarinnar I_H . Ef við ýtum á rofa 2 í augnablik er straumurinn leiddur fram hjá SCR þannig að anóðustraumurinn í augnablik verður minni en haldstraumurinn I_H . Við það lokar SCR íhluturinn og straumurinn í R_L verður núll.

Rafeindafræði 19. hefti – Tyristorar -

Sýnidæmi:

Finnið *gate*- og anóðustrauminn fyrir mynd 13 ef rofi 1 er tengdur í augnablik. Gerið ráð fyrir að $U_{AK} = 0,8 \text{ V}$, $U_{GK} = 0,7 \text{ V}$ og $I_H = 20 \text{ mA}$.



Mynd 13.

$$I_G = \frac{U_{TRIG} - U_{GK}}{R_G} = \frac{3V - 0,7V}{560\Omega} = 4,1mA$$

$$I_A = \frac{U_A - U_{AK}}{R_A} = \frac{24V - 0,8V}{1000\Omega} = 23,2mA$$

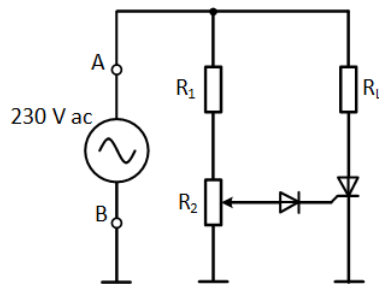
1.7.1 Dæmi

1. Hverskonar íhlutur er *SCR*?
2. Hvað heita skaut *SCR* íhlutar?
3. Hvernig ræsir maður *SCR* í rás?
4. Hvernig er slökkt á *SCR* íhlut?

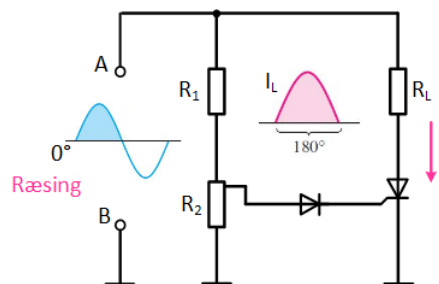
Rafeindafræði 19. hefti – Tyristorar -

1.8 Hálfbylgju aflstýring

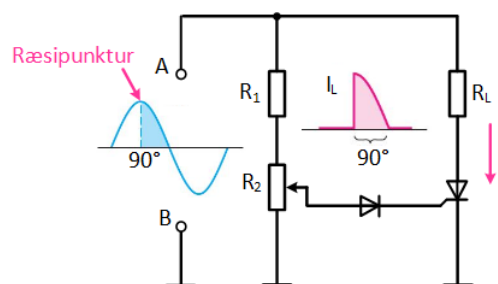
Algeng notkun á *SCR* er við að stýra ac spennu í dimmerum fyrir ljós, rafhitara og mótora. *Mynd 14* sýnir slíka rás þar sem 230 V ac er sett á milli póla A og B. R_L stendur fyrir álagið sem rásin vinnur á t.d lampi. Mótstaðan R_1 takmarkar strauminn og R_2 setur ræsispennuna fyrir *SCR* rásina.



Mynd 14.

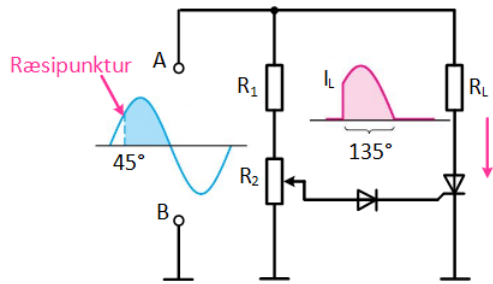


Mynd 15a) 180° leiðni.



Mynd 15b) 90° leiðni.

Rafeindafræði 19. hefti – Tyristorar -



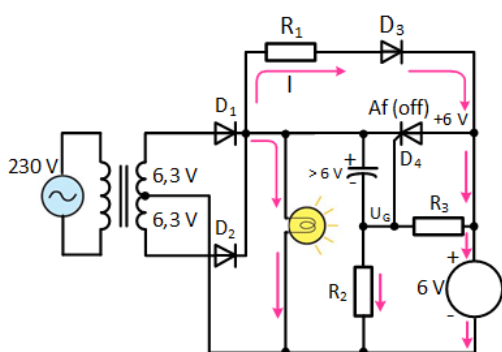
Mynd 15c) 135° leiðni.

Með því að breyta mótstöðu R_2 er hægt að fá ræsipúls sem ræsir SCR á bilinu $>0^\circ - 90^\circ$ eins og sýnt er á mynd 14. Þegar SCR er ræstur í ca. 0° er SCR opinn í um það bil 180° eins og sést á mynd 15 a. og hámarksafl er sett yfir álagið. Ef hann er ræstur nálægt spennuhámarki eða í 90° leiðir hann í um það bil 90° og minna afl er sett yfir álagið. Með því að breyta mótstöðu R_2 er hægt að ræsa SCR hvar sem er á þessu bili og mismunandi afl er sett yfir álagið. Í öllum tilfellum þegar riðspennan verður neikvæð lokast SCR íhluturinn og verður ekki leiðandi aftur fyrr en á jákvæðu hálfbylgjunni.

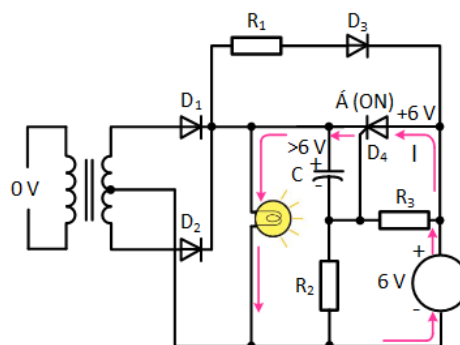
1.9 SCR notaður til stýringar á varaafli

Mynd 16 sýnir notkun á sjálfvirkri stýringu með SCR yfir í varaafli ef aflrof verður á veitu.

Miðúttaks spennu afriðill er notaður til að fæða spennu að lásþenntri peru. Eins lengi og spenna er til staðar er rafhlaðan í hleðslu í gegn um díóðu D_3 og mótstöðuna R_1 .



Mynd 16a)



Mynd 16b)

Mynd 16. Varaaflgjafi.

Katóðuspennan á SCR íhlutnum er $\sqrt{2} \cdot (6,3 - 0,7)$ hærri en anóðuspennan sem er mest 6 volt og þess vegna er SCR íhluturinn lokaður. Gate spenna SCR er ákveðin af spennudeilinum R_2 og R_3 . Við þessar aðstæður er lampinn lýstur af innspennunni og SCR er lokaður. Mynd 16a.

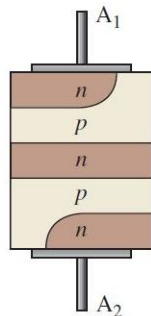
Við spennurof afhleðst þéttirinn í gegn um D_3 , R_1 og R_3 . Við það verður katóðan á SCR minna jákvæð heldur en anóðan og gate. Þetta veldur ræsiástandi fyrir SCR íhlutinn þannig að hann byrjar að leiða.

Straumur frá rafhlöðunni á nú greiða leið að perunni og hún lýsir eins og sýnt er á mynd 16 b. Þegar spennan kemur aftur á hleðst þéttirinn upp og SCR rásin lokar og rafhlaðan byrjar að hlaðast upp aftur.

1.10 DIAC og TRIAC

Bæði *diac* og *triac* eru tyristoríhlutir sem leiða straum í báðar áttir (tvíátta). Mismunur á þessum íhlutum er að *diac* hefur tvö skaut á meðan *triac* hefur þrjú skaut. *Diac* virkar eins og tvær 4- laga díóða, önnur liggur sem spegilmynd yfir hina. *Triac* virkar eins og tvær *SCR* rásir þar sem önnur er spegilmynd af hinni en *gate* skaut er sameiginlegt.

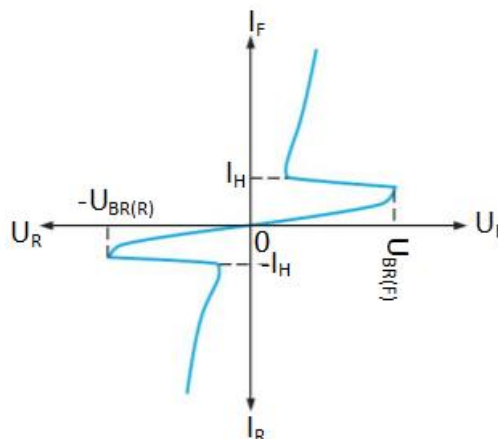
Samsetning og táknmynd á *diac* er sýnd á mynd 17a og 17b. Fyrir *diac* eru skautin merkt sem A_1 og A_2 . Leiðni í *diac* verður þegar spennan yfir hann nær gildi á gegnumslagsspennu U_{BR} . Þetta gerist í báðar áttir. Línuritíð sem sýnt er á mynd 17c sýnir þetta ferli. Straumáttin fer eftir póluninni á spennunni. Slökkt er á *diac* þegar straumurinn í honum verður minni en haldstraumur hans.



17a) Samsetning Diacs.



17b) Táknmynd Diacs.

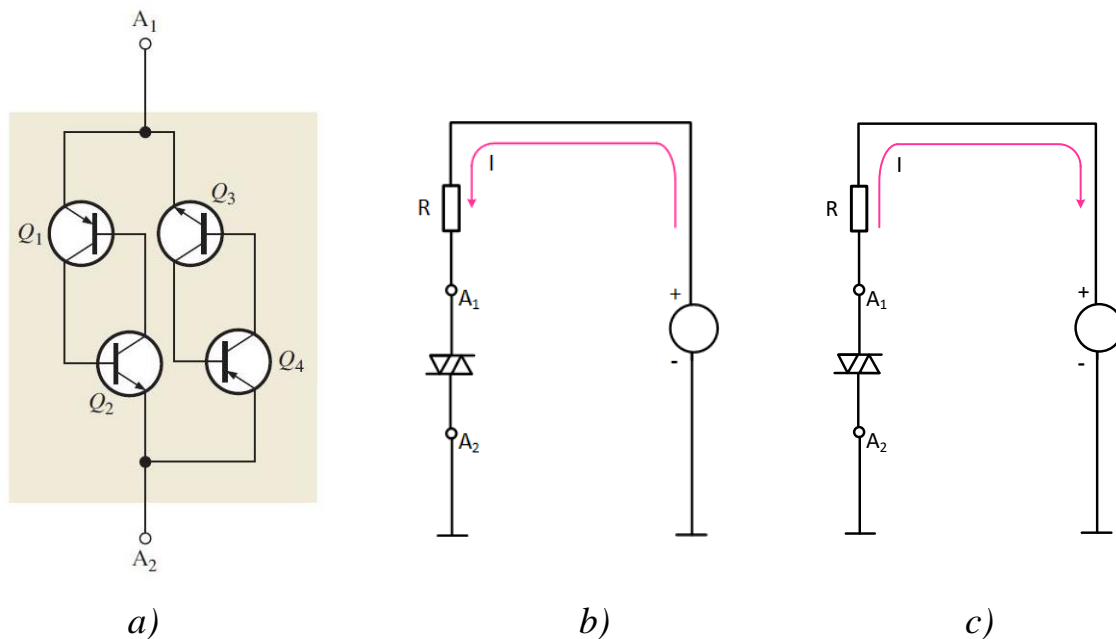


17c) Kennilína Diacs.

Mynd 17.

Rafeindafræði 19. hefti – Tyristorar -

Jafngildismynd af *diac* samanstendur af fjórum transistorum tengdum eins og sýnt er á mynd 18a. Þegar *diac* er forspenntur eins og mynd 18b sýnir virkar íhluturinn frá A_1 til A_2 eins og sýnt var fyrir 4-laga díóðuna. Fyrir jafngildismyndina eru transistorarnir Q_1 og Q_2 forspenntir en Q_3 og Q_4 bakspenntir. Fyrsti fjórðungur í línuriti á mynd 17c sýnir vinnslu *diac* í þessu ástandi. Þegar *diac* er forspenntur eins og mynd 18c sýnir eru transistorarnir Q_3 og Q_4 forspenntir en Q_1 og Q_2 bakspenntir og straumleið í gegn um *diac* er frá skauti A_2 að A_1 . Þriðji fjórðungur á línuriti á mynd 17c sýnir vinnslu *diac* í þessu ástandi.

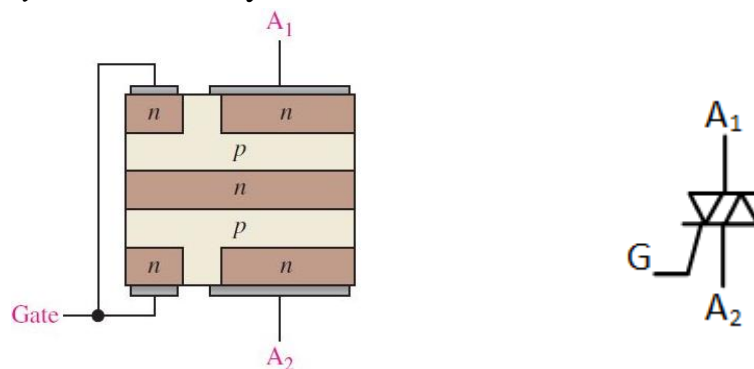


Mynd 18. Jafngildismynd fyrir *diac* og spennutengingar.

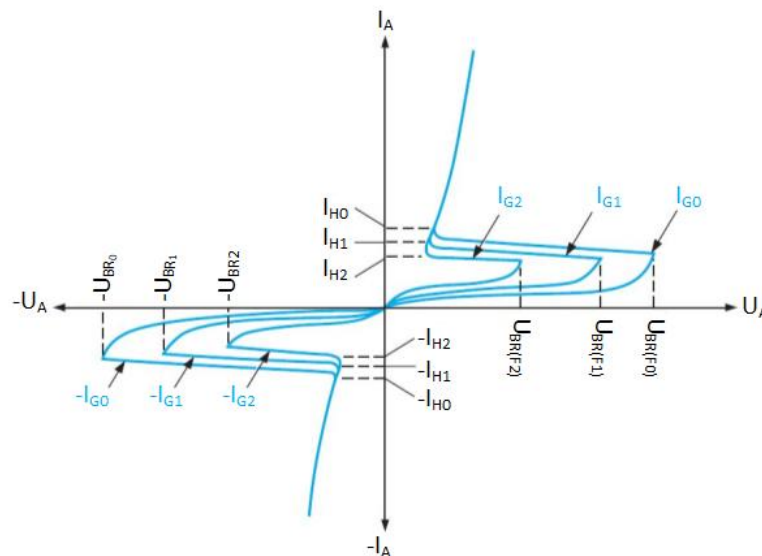
Rafeindafræði 19. hefti – Tyristorar -

1.11 TRIAC

Triac er íhlutur sem er með þrjú skaut. Anóðu 1, anóðu 2 og *gate*. *Triac* er ræstur með straumpúls á *gate* og þarf ekki gegnumslagsspennu eins og fyrir *diac*. Í grunnin virkar *triac* eins og tvær *SCR* rásir sem eru hliðtengdar og móttæðar, en með sameiginlegt *gate* skaut. *Triac* leiðir straum í báðar og ákvarðast straumáttin eingöngu af pólun spennunnar á skautum A_1 og A_2 . Mynd 19a sýnir uppbyggingu á *triacs* og mynd 19b táknmynd *triacs*.



Mynd 19a) Uppbygging Tryac. Mynd 19b) Táknmynd Triac.
Mynd 19. Triac.

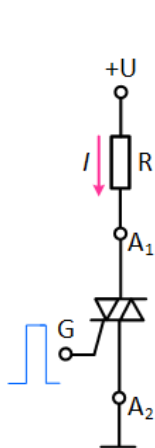


Mynd 20. Jafngildismynd fyrir triac.

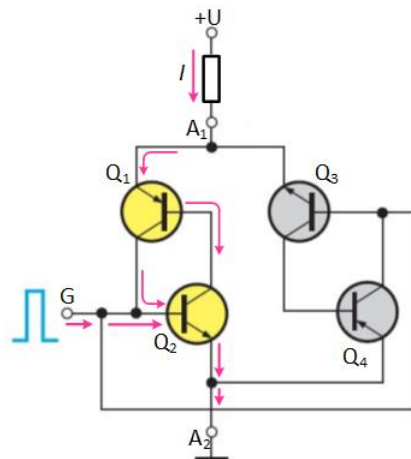
Jafngildismynd fyrir *triac* er sýnd á mynd 20. Tökum eftir að gegnumslagsspennan U_{BR} lækkar eftir því að *gate* straumurinn hækkar eins og fyrir *SCR*. Eins og fyrir aðra tyristora hættir *triac* að leiða þegar anóðustraumurinn lækkar niður fyrir haldstrauminn I_H fyrir íhlutinn.

Rafeindafræði 19. hefti – Tyristorar -

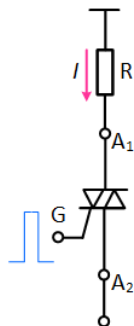
Mynd 21 sýnir hvernig *triac* er ræstur til að leiða í báðar áttir. Á mynd 21a er skaut A_1 forspennt jákvætt miðað við skaut A_2 þannig að *triac* leiðir þegar ræsipúlsinn er jákvæður. Jafngildismynd fyrir þetta er sýnt á mynd 21b og þar leiða transistorarnir Q_1 og Q_2 . Á mynd 21c er skaut A_2 forspennt jákvætt með tilliti til A_1 skautsins þannig að *triacinn* leiðir í hina áttina. Í þessu tilviki leiða transistorarnir Q_3 og Q_4 eins og sést á mynd 21d.



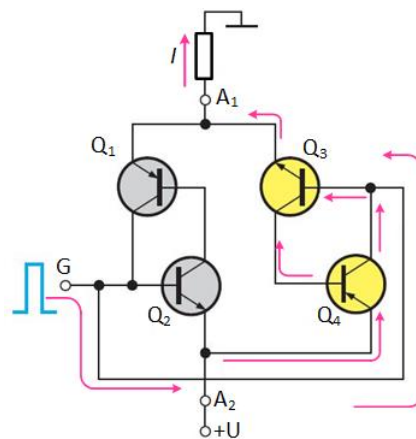
Mynd 21a)



Mynd 21b) Q_1 og Q_2 á (On).



Mynd 21c)



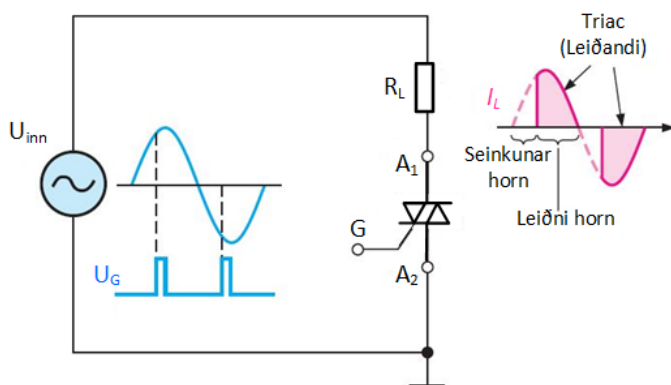
Mynd 21d) Q_3 og Q_4 á (On).

Mynd 21. Tvíhliða vinnsla á *triac*.

Rafeindafræði 19. hefti – Tyristorar -

1.12 Notkun

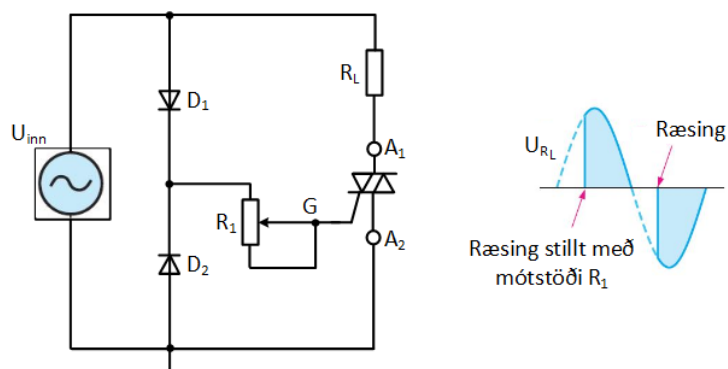
Eins og *SCR* er *triac* notaður til að stjórna afli í álagi með fasastýringu. Hægt er að stjórna *triac* þannig að hluti af báðum sínushelmingum ac spennu er hleypt að álaginu. Það tímabil er kallað seinkunarhorn (*delay angle*) og er mælt í gráðum. Síðan er hann ræstur og fer að leiða þannig að straumur rennur í álaginu á meðan jákvæða hálfbylgjan varir. Þetta kallast leiðnihornið (*conduction angle*). Sama gerist fyrir neikvæðu ac bylgjuna, nema straumurinn rennur í gagnstæða átt. Mynd 22 sýnir þennan feril.



Mynd 22. Fasa stýring.

1.13 Fasa stýring

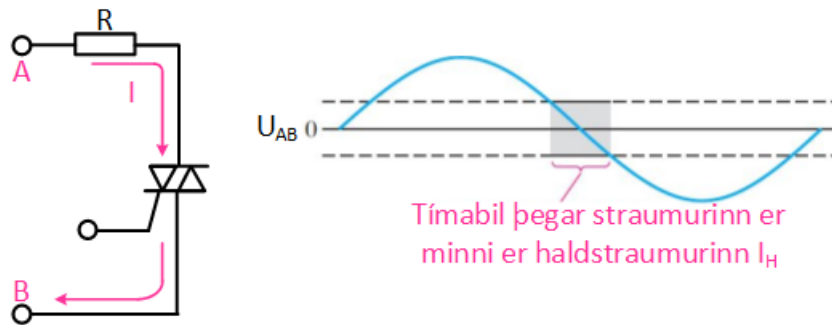
Dæmi um fasastýringu er sýnd á mynd 23. Díóður eru notaðar til að fá ræsipúlsa á *gate*. Díóða D_1 leiðir á jákvæða helming sínusbylgjunnar. Mótstaðan R_1 ákvarðar á hvaða punkti jákvæðu hálfbylgjunnar *triac* ræsir. Skaut A_1 er jákvæðara en skaut A_2 á jákvæðri hálfbylgju. Díóðan D_2 leiðir á neikvæðu hálfbylgjunni og R_1 ákvarðar ræsinguna. Takið eftir því að á þessum hluta hálfbylgjunnar er skaut A_2 og *gate* jákvæð með tilliti til skautsins A_1 . Endanlegt bylgjuform yfir R_L er sýnt á mynd 23.



Mynd 23. Triac fasa stýrð rás.

Rafeindafræði 19. hefti – Tyristorar -

Í fasastýringum er nauðsynlegt að *triac* lokist við lok hvernar jákvæðu og neikvæðu hálfbylgju síns bylgjunnar. Mynd 24 sýnir að það er tímabil þar sem *triac* er lokaður. Þetta er sá tími þegar straumurinn í *triac* er minni en haldstraumur I_H íhlutarins.



Mynd 24. Lokunartími triacs.

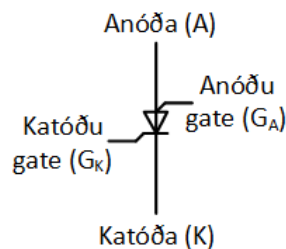
1.14 Dæmi

1. Berið saman *diac* við 4 laga díóðu hvað varðar vinnslu?
2. Berið saman *triac* við *SCR* hvað varðar vinnslu?
3. Hver er mismunur *diac* og *triac*?

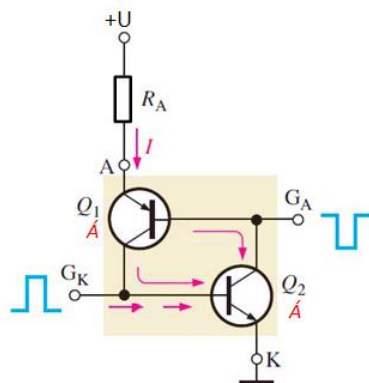
Rafeindafræði 19. hefti – Tyristorar -

1.15 Kísil stýrður rofi (SCS)

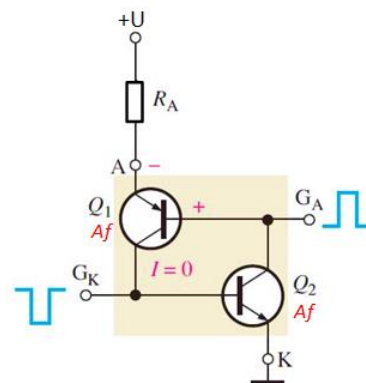
Kísil stýrður rofi (SCS) er svipaður að uppbyggingu og SCR rás en hefur tvö *gate*. Anóðu-*gate* (anóðugátt) og katóðu-*gate* (katóðugátt). Hægt er að ræsa eða loka SCS með púlss á *gate*. Hægt er að skilja vinnslu SCS með því að skoða jafngildismynd hans sem sýnd er á myndum 25b -25c. Táknmynd er sýnd á mynd 25a).



Mynd 25a) Tákn.



Mynd 25b)



Mynd 25c)

Mynd 25b) Ræsing. Jákvæður púlss á G_K eða neikvæður púlss á G_A .
Mynd 25c) Lokun. Jákvæður púlss á G_A eða neikvæður púlss á G_K .

Mynd 25.

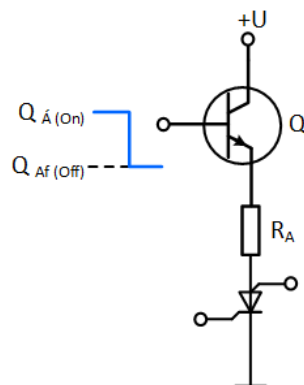
Til að byrja með eru báðir transistorarnir Q_1 og Q_2 lokaðir og SCS rásin leiðir ekki. Jákvæður ræsipúlss á *katóðu-gate* gerir transistor Q_2 leiðandi og opnar leið fyrir *base*-straum transistorsins Q_1 . Þegar transistorinn Q_1 opnar verður *collector*-straumur hans að *base*-straum transistors Q_2 . Þannig þvingast transistorarnir í viðvarandi opnun og SCS rásin er leiðandi.

Rafeindafræði 19. hefti – Tyristorar -

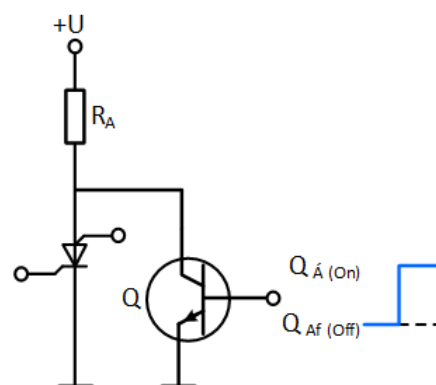
Einnig er hægt að ræsa SCS rás með neikvæðum púlss á anóðu-*gate* eins og sýnt er á mynd 25b. Transistorinn Q_1 leiðir og við það fær Q_2 *base*-straum. Þegar Q_2 er leiðandi er komin leið fyrir *base*-straum til transistors Q_1 þannig að viðvarandi opnun transistoranna er fyrir hendi.

Til að slökkva á SCS er hægt að setja jákvæðan púlss á anóðu-*gate*. Þetta bakspennir *base-emitter* samskeytin á transistorum Q_1 og slekkur á honum. Transistorinn Q_2 lokast og þar með hættir SCS rásin að leiða. Þetta sést á mynd 25c. Einnig er hægt að slökkva með neikvæðum púlss á katóðu-*gate* eins og sýnt er á mynd 25c.

Mynd 26 sýnir tvær aðferðir til að gera anóðu strauminn minni en haldstrauminn I_H . Í báðum tilfellunum virka transistorarnir eins og rofi.



Mynd 26a)



Mynd 26b)

Mynd 26a) Transistor í raðtengingu lokar fyrir SCS.

Mynd 26b) Skammhlaups rofi lokar fyrir SCS.

Mynd 26.

Rafeindafræði 19. hefti – Tyristorar -

1.16 Notkun

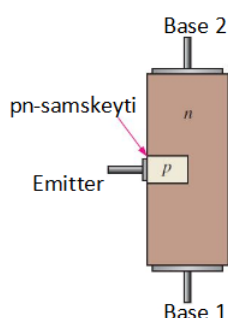
SCS og *SCR* rásir eru notaðar á svipaðan hátt. Kostir *SCS* rásarinnar er að hún hefur hraðari lokunartíma en er aftur á móti með lægri hámarks spennu og straumgetu. *SCS* rásir eru stundum notaðar í stafrænum tækjum eins og teljurum, *registerum* og tímarásum.

1.17 Dæmi

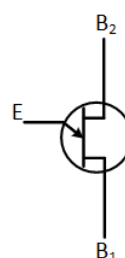
1. Hver er munurinn á *SCS* og *SCR*?
2. Hvernig er hægt að ræsa *SCS* rásir?
3. Skýrið út 3 aðferðir til að slökkva á *SCS*?

2. UNIJUNCTION TRANSISTOR (UJT)

Einpóla transistorinn tilheyrir ekki tyristor fjölskyldunni vegna þess að hann hefur ekki fjögurra laga uppbygginguna. Heitið einpóla (*unijunction*) er vegna þess að *UJT* hefur aðeins ein pn samskeyti. Hann er nýttur sem sveiflugjafi og ræsir í tyristor rásum. *UJT* (*unijunction transistor*) er þriggja póla íhlutur og sýnir mynd 27a uppbyggingu hans. Táknmynd er sýnd á mynd 27b. Skautin heita *Emitter* (E), *Base 1* (B1), og *Base 2* (B2). Táknmyndina má ekki rugla saman við táknmynd *JFET* transistorsins.



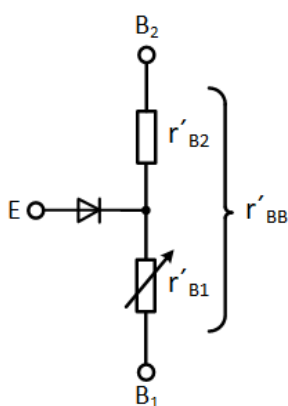
Mynd 27a) Uppbygging á UJT.



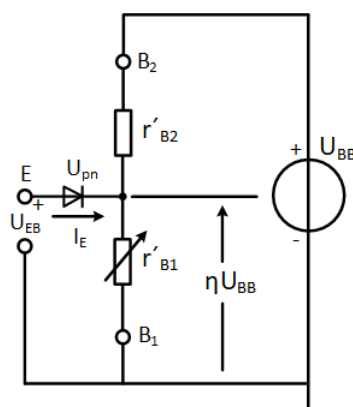
Mynd 27b) Táknmynd.

Mynd 27.

Jafngildismynd *UJT* er sýnd á mynd 28a. Hún er notuð til að skilja virkni transistorsins ásamt mynd 28b.



Mynd 28a)



Mynd 28b)

Mynd 28. Jafngildismynd af *UJT*.

Rafeindafræði 19. hefti – Tyristorar -

Díóðan sem sést á mynd 28 táknar díóðu pn-samskeyti. r'_{B1} táknar virku mótstöðu kísilstangarinnar sem er á milli emitter og base1. r'_{B2} táknar mótstöðuna milli base2 og emitter. $r'_{B1} + r'_{B2}$ er samanlagða mótstaðan milli base skautanna og er:

$$r'_{BB} = r'_{B1} + r'_{B2}$$

Stærð mótstöðunnar r'_{B1} er háð emitterstraumnum og getur tekið gildi sem eru mörg þúsund *ohm* niður í *milliohm*. Þess vegna er það sýnt á mynd 28 sem breytimótstaða. Mótstöðurnar r'_{B1} og r'_{B2} mynda spennudeili. Þannig fæst:

$$U_{r'_{B1}} = \left(\frac{r'_{B1}}{r'_{BB}} \right) \cdot U_{BB}$$

2.1 Íbætistuðullinn η (Standoff Ratio)

Íbætistuðull *UJT* transistors er skilgreindur sem:

$$\eta = \frac{r'_{B1}}{r'_{BB}}$$

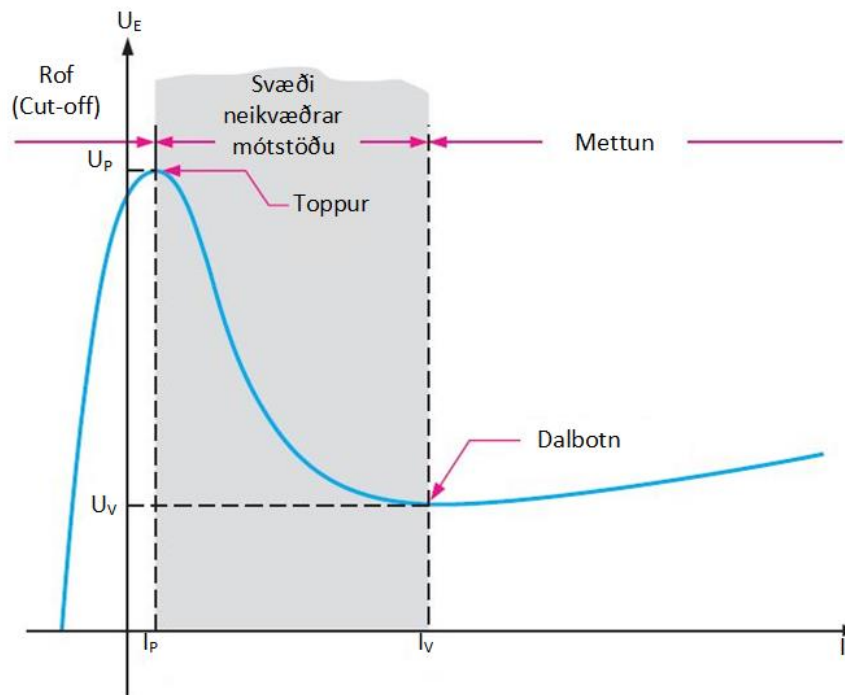
Eins lengi og ásett spenna U_{EB} er minni enn $U_{r'_{B1}} + U_{pn}$ rennur enginn emitterstraumur I_E þar sem díóðan er ekki forspennt. (U_{PN} er hindrunarspenna pn samskeytanna). Emitterspennan sem gerir pn samskeytin leiðandi er kölluð U_P og er skilgreind sem:

$$U_P = \eta \cdot U_{BB} + U_{pn}$$

Þegar U_{EB} nær U_P verða pn samskeytin leiðandi og emitterstraumur I_E fer að renna. Holur streyma inn í n-hluta íhlutarins frá emitter p-hlutanum. Þessi holuaukning veldur aukinni leiðni á frjálsum rafeindum milli emitter og skautsins B_1 og r'_{B1} lækkar.

Eftir að *UJT* transistorinn opnar vinnur hann á svæði neikvæðrar mótstöðu upp að ákveðnu straumgildi á I_E . Þetta sést á mynd 29.

Rafeindafræði 19. hefti – Tyristorar -



Mynd 29. Kennilínurit *UJT* transistors fyrir U_{BB} sem fasti.

Þar sést að eftir að U_P spennu er náð ($U_E = U_P$; $I_E = I_P$) lækkar U_E á meðan I_E eykst. Þess vegna er mótstaðan með neikvæðan hallastuðul. Í dalbotni þegar $U_E = U_V$ og $I_E = I_V$ verður straummettun og lítil sem engin straumaukning á emitterstraum I_E þó að spennan U_E aukist.

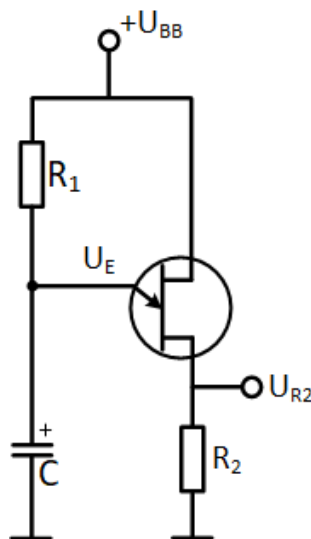
Sýnidæmi:

Í gagnablöðum finnst fyrir *UJT* að $\eta = 0,6$. Finnið hámarks emitterspennuna U_P ef $U_{BB} = 20V$.

$$U_P = \eta \cdot U_{BB} + U_{pn} = 0,6 \cdot 20V + 0,7V = 12,7V$$

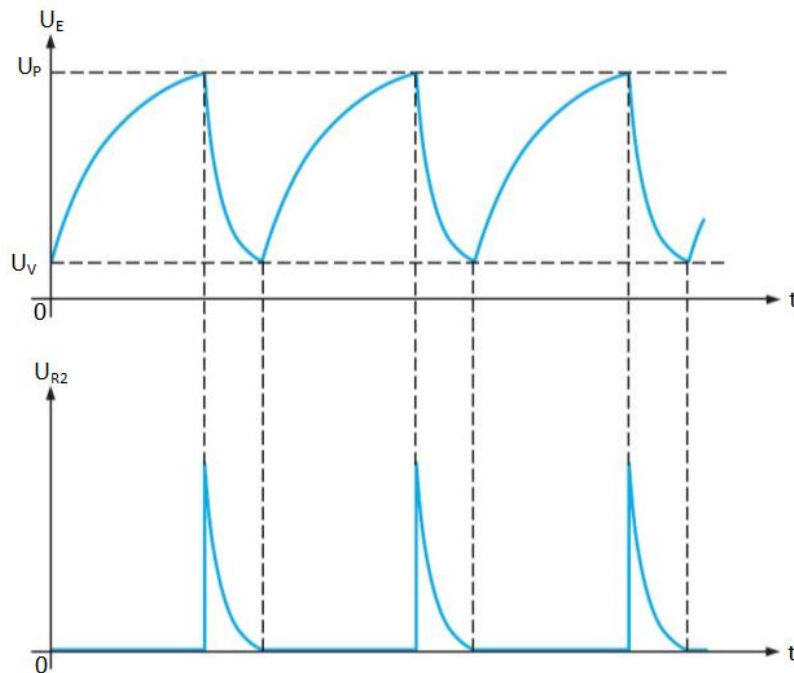
2.2 Notkun á UJT transistorum

Hægt er að nota *UJT* transistorinn til að búa til ræsipúlssa fyrir *SCR* og *triac* rásir. Hann er einnig notaður til að búa til sveifflugjafa sem ekki gefa frá sér sínusbylgjur heldur sagtenntar sveiflur. Einnig er hann notaður í fasastýringar og tímarásir. *Mynd 30* sýnir *UJT* sem sjálfsveiflandi nálarodda (*relaxation*) sveifflugjafa.



Mynd 30. Sjálfsveiflandi (Relaxation) sveifflugjafi.

Vinnsla rásarinnar er eftirfarandi. Þegar spennunni U_{BB} er hleypt á rásina hleðst þéttirinn C upp í gegn um mótstöðuna R_1 þangað til að fengin er ræsispennan U_P . Við þessa spennu verða pn samskeyti *UJT* transistorsins leiðandi og mótstaðan r'_{B1} fellur og leiðni verður milli emitters og skautsins B_1 . Þéttirinn afhleðst þar í gegn. Þegar spennan yfir þéttinn nálgast spennuna U_V lokar *UJT* transistorinn og þéttirinn tekur til við að hlaðast upp aftur. Þetta ferli endurtekur sig í sífellu og er sýnt á *mynd 31*. Við afhleðslu á þéttinum C verða til nálarodda spennupúlssar yfir mótstöðu R_2 eins og sýnt er á *mynd 31b*.



Mynd 31. Bylgjuform fyrir UJT sjálfsveiflandi (relaxation) sveiflugjafa.

2.3 Forsendur ræsingar (Turn-On)/lokunar (Turn-Off)

Fyrir sjálfsveiflandi nálarodda sveiflugjafann á mynd 30 þurfa réttar forsendur ræsingar og lokunar að vera fyrir hendi. Í fyrsta laga má mótstaðan R_1 ekki vera hemjandi fyrir emitterstrauminn í I_P punktinum. Til að tryggja þetta á spennufallið yfir mótstöðuna R_1 að vera hærra en $I_P R_1$. Eftirfarandi skilyrði eiga að vera uppfyllt:

$$U_{BB} - U_P > I_P \cdot R_1$$

eða

$$R_1 < \frac{U_{BB} - U_P}{I_P}$$

Rafeindafræði 19. hefti – Tyristorar -

Til að tryggja lokun í *UJT*-dalnum verður mótstaðan R_1 að vera nægjanlega stór til að tryggja að emitterstraumurinn þar geti orðið lægri en I_V . Þetta þýðir að spennufallið yfir mótstöðuna R_1 verður að vera minna en $I_V R_1$. Eftirfarandi skilyrði verða að vera uppfyllt við lokun:

$$U_{BB} - U_V < I_V \cdot R_1$$

eða

$$R_1 < \frac{U_{BB} - U_V}{I_V}$$

Til að fá rétta opnun og lokun á stærðargildi mótstöðunnar R_1 að vera á bilinu:

$$\frac{U_{BB} - U_P}{I_P} > R_1 > \frac{U_{BB} - U_V}{I_V}$$

Sýnidæmi:

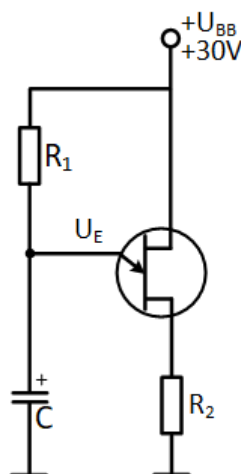
Finnið gildi á mótstöðunni R_1 á mynd 32 sem tryggir rétta opnun og lokun.

Eftirfarandi er gefið: $\eta = 0,5$, $U_V = 1V$, $I_V = 10 \text{ mA}$, $I_P = 20 \mu\text{A}$, og $U_P = 14V$.

$$\frac{U_{BB} - U_P}{I_P} > R_1 > \frac{U_{BB} - U_V}{I_V}$$

$$\frac{30V - 14V}{20\mu A} > R_1 > \frac{30V - 1V}{10mA}$$

$$800k > R_1 > 2,9k\Omega$$



Mynd 32.

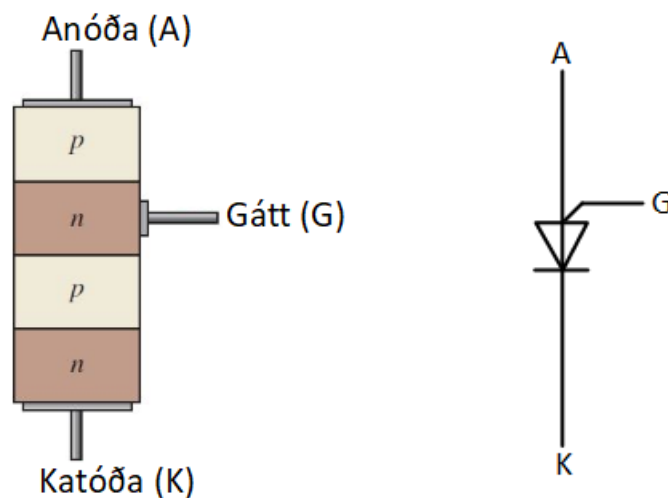
Rafeindafræði 19. hefti – Tyristorar -

2.4 Dæmi

1. Finnið gildi á mótstöðunni R_1 á mynd 32 sem tryggir rétta opnun og lokun. Eftirfarandi er gefið: $\eta = 0,33$, $U_V = 0,8V$, $I_V = 15 \text{ mA}$, $I_P = 35 \mu A$ og $U_P = 18V$. $U_{BB} = 25V$.
2. Hvað heita skaut *UJT* transistorsins?
3. Hvernig er íbætistuðull *UJT* transistor skilgreindur?
4. Nefnið þrjú atriði sem ákvarða sveiflutíma sjálfsveiflandi sveifflugjafans í mynd 30?

2.5 Forritanlegur einpóla transistor (PUT)

Forritanlegi einpóla transistorinn (*programmable unijunction transistor (PUT)*) er einskonar *tyristor* og alls ekki uppbyggður eins og *UJT* transistor. Eina sem þeir eiga sameiginlegt er að hægt er að nota *PUT* í staðin fyrir *UJT* í sumum sveiflurásum. Uppbygging *PUT* (*programmable unijunction transistor*) er svipuð *SCR* (4-laga díóðunnar) fyrir utan það að *gate* er staðsett eins og mynd 33 sýnir.



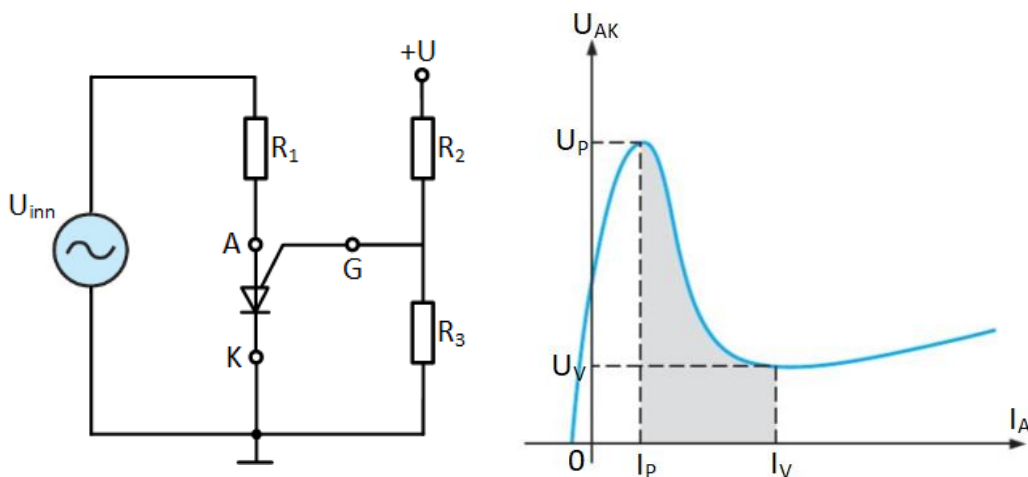
Mynd 33. Forritanlegur einpóla transistor (*PUT*).

Gate er tengd n-svæði anóðu megin. PN – samskeytin anóðu megin stýra af/á virkni rásarinnar. *Gate* skautið er alltaf jákvætt (+) miðað við katóðuna. Þegar anóðuspennan verður 0,7 voltum hærri en *gate* spennan verða pn-samskeytin forspennt í leiðandi átt og *PUT* rásin opnar og er opin þangað til anóðuspennan verður minni en kveikispennan. Þá lokast hún.

Rafeindafræði 19. hefti – Tyristorar -

2.6 Ákvörðun ræsispennu fyrir PUT

Hægt er að ræsa *PUT* við ákveðin skilyrði með hjálp ytri spennugjafa og spennudeili eins og sýnt er á mynd 34 þannig að þegar anóðuspennan verður 0,7 voltum hærri ræsir *PUT* við *gate* „forrituðu“ spennu.



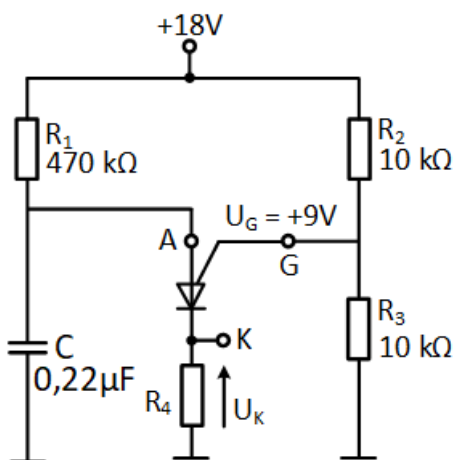
Mynd 34a) Rás.

Mynd 34b) Kennilínurit.

Mynd 34. *PUT*.

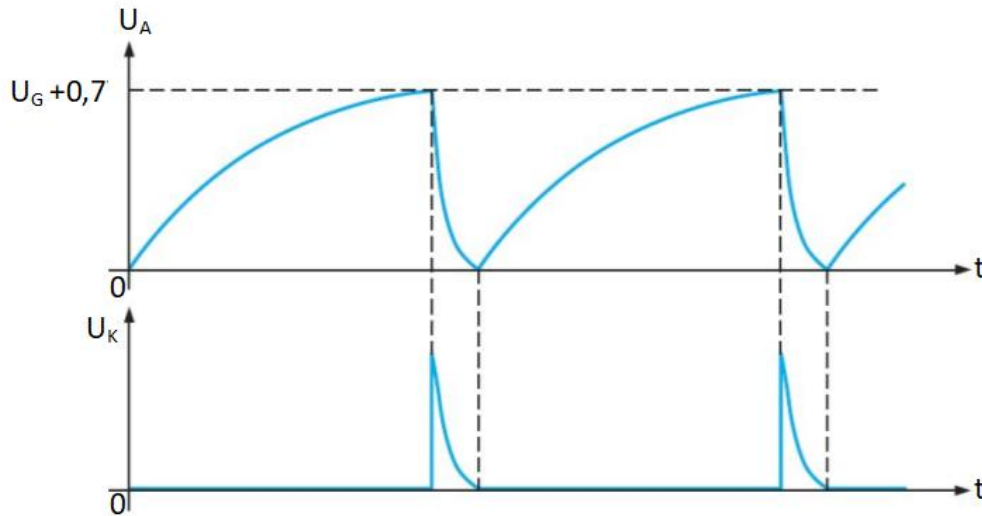
2.7 Notkun á *PUT*

Línurit af *PUT* sem sýnir U_{AK} sem falla af straumnum I_A er sýnt á mynd 34 b. Ferillinn er líkur ferli *UJT* transistorsins. Þess vegna er hægt að nota *PUT* í staðin fyrir *UJT* í mörgum rásum. Ein slík rás er sjálfsveiflandi (*relaxation*) sveifflugjafi eins og sýnt er á mynd 35a.



Mynd 35 a).

Rafeindafræði 19. hefti – Tyristorar -



Mynd 35 b).

Mynd 35. PUT sjálfsveiflandi (relaxation) sveifflugjafi.

Virknin er eftirfarandi. Gate spennan er forspennt („forrituð“) fyrir 9V með spennudeili sem samanstendur af mótstöðum R_2 og R_3 . Þegar spenna er sett á *PUT* rásina hleðst þéttirinn C upp í gegn um mótstöðu R_1 . Þegar spennan yfir þéttinn nær gildinu $U_G + 0,7V$ ræsir *PUT* og þéttirinn afhleðst í gegn um mótstöðuna R_4 (mótstaðan milli AK verður mjög lítil). Spennupúls fæst yfir mótstöðu R_4 við afhleðsluna. Um leið og þéttirinn er afhlaðin lokar *PUT* íhluturinn og ferlið endurtekur sig. Þetta sést á mynd 35b.

2.8 Dæmi

1. Hvað þýðir hugtakið „forritanlegur“ fyrir *PUT* rás?
2. Berið saman uppbyggingu *PUT* rásar miðað við *UJT* og *SCR*.

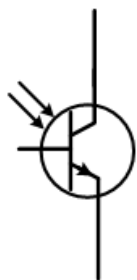
Rafeindafræði 19. hefti – Tyristorar -

3. Ljósnaemir (photo) transistorar

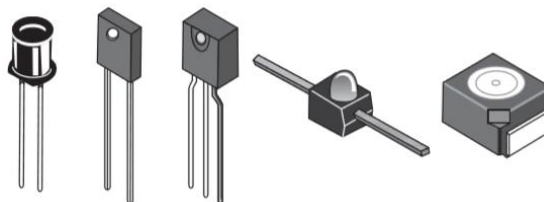
Ljósnaemir transistorar hafa ljósnaem *collector* - *base* samskeyti. Ef ljós lýsir á linsu transistorhússins og pn-samskeytin rennur í honum basestraumur I_λ sem er í beinu hlutfalli við ljósmagnið sem fellur á pn-samskeytin. Þetta veldur *collector* straumaukningu sem er í takt við aukninguna í I_λ . Ljósnaemir transistorar haga sér nákvæmlega eins og *BJT* transistorar nema að ljós myndar base-strauminn. Samhengið á milli *collector*-straums og base-straums í ljósnaemum transistor er:

$$I_C = h_{FE} \cdot I_\lambda$$

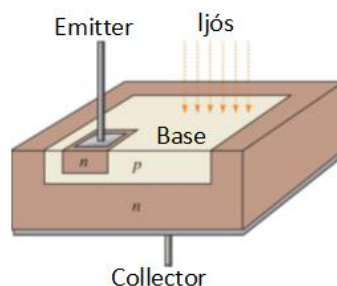
Táknmynd ljósnaems transistors er sýnd á mynd 36a. Mynd 36b sýnir möguleg hús sem hann kemur í. Mynd 36c sýnir uppbyggingu ljósnaema transistorsins.



Mynd 36a) Táknmynd.



Mynd 36b) Hús.

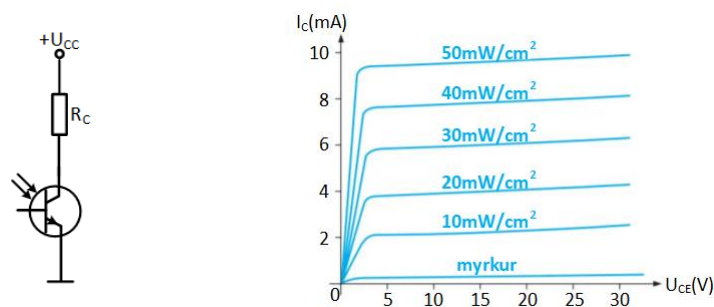


Mynd 36c) Uppbygging.

Mynd 36. Ljósnaemur transistor.

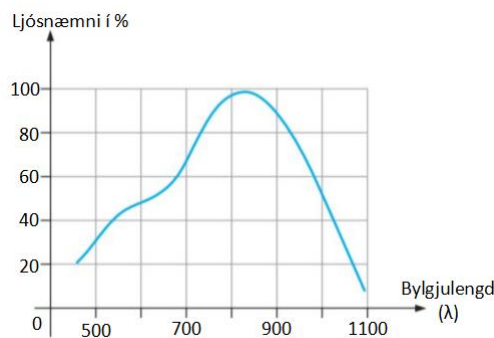
Ljósnaemur transistor getur verið tveggja skauta eða þriggja skauta íhlutur. Í þriggja skauta útgáfunni er hægt að tengja *base* skautið þannig að transistorinn virki eins og hefðbundinn *BJT* transistor með eða án ljósnaemni möguleikanum. Mynd 37 sýnir hvernig hægt er að forspenna ljósnaeman transistor.

Rafeindafræði 19. hefti – Tyristorar -



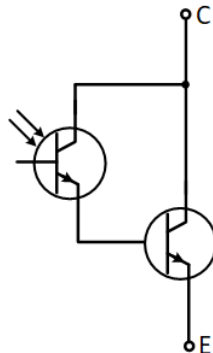
Mynd 37. Ljóstransistorrás ásamt U_{CE} - I_C kennilínuriti.

Í I_C - U_{CE} línuritinu eru straumlínurnar miðaðar við ákveðið ljósmagn mW/cm^2 og þar sést collector straumurinn I_C eykst með auknu ljósmagni. Ljósæmir transistorar eru ekki næmir fyrir öllu ljóssviðinu, heldur fyrir bylgjulengdum λ innan ákveðins ramma. Þetta er sýnt á mynd 38.



Mynd 38. Ljósæmnisvið ljósæmni transistors.

Ljósæmur darlingtontransistor er sýndur á mynd 39. Þar sem straummögnunin $h_{FE} = h_{FE_1} \cdot h_{FE_2}$ er miklu meiri en í hefðbundnum ljósæmum transistor er næmni hans fyrir ljósi miklu meiri.

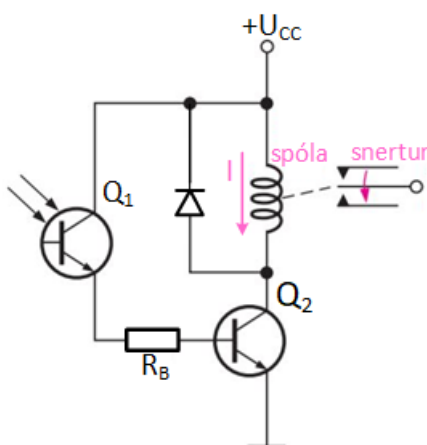


Mynd 39. Ljósæmur darlingtontransistor.

Rafeindafræði 19. hefti – Tyristorar -

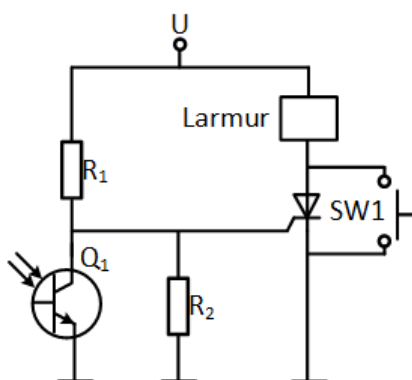
3.1 Notkun

Ljósnaemir transistorar eru notaðir í mörgum rásum. Rofarás sem notar ljósnaeman transistor er sýnd á mynd 40. Ljósnaemi transistorinn Q_1 drífur BJT transistorinn Q_2 . Þegar nóg birta skín á Q_1 er transistor Q_2 settur í mettnun og segulrofinn slær til. Díóðan yfir spóluna er til að verja transistorinn fyrir afhleðslustraumi frá spólunni þegar ljósið hverfur af transistornum Q_1 .



Mynd 40.

Þessar rásir má nota t.d. sem sjálfvirka hurðaopnara, teljara, í viðvörunarkerfi o.s.fr. Önnur einföld notkun á ljósnaemum transistor er sýnd á mynd 41. Hér er ljósnaemi transistorinn normalt opinn og þess vegna er engin spennan á *gate* á *SCR*.



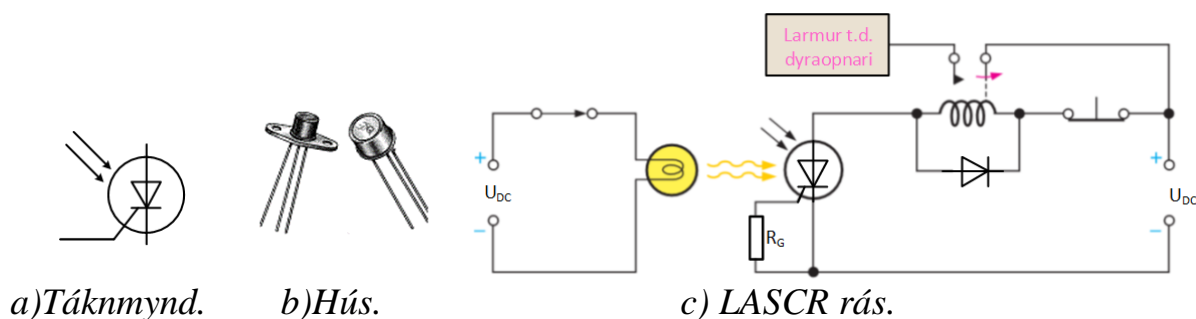
Mynd 41.

Ef ljósið rofnar að transistornum, slekkur hann á sér og spennan kemur á *gate*. Við það opnar *SCR* íhluturinn og „*Larm*“ rásin ræsir. Augnabliksrofinn *SW1* er til þess að slökkva á *SCR* íhlutnum.

Rafeindafræði 19. hefti – Tyristorar -

3.2 Ljósstýrður SCR (LASCR)

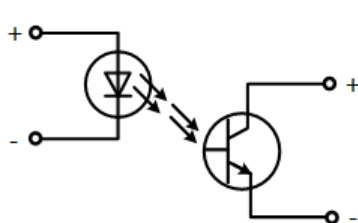
Ljós stýrður kísil afriðill (*LASCR*) virkar eins og hefðbundin *SCR* rás nema að því leiti að hægt er að ræsa hana með ljósi. Flestar *LASCR* rásir hafa *gate* skaut þannig að hægt sé einnig að ræsa þær á hefðbundin hátt. Mynd 42a sýnir táknmynd *LASCR* en mynd 42b íhlutahús. Næmri *LASCR* fyrir ljósi er mest þegar *gate* er ekki tengd. Næmnina má minnka með því að tengja mótstöðu frá *gate* skautinu að katóðu. Mynd 42c sýnir notkun á *LASCR* í rás til að stýra segulrofa. Vert er að taka eftir að ljósgjafi *LASCR* er einangraður frá öðrum hluta rásarinnar.



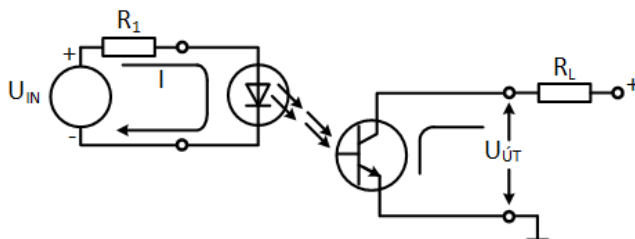
Mynd 42.

3.3 Ljóstengi (OPTICAL COUPLERS)

Ljóstengi eru hönnuð með það í huga að ná fram spennueinangrun milli inn- og útgangsrásar. Þetta er gert til að ná fram vörn fyrir skammvinnum háspennupúlsum og truflunum sem geta valdið villumeldingu eða eyðilaggt tæki. Ljóstengi eru einnig notuð til að tengja saman tæki með mismunandi vinnuspennur, mismunandi jarðartengingar og fl. Inngangsrás ljóstengis er vanalega ljósdíóða en útgangurinn getur verið margskonar. Einn möguleikinn er ljósnæmur transistor eins og sýnt er á mynd 43a.



Mynd 43a)

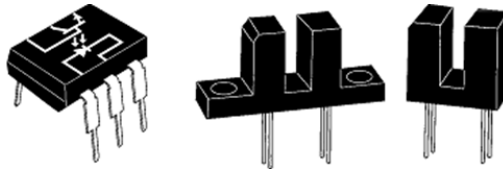


Mynd 43b)

Mynd 43. Ljóstengi.

Rafeindafræði 19. hefti – Tyristorar -

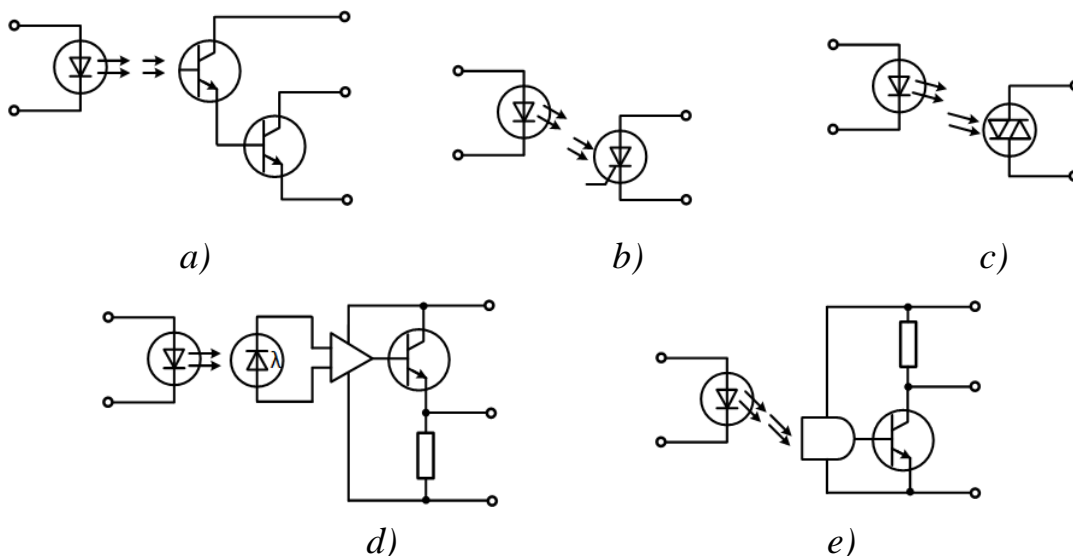
Þegar díóðan er forspennt lýsir hún og ljósið fellur á ljósnæma transistorinn sem leiðir. Straumleið opnast í gegn um transistorinn eins og sýnt er á *mynd 43b*. Mismunandi hús ljóstengja er sýnd á *mynd 44*.



Mynd 44. Mismunandi hús ljóstengja.

Hægt er að auka næmni ljóstengis með darlington tengdum transistorum eins og sýnt er á *mynd 45a*. Gallinn við þetta er að rofhraðinn minnkar verulega.

LASCR útgangstenging er sýnd á *mynd 45b*. Sem dæmi má nota þennan íhlut þar sem tengja þarf saman lágspennna rás sem stýrir háspenntri rofarás sem á að ræsa sem dæmi mótör. Ljóststyrður triac er sýndur á *mynd 45c*. Sem dæmi má nota þennan íhlut þar sem tengja saman lágspennna rás við t.d 230 Vac stýringu.



Mynd 45. Mismunandi gerðir af ljóstengjum.

Mynd 45d sýnir ljóstýrðan straum/spennu breytir. Hér breytir rásin straum yfir í spennu. Svona rás má nota til að yfirfæra straumpúlsa í spennupúlsa til notkunar í símstöðvum og ýmsum hljóðrásum.

Mynd 45e sýnir stafrænan útgang. Sem dæmi um notkun eru fyrir jaðartæki sem ætlað er að tengjast tölvum. Eðlileg spennueinangrun í ljóstengjum áður en hann eyðileggst er 7500 Vac topp.