Ólínulegar rafrásir (10 stig)

Lestu almennu leiðbeiningarnar sem eru í sérstöku umslagi áður en þú byrjar á þessu verkefni.

Inngangur

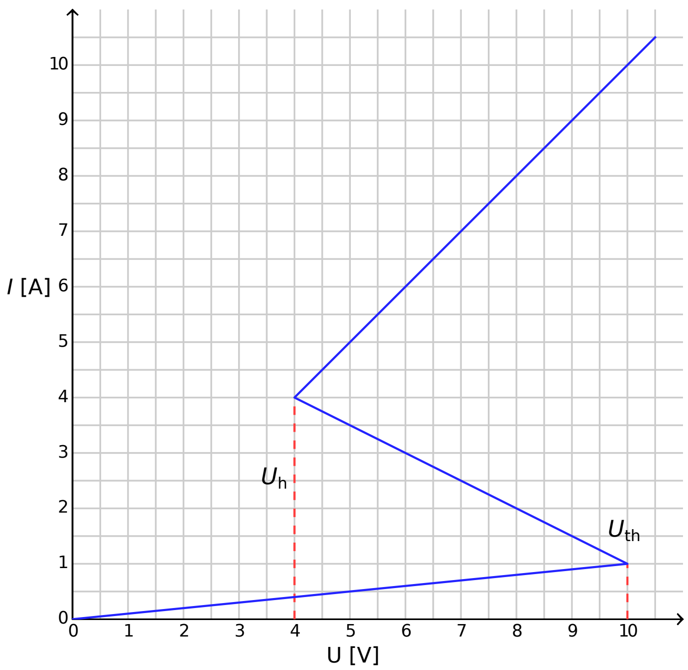
Tvístöðugir ólínulegir hálfleiðara-íhlutir (s.s. rofsmárar, *thyristors*) eru víða notaðir í rafeindatækni sem rofar eða til þess að fá fram sveiflur í rásum. Helsta hagnýting rofsmára er stýring riðstraums (*AC current*) í aflrafeindatækni, til dæmis afriðun riðstraums í jafnstraum (*DC current*) við mjög háa orku (á megawatt-skala). Tvístöðug efni eru einnig notuð í líkönum fyrir sjálfskipuleggjandi fyrirbæri í eðlisfræði (fjallað um í hluta B), líffræði (sjá hluta C) og öðrum sviðum þar sem ólínuleg fyrirbæri koma fyrir.

Markmið

Markmið verkefnisins er tvíþætt: Fyrst að kanna óstöðugleika (*instabilities*) og flókna hreyfifræði rása með ólínulegum íhlutum (ólínuleg $I-V$ kennilína); því næst að kanna mögulega hagnýtingu slíkra rása í verkfræði, og í líkönum fyrir taugakerfi.

Hluti A. Sístæð ástönd og óstöðugleikar (3 stig)

Mynd. 1 sýnir svokallaða **S-laga** $I-V$ kennilínu sem einkennir ólínulega íhlutinn X. Fyrir spennu milli $U_{\mathrm{h}} = 4.00\ \mathrm{V}$ (haldspennan) og $U_{\mathrm{th}} = 10.0\ \mathrm{V}$ (þröskuldsspennan) er $I-V$ kennilínan marggilt fall. Til einföldunar þá er grafið á Mynd 1 línulegt á köflum (*piecewise linear*, hver hluti ferilsins er bein lína) . Ef línan í efri grein grafsins er framlengd fer hún í gegnum núllpunktinn. Þetta er góð nálgun fyrir raunverulega rofsmára.



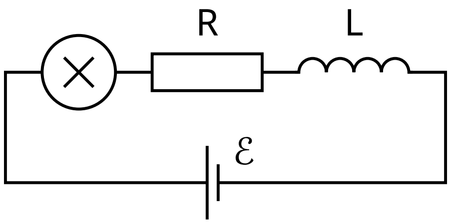
Mynd 1: $I-V$ kennilína ólínulega íhlutarins X.

A.1 Notaðu grafið til að ákvarða viðnám R_{on} íhlutar X á efri grein $I-V$ kennilínunnar, og viðnámið R_{off} á neðri greininni. Miðgreininni er lýst með jöfnunni **0.4pt**

$$I = I_0 - \frac{U}{R_{\text{int}}}. \quad (1)$$

Finndu gildi I_0 og R_{int}.

Íhluturinn X er raðtengdur (sjá Mynd 2) við viðnám R, spólu L og fullkominn spennugjafa $\mathcal{E}$ (þ.e. ekkert innra viðnám). Við segjum að rásin sé í sístæðu ástandi (*stationary state*) ef straumurinn er fastur óháð tíma, þ.e. $I(t) = \text{fasti}$.



Mynd 2: Rás með íhlut X, viðnámi R, spólu L og spennugjafa $\mathcal{E}$.

A.2 Fyrir fast R getur rásin haft mismunandi fjölda sístæðra ástanda, háð gildi $\mathcal{E}$. Hverjir eru mögulegir fjöldar sístæðra ástanda fyrir fast $\mathcal{E}$ ef $R = 3.00\ \Omega$? Hvernig breytist svarið ef $R = 1.00\ \Omega$? **1pt**

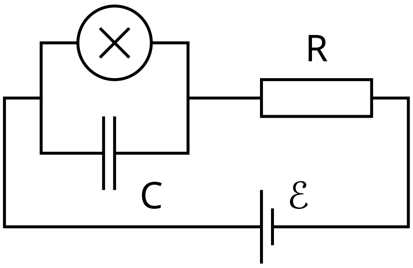
A.3 Látum $R = 3.00\ \Omega$, $L = 1.00\ \mu\text{H}$ og $\mathcal{E} = 15.0\ \text{V}$ í rásinni sem sýnd er á Mynd 2. Ákvarðið gildi straumsins $I_{\text{stationary}}$ og spennunnar $V_{\text{stationary}}$ yfir ólínulega íhlutinn X þegar rásin er í sístæða ástandinu. **0.6pt**

Hugsum okkur að rásin á Mynd 2 sé í sístæða ástandinu með $I(t) = I_{\text{stationary}}$. Sagt er að sístæða ástandið sé stöðugt ef straumurinn fer til baka í sístæða strauminn eftir að hafa verið hnikað örlítið (hann aukinn eða minnkaður). Ef kerfið heldur áfram að fjarlægjast sístæða ástandið er sagt að það sé *óstöðugt*.

A.4 Notið sömu gildi og í spurningu **A.3** og kannið hvort sístæða ástandið $I(t) = I_{\text{stationary}}$ sé stöðugt eða óstöðugt. **1pt**

Hluti B. Rofsmárar í eðlisfræði: Útvarpssendir (5 stig)

Næst könnum við nýja rás (sjá Mynd 3). Nú er ólínulegi íhluturinn X hliðtengdur við þétti með rýmd $C = 1.00\ \mu\text{F}$. Þessi samsetning er síðan raðtengd við viðnám $R = 3.00\ \Omega$ og fullkominn spennugjafa $\mathcal{E} = 15.0\ \text{V}$. Það mun koma í ljós að í þessari rás verða sveiflur þar sem straumurinn í ólínulega íhlutnum X stekkur frá einni grein $I-V$ kennilínunnar yfir á aðra grein í hverri lotu.



Mynd 3: Rás með íhluti X, þétti C, viðnámi R og spennugjafa $\mathcal{E}$.

B.1	Teiknaðu leiðina sem kerfið fer í einni lotu sveiflunnar á $I-V$ grafið. Merktu stefnuna (réttsælis eða rangsælis) einnig inn á myndina. Rökstuddu svarið bæði með teikningum og jöfnum.	1.8pt

B.2	Ákvarðaðu stæður (formúlur) fyrir lengdir tímabilanna t_1 og t_2 sem kerfið ver á hvorri grein $I-V$ grafsins í einni lotu sveiflunnar. Ákvarðaðu einnig töluleg gildi þeirra. Findu tölulegt gildi fyrir sveiflutímann T, ef gert er ráð fyrir að stökkin milli greina $I-V$ grafsins taki hverfandi tíma.	1.9pt

B.3	Finndu nálgunargildi fyrir afltapið P í ólínulega íhlutnum X í einni lotu sveiflunnar. Það er nóg að áætla stærðargráðuna.	0.7pt

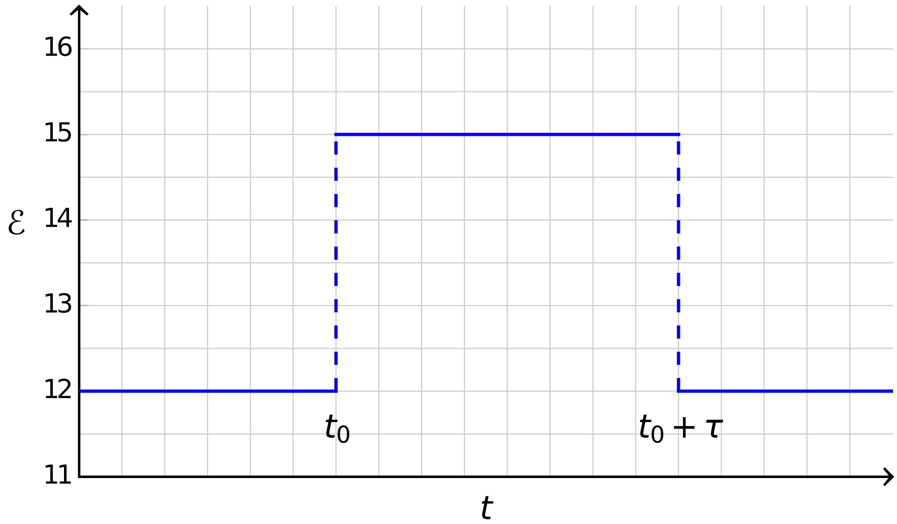
Rásin á mynd 3 er notuð til þess að smíða útvarpssendi. Íhluturinn X í rásinni er tengdur við annan endann á línulegu loftneti (langur beinn vír) með lengd s. Hinn endi vírsins er laus. Í loftnetinu myndast rafsegulstaðbylgja (*standing wave*). Hraði rafsegulbylgjunnar eftir loftnetinu er sá sami og í lofttæmi. Sendirinn notar grunnsveiflu kerfisins sem hefur sveiflutímann T í spurningu **B.2.**

B.4	Hvert er besta mögulega gildi fyrir lengdina s, gefið að lengdin megi ekki vera meiri en $1\ \mathrm{km}$?	0.6pt

Hluti C. Rofsmárar í líffræði: Taugasmárar (2 stig)

Í þessum hluta verkefnisins skoðum við hagnýtingu rofsmára í líkani fyrir líffræðilegt ferli. Taugungur eða taugafruma (*neuron*) í mannsheilanum hefur eftirfarandi eiginleika, sem kallast *ertanleiki* (*excitability*): Þegar taugungurinn er örvaður af utanaðkomandi merki fer hann í gegnum eina sveiflu og endar aftur í upphafsástandi sínu. Því getur púls í einum taugungi breiðst út til tengdra taugunga í taugakerfinu. Hálfleiðaraflaga sem er hönnuð til að líkja eftir ertanleika og útbreiðslu púlsa í taugungi kallast taugasmári (*neuristor*).

Við líkjum eftir einföldum taugasmára með rás sem inniheldur ólínulega íhlutinn X úr fyrri hlutum verkefnisins. Við notum rásina á Mynd 3 en nú með spennugjafa sem getur myndað stuttan púls (sjá Mynd 4). Til að byrja með tekur spennan lægra gildi $\mathcal{E}' = 12.0\ \mathrm{V}$. Undir þessum kringumstæðum hættir sveiflan í rásinni, og kerfið nær sístæða ástandinu. Næst er spennan skyndilega aukin aftur í upprunalega gildið $\mathcal{E} = 15.0\ \mathrm{V}$. Spennan heldur þessu gildi í stuttan púlstíma τ (með $\tau < T$) áður en hún fellur skyndilega í lægra gildið $\mathcal{E}'$. Það kemur í ljós að til er ákveðið markgildi $\tau_{\mathrm{crit.}}$, þannig að kerfið hegðar sér á ólíkan hátt fyrir $\tau < \tau_{\mathrm{crit}}$ annas vegar og fyrir $\tau > \tau_{\mathrm{crit}}$ hins vegar.



Mynd 4: Spenna spennugjafans sem fall af tíma.

C.1	Skissaðu graf sem sýnir hvernig straumurinn $I_X(t)$ í gegnum ólínulega íhlutinn X er háður tíma fyrir $\tau < \tau_{\text{crit}}$ annars vegar, og fyrir $\tau > \tau_{\text{crit}}$ hins vegar.	1.2pt

C.2	Finndu stæðu (formúlu) og tölulegt gildi fyrir markgildið τ_{crit}.	0.6pt

C.3	Hegðar rásin sér eins og taugasmári ef púlstíminn er $\tau = 1.00 \times 10^{-6}$ s?	0.2pt