Mælitækni I:

Mælingar með viðnámsbrú

Kafli 5

Jón Tómas Guðmundsson

tumi@hi.is

20. september 1999

Heimildir

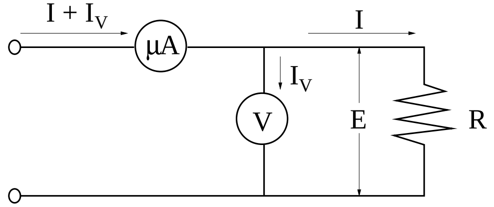
- David A. Bell, *Electronic Instrumentation and Measurements*, 2 ed., Prentice Hall, 1994, kafli 7
- Joseph J. Carr, *Elements of Electronic Instrumentation and Measurement*, Prentice Hall, 1996, kafli 4.1 – 4.6

Inngangur

- Mælingar á viðnámi með ohmmælum eru einfaldar en ekki mjög nákvæmar
- Nákvæmnismælingar á viðnámi er best að gera með Wheatstone brú
- Fyrir mælingar á mjög lágum viðnámum er notuð endurbætt Wheatstone brú, sem nefnd er Kelvin brú
- Mælingar á mjög háu viðnámi, eins og einangrurum, krefjast hárrar spennu, straummæla sem mæla lágan straum, og sérstakrar tækni til að aðskilja yfirborðslekastraum frá strumnum sem fer um efnið sem mælt er

Inngangur

- Ein leið til að ákvarða viðnám er að leggja spennu yfir það og mæla straum og spennu



- Spennumælirinn mælir spennuna E yfir viðnámið en straummælirinn sýnir summu straumsins um viðnámið og spennumælinn
- Reiknað viðnám er þá

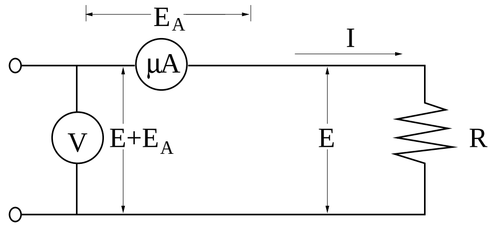
$$R = \frac{E}{I + I_V}$$

en á að vera E/I

- Rásin er í lagi ef R er óvera í samanburði við innra viðnám spennumælis

Inngangur

- Önnur leið er að tengja eins og myndin sýnir



- Straummælirinn mælir nú strauminn sem fer um viðnámið I
- Spennumælirinn mælir $E + E_A$ þar sem E_A er spennufall yfir straummælinn
- Reiknað viðnám verður

$$R = \frac{E + E_A}{I}$$

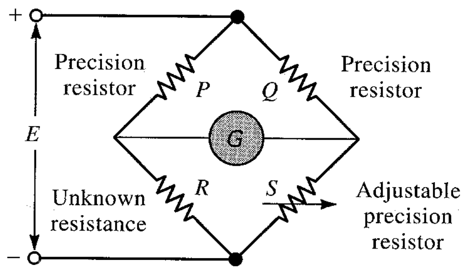
í stað E/I

- Rásin er í lagi ef R er mun stærra en innra viðnám straummælis

$\Longrightarrow$ Dæmi 5.1.

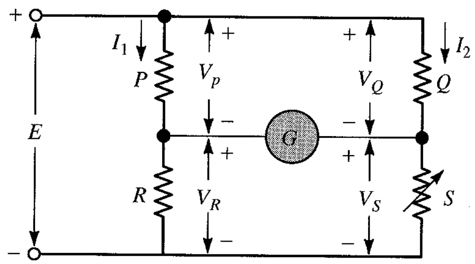
Wheatstone brú

- Nákvæmnis viðnámsmælingar eru gjarnan framkvæmdar með Wheatstone brú
- Brúin samanstendur af óþekkta viðnáminu sem mæla skal R, tveimur nákvæminsviðnámum P og Q, stillanlegu viðnámi S, og straummæli G
- Spennugjafi E veldur straum um viðnámin



Wheatstone brú

- Til að ákvarða viðnámið R er er stillanlega viðnáminu breytt þar til straummælirinn sýnir engan straum
- Brúin er þá sögð vera í jafnvægi
- Myndin hér að neðan sýnir spennur og strauma í rásinni þegar hún er í jafnvægi



Wheatstone brú

- Þegar straummælirinn sýnir núll þá eru spennurnar á báðum pólum hans jafnar eða

$$V_P = V_Q \qquad \text{og} \qquad V_R = V_S$$

- Þar eð engin straumur fer um straummælinn þá rennur I_1 um bæði P og R og I_2 um Q og S.
- Þannig er

$$I_1 R = I_2 S$$

$$I_1 P = I_2 Q$$

og þar af leiðir

$$\frac{I_1 R}{I_1 P} = \frac{I_2 S}{I_2 Q} \qquad \text{eða} \qquad \frac{R}{P} = \frac{S}{Q}$$

sem gefur óþekkta viðnámið

$$R = \frac{SP}{Q}$$

- Ef nákvæm gildi á S, P og Q er þekkt, þá er viðnámið R nákvæmlega ákvarðað

Wheatstone brú

- Næmni Wheatstone brúarinnar ræðst af straumnæmni og viðnámi straummælisins og álagðri spennu
- Skoðum Thevenin rás brúarinnar
- Fyrst fjarlægjum við straummælinn. Tómgangsspennan yfir pólana er þá

$$V_R - V_s = \frac{E_B R}{R + P} - \frac{E_B S}{Q + S}$$

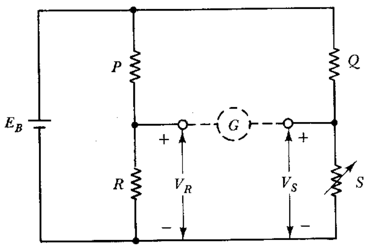
- Viðnámið yfir pólana er ákvarðað með því að gera ráð fyrir að spennugjafi hafi innra viðnám sem er óverulegt miðað við viðnám viðnámsbrúarinnar. Þá er viðnámið inná pólana

$$r = P \| R + Q \| S$$

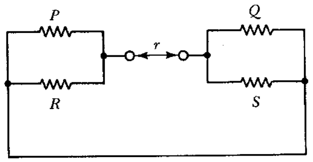
- Straumurinn um straummælinn er

$$I_g = \frac{V_R - V_s}{r + r_g}$$

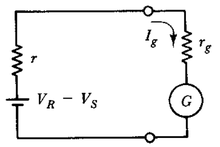
Wheatstone brú



(a) Open-circuit voltage at the galvanometer terminals is $(V_R - V_S)$



(b) Internal resistance is $r = P \parallel R + Q \parallel S$



(c) Thévenin equivalent circuit

Wheatstone brú

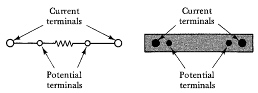
- Straumurinn um straummælinn er
$$I_g = \frac{V_R - V_s}{r + r_s}$$
- Straumurinn er aukin með því að auka muninn á V_R og V_s og þennan mun má auka með aukinni álagðri spennu E_B
- Ef notaður er næmari straummælir má minnka muninn á V_R og V_s
- Næmni brúarinnar má auka með því að auka spennuna E_B eða með næmari straummæli
- Viðnámin sem mæla skal skulu ávallt vera mun stærri en tengi- og leiðsluviðnám rásarinnar
- Raunverulegt lægsta viðnám sem mæla má með Wheatstone brú er um 5 Ω og hæsta viðnám er um 10^{12} Ω

  $\Longrightarrow$ Dæmi 5.2.

  $\Longrightarrow$ Dæmi 5.3.

Wheatstone brú

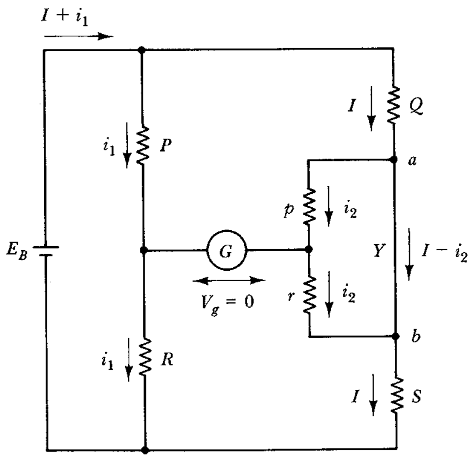
- Mjög mikilvægt er að hægt sé að mæla mjög nákvæmlega lág viðnám eins og affalssviðnám straummæla
- Lág viðnám verða að hafa mjög vel skilgreinda tengipunkta



- Tvennskonar tengipunktar eru skilgreindir:
  - Straumtengipunktar
  - Mættistengipunktar
- Straumtengipunktarnir eru á útjöðrum viðnámsins og um þau fer mikill straumur Mættistengipunktarnir eru á milli straumtengipunktanna og um þau fer lítill straumur μA – mA. Því er tiltölulega lítið spennufall yfir skeyti þeirra
- Viðnám bútsins er ákvarðað með mættinu á milli mættistengipunktanna

Kelvin brú

- Spennufall yfir viðnám Y milli tengipunktanna a og b veldur skekju í mælingu með hefðbundinni Wheatstone brú
- Í Kelvin brú er bætt við tveimur viðnámum p og r. Þegar viðnámshlutfallið p/r er nákvæmlega P/R þá er eytt áhrifum viðnámsins Y



Kelvin brú

- Þegar straummælirinn sýnir núll þá er spennan yfir póla mælisins núll, $V_g = 0$
- Þá fer straumurinn i_1 um P og sami straumur fer um R
- Straumurinn I fer um Q. Hann kofnar upp við a, þ.a. i_2 fer um p og r og $I - i_2$ fer um Y. Straumurinn um S er I
- Þegar brúin er í jafnvægi er spennufallið yfir R jafnt spennufallinu yfir r og S

$$i_1 R = i_2 r + IS$$

eða

$$IS = R\left(i_1 - \frac{i_2 r}{R}\right) \tag{1}$$

Kelvin brú

- Jafnframt er spennufallið yfir P hið sama og spennufallið yfir p og Q

$$i_1 P = i_2 p + IQ$$

eða

$$IQ = P\left(i_1 - \frac{i_2 p}{P}\right) \tag{2}$$

- Deilum í jöfnu (2) með jöfnu (1)

$$\frac{IQ}{IS} = \frac{P(i_1 - i_2 p/P)}{R(i_1 - i_2 r/R)}$$

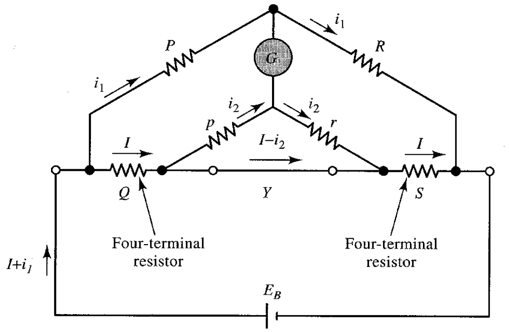
og $p/r = P/R$ eða $p/P = r/R$. Því er $Q/S = P/R$ svo

$$Q = \frac{SP}{R}$$

þar sem Q er óþekkta viðnámið, S er lágt staðalviðnám og P, R, p pg r eru nákvæm viðnám

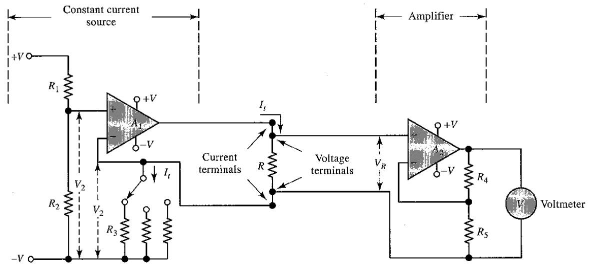
Kelvin brú

- Dæmigerð Kelvinbrú með S og Q sem fjórskautsviðnám



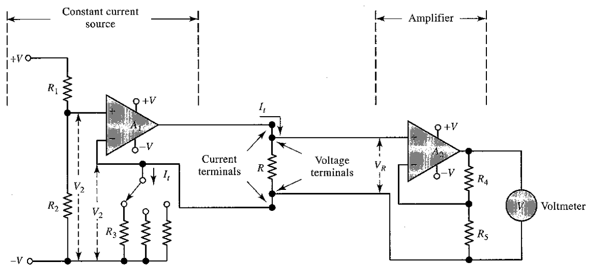
- Mælisvið Kelvinbrúar er 10 $\mu\Omega$– 1 Ω
- Mælinákvæmni getur verið 0.2 % en ræðst af þeim bútum sem eru notaðir

Tæki til lágviðnámsmælinga



- Aðgerðamagnarinn A_1 og tilheyrandi bútar mynda rás sem gefur fastan straum
- Spennan V_2 sem lögð er á + inngang aðgerðamagnarans er hin sama og spenna yfir viðnámið R_3
- Ef V_2 er fasti þá er straumurinn um R_3 fasti (V_2/R_3) og er prufustraumurinn I_t sem fer um viðnámið sem mælt er

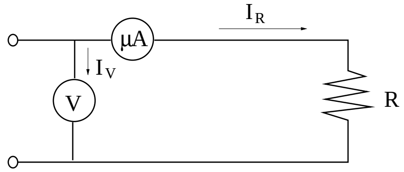
Tæki til lágviðnámsmælinga



- Spennufallið yfir viðnámið V_R er magnað með magnaranum A_2 og sent á spennumælirásina, sem er annað hvort stafrænn eða hliðræn
- Straumsviðinu er breytt með því að breyta viðnáminu R_3

Háviðnámsmælingar

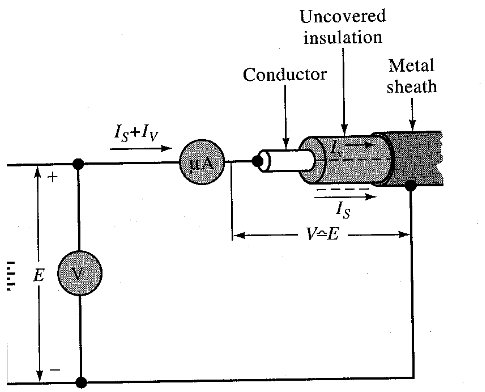
- Mjög há viðnám má mæla með spennumæli og míkróstraummæli en þá þarf háspennugjafa til að framkalla mælanlegan straum



- Vandamál skapast þegar mæld eru mjög há viðnám þar eð það samanstendur af tveimur þáttum
  - Bolviðnámi
  - Yfirborðsviðnámi

Háviðnámsmælingar

- Skoðum nú kapalinn á myndinni hér að neðan. Þagar spenna er lögð á koma fram tveir straumþættir
  - Bolstraumur, I_V, sem fer um einagrarann og til skermsins
  - Yfirborðsstraumur (lekastraumur) fer eftir yfirborði einangrarans

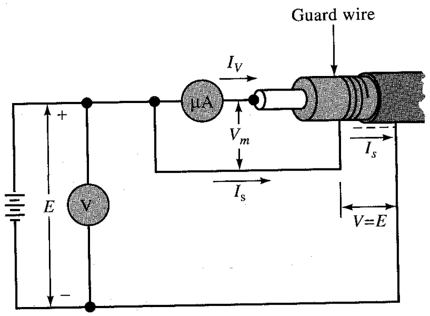


- Báðir straumarnir fara um straummælinn. Viðnámið sem mælt er þá samsíðatenging viðnámanna tveggja

Háviðnámsmælingar

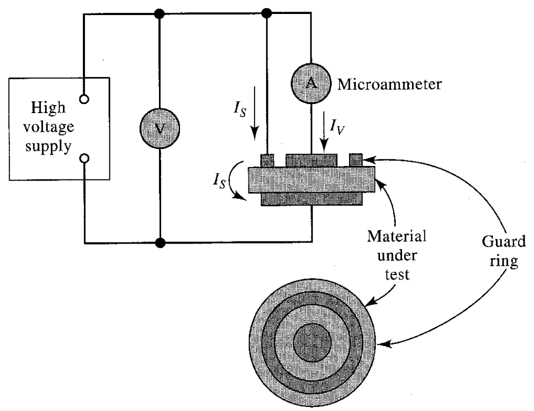
- Til að aðskilja viðnámsþættina má beita vörðun (e. guarding)
- Þá er vafinn vírlykkja utanum einangrarann og tengd framan við straummælinn
- Aðeins bolstraumurinn fer þá um straummælinn og

$$r_v = \frac{E}{I_V}$$



Háviðnámsmælingar

- À myndinni sést hvernig viðnám einangrandi skífu er mælt með því að beita vörðun.
- Vörðunarhringurinn kemur í veg fyrir að yfirborðsstraumurinn fari um straummælinn



$\Longrightarrow$ Dæmi 5.4.

Háviðnámsmælingar

- Hér er Wheatstone brú notuð til háviðnámsmælingar
- Þegar brúin er í jafnvægi er enginn spennumunur á milli póla straummælisins og því enginn yfirborðsstraumur á sýninu