

Mælitækni I:

Mælingar með viðnámsbrú

Kafl 5

Jón Tómas Guðmundsson

tumi@hi.is

3. september 2007

1

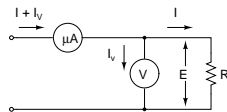
Inngangur

- 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 viðnámmum 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

2

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

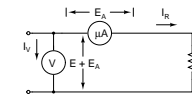
$$R = \frac{E}{I + I_v} \quad \text{en á að vera} \quad E/I$$

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

3

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

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

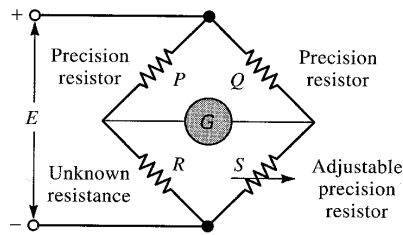
í stað E/II_R

- Rásin er í lagi ef R er mun stærra en innra viðnám straummælis
- ⇒ Dæmi 5.1.

4

Wheatstone brú

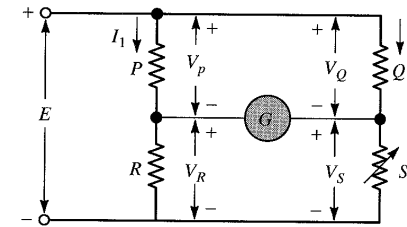
- Nákvæmni viðnámsmælingar eru gjarnan framkvæmdar með Wheatstone brú
- Brúin samanstendur af óþekkta viðnáminu sem mæla skal R , tveimur nákvæmsviðnámsum P og Q , stillanlegu viðnámi S , og straummæli G
- Spennugjafi E veldur straum um viðnámin



5

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



6

Wheatstone brú

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

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

- 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

$$I_1 R = I_2 S$$

$$I_1 P = I_2 Q$$

7

Wheatstone brú

- Þar af leiðir

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

sem gefur óþekkta viðnámið

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

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

8

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

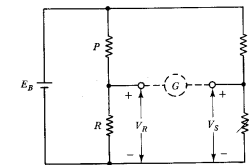
$$V_R - V_S = \frac{E_B R}{R + P} - \frac{E_B S}{Q + S}$$

- 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

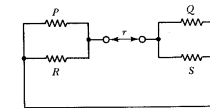
$$r = P \parallel R + Q \parallel S$$

9

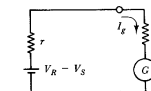
Wheatstone brú



(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

10

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

11

Wheatstone brú

- Næmni brúarinnar má auka með því að auka spennuna E_B eða með næmari straummæli
- Viðnámín sem mæla skal skulu ávallt vera mun stærri en tengi- og leiðsluviðnám rásarinnar
- Raunverulegt lægsta viðnám sem mæla má með Wheatstone brú er um 5Ω og hæsta viðnám er um $10^{12} \Omega$

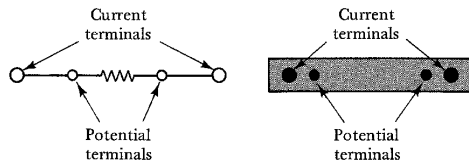
⇒ Dæmi 5.2.

⇒ Dæmi 5.3.

12

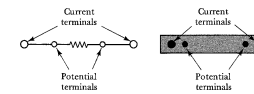
Wheatstone brú

- 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



13

Wheatstone brú

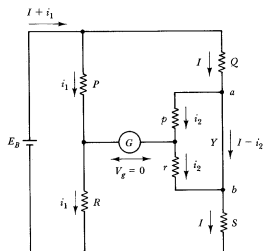


- Tvennskonar tengipunktar eru skilgreindir:
 - Straumtengipunktar
 - Mættistengipunktar
- Straumtengipunktarnir eru á útjöðrum viðnámsins og um þau fer mikill straumur Mættistengipunktarnir eru á milli straumtengipunktanna og um þau fer lítill straumur $\mu\text{A} - \text{mA}$. Því er tiltölulega lítið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

14

Kelvin brú

- Spennufall yfir viðnám Y milli tengipunktanna a og b veldur skekkju 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



15

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

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

16

Kelvin brú

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

$$i_1 P = i_2 p + IQ$$

eða

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

- 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

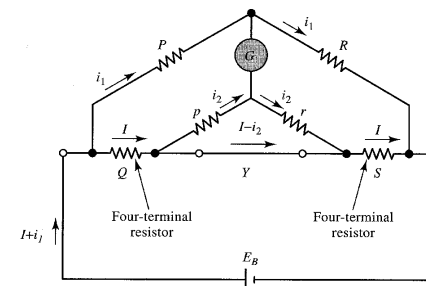
$$Q = \frac{SP}{R}$$

þar sem Q er óþekkt viðnámið, S er lágt staðalviðnám

17

Kelvin brú

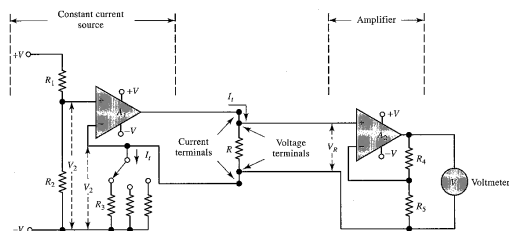
- Dæmigerð Kelvinbrú með S og Q sem fjórskautsviðnám



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

18

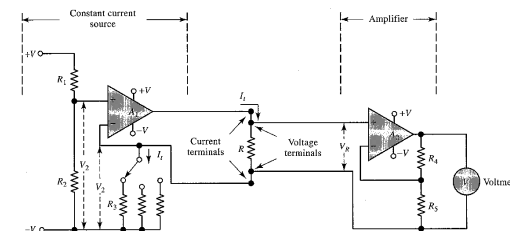
Tæki til lágviðnámsmælinga



- 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

19

Tæki til lágviðnámsmælinga

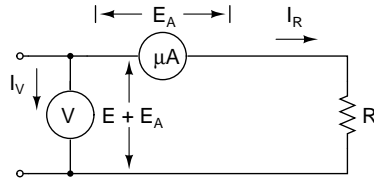


- Spennufallið yfir viðnámið V_R er magnað með magnaranum A_2 og sent á spennumælirásina, sem er annað hvort stafrænn eða hliðræn
- Straumsviðinu er breytt með því að breyta viðnáminu R_3

20

Háviðnámsmælingar

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

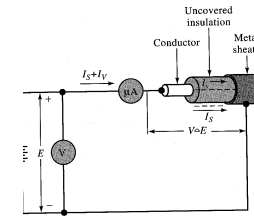


- Vandamál skapast þegar mæld eru mjög há viðnám þar eð það samanstendur af tveimur þáttum
 - Bolviðnámi
 - Yfirborðsviðnámi

21

Háviðnámsmælingar

- Skoðum nú kapalinn á myndinni hér að neðan. Þegar spenna er lögð á koma fram tveir straumbættir
 - Bolstraumur, I_V , sem fer um einangrarann og til skrmsins
 - Yfirborðsstraumur (lekastraumur) fer eftir yfirborði einangrarans



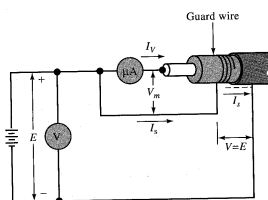
- Báðir straumarnir fara um straummælinn. Viðnámið sem mælt er þá samsíðatenging viðnámana tveggja

22

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

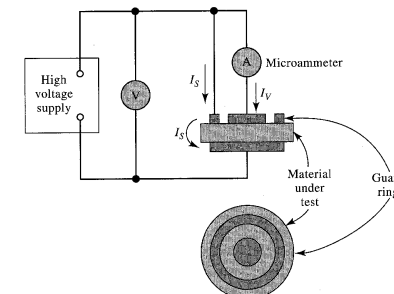
$$r_v = \frac{E}{I_V}$$



23

Háviðnámsmælingar

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

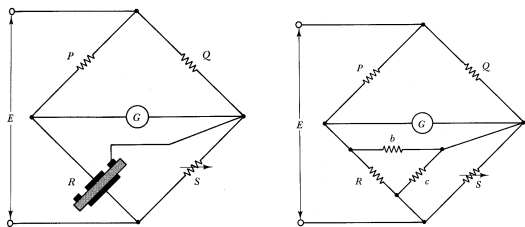


⇒ Dæmi 5.4.

24

Háviðnámsmælingar

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



25

Frekara lesefni

Um viðnámsmælibrýr má lesa víða enda verið notaðar um áraraðir. Benda má á Carr (1996, kafla 4.1. – 4.6), og Bell (1994, kafla 7). Þá er kafla um Wheatstone brýr hjá Wolf and Smith (2003, bls. 295 – 303).

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.

26