Mælitækni I:

DC og AC Spennu- og straummælar

Kafli 2

Jón Tómas Guðmundsson

tumi@hi.is

30. ágúst 1999

Heimildir

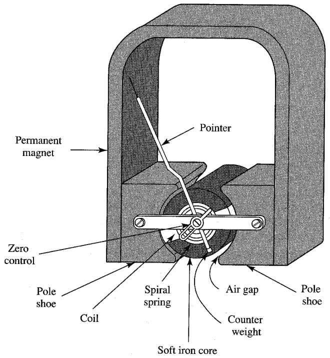
- Joseph J. Carr, *Elements of Electronic Instrumentation and Measurement*, Prentice Hall, 1996, kaflar 3.1 – 3.13

Vísandi mælitæki

Helstu hlutar mælitækis:

- Búnaður sem gefur knývægi á hreyfanlegan hluta
- Búnaður sem gefur mótvægi. Oftast gert með fjöður
- Vísir (eða spegill sem beinir ljósgeisla á skala)
- Kvarðaður skali
- Dempun til að deyfa of miklar sveiflur um lokastöðu vísis
- Upphenging, þ.e. búnaður til að hengja hreyfihluta mælitækisins í fasta hlutann
- Skermun, þ.e. mælitækið er lokað inni í húsi til að ytra segulsvið hafi minni áhrif

Vísandi mælitæki

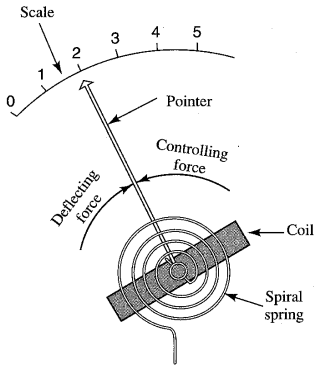


- Notkun vísandi mælitækja til að mæla dc straum má rekja til uppgötvunnar Hans Oersted á sambandi milli straums og segulsviðs um 1820.
- Àrið 1881 fékk Jacques d'Arsonval einkaleyfi á snúðspólumæli til straummælinga. À þeirri hugmynd byggja snúðspólumælar þeir sem í dag eru í notkun og eru kallaðir d'Arsonval snúðspólumælar eða sísegul snúðspólumælar (e. permanent magnet moving coil (PMMC)).

Vísandi mælitæki

Hlestu gerðir vísandi mælitækja:

- Snúðspólumælir (e. moving coil)
- Deigjárnsmælir (e. moving iron)
- Elekrodynamisk tæki



Snúðspólumælir, straumur í spólunni veldur færslu, mótvægi er framkallað með fjöður. Þegar kraftarnir eru í jafnvægi er vísirinn stöðugur.

Vísandi mælitæki

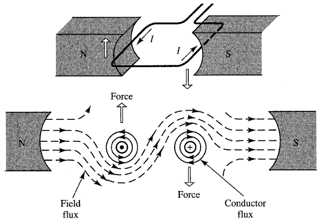
Fjöldi hliðrænna tækja byggir á því að rafsegulsvið myndast umhverfis leiðara sem um fer rafstraumur.

Þetta er notað til að framkalla færslu á bendi.

Það er gert á ýmsa vegu

- Með víxlverkun segulsviðs sem myndast umhverfis spólu við sísegul
- Með víxlverkun járnseglaðra vængja í segulsviði spólu
- Með víxlverkun segulsviðs sem myndað er með fleiri en einni spólu

Vísandi mælitæki



- Séu þessir kraftar þvingaðir til að mynda snúningsfærslu verður til vægi

$$Gf(i) \qquad [\mathrm{Nm}]$$

sem ræðst af straumnum í spólunni og gerð kerfisins.

- Þetta vægi er í jafnvægi við vægi sem eykst í réttu hlutfalli við hornið sem vísirinn snýst. Þetta vægi er fengið með fjöður eða teygju og hefur stærðina

$$k\alpha \qquad [\mathrm{Nm}]$$

þar sem α er hornið í radíönum og k er fjaðurstuðull.

Vísandi mælitæki

- Hreyfihlutar tækis hafa hverfitregðu J og þegar breyting verður á vísuninni kemur fram hröðunarvægi

$$J\frac{\mathrm{d}^2\alpha}{\mathrm{d}t^2} \qquad [\mathrm{Nm}]$$

- Þar eð hreyfihlutarnir eru festir á fjöður mynda þeir saman massa-gorm kerfi með deyfistuðli D þ.a.

$$D\frac{\mathrm{d}\alpha}{\mathrm{d}t} \qquad [\mathrm{Nm}]$$

  sem dregur úr sveiflum á vísi þegar rafmerki um spóluna er breytt

Vísandi mælitæki

Jafna sem lýsir hreyfingu vísis

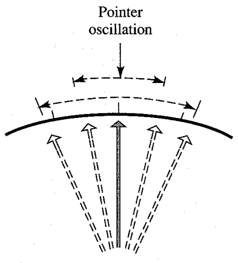
$$J\frac{\mathrm{d}^2\alpha}{\mathrm{d}t^2} + D\frac{\mathrm{d}\alpha}{\mathrm{d}t} + k\alpha = M$$

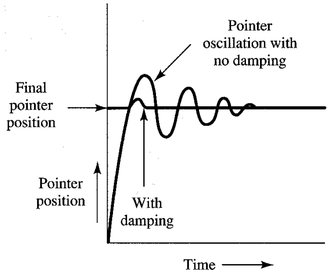
þar sem

- M knývægið sem veldur útslagi
- α útslagið
- D deyfistuðull
- J massatregðuvægi hreyfihluta
- k fjaðurstuðull

Þetta er línuleg annarar gráðu diffurjafna með föstum stuðlum

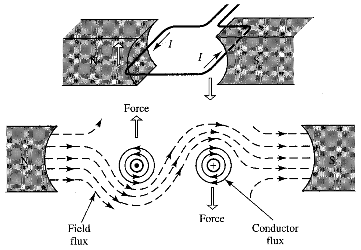
Vísandi mælitæki





- Dempunin sem verkar á vægið gegnir mikilvægu hlutverki í svörun mælitækisins
- Venjulega eru mælitæki örlítið minna en markdempuð til að vísir skipti hratt frá einni stöðu í aðra.

Snúðspólumælir



Gerum ráð fyrir rétthyrndri spólu af lengd l og með þvermál $2r$.

Knývægið er gefið með

$$M = 2Fr$$

Kraftur sem verkar á leiðara í segulsviði er

$$F = BIl$$

og séu n vafningar í spólunni

$$F = nBIl$$

Snúðspólumælir

Lítum aftur á diffurjöfnuna

$$J\frac{\mathrm{d}^2\alpha}{\mathrm{d}t^2} + D\frac{\mathrm{d}\alpha}{\mathrm{d}t} + k\alpha = M$$

Við jafnvægi (í æstæði) er

$$\frac{\mathrm{d}^2\alpha}{\mathrm{d}t^2} = \frac{\mathrm{d}\alpha}{\mathrm{d}t} = 0$$

svo

$$k\alpha = M$$

eða

$$\alpha = \frac{2rlnBI}{k} = \frac{n}{k}BAI$$

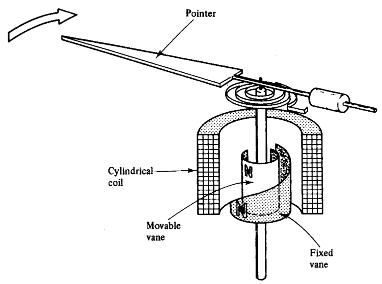
þar sem $A = 2rl$ og n, k, B og A eru fastar þ.a.

$$\alpha = k_d I$$

og útslagið er því í réttu hlutfalli við strauminn I í snúðspólunni og skalinn er línulegur.

Mjúkjárnsmælir

Straumur fer um fasta spólu og veldur kraftverkun milli tveggja kjarna



Til þess að finna útslag þessa mælis er gengið út frá jöfnunni fyrir orku í segulsviði spólu með sjálfspani L og og straum i

$$W = \frac{1}{2}Li^2$$

Sé hreyfanlegt járn í spólunni, er sjálfspan spólunnar fall af stöðu járnsins, $L = L(s)$

Mjúkjárnsmælir

Færist járnið um ds í stefnuna s breytist sjálfspan spólunnar sem nemur dL. Þar með er orka segulsviðsins í spólunni einnig háð staðsetningu spólunnar s.

Margfeldi krafts og færslu jafngildir orku eða

$$W = \int F \mathrm{d}s = \int \frac{M}{r} \mathrm{d}\alpha$$

eða

$$M = \frac{\mathrm{d}W}{\mathrm{d}\alpha}$$

þannig að

$$M = \frac{\mathrm{d}W}{\mathrm{d}\alpha} = \frac{1}{2}\frac{\mathrm{d}L}{\mathrm{d}\alpha} i^2$$

Almennt má þá skrifa

$$M = k_o i^2 f(\alpha)$$

þar sem stefna straumsins skiptir ekki máli.

Mjúkjárnsmælir

Sé mældur riðstraumur yfir ákveðinni tíðni sem mæliverkið fylgir ekki eftir, fæst meðalgildi af knývæginu M

$$M_{avg} = \frac{k_o}{T} \int_0^T i^2 f(\alpha) \mathrm{d}t$$

Í jafnvægi er

$$M = k\alpha$$

svo

$$M = k\alpha = \frac{k_o}{T} \int_0^T i^2 f(\alpha) \mathrm{d}t = \frac{k_o}{T} f(\alpha) \int_0^T i^2 \mathrm{d}t$$

þannig að

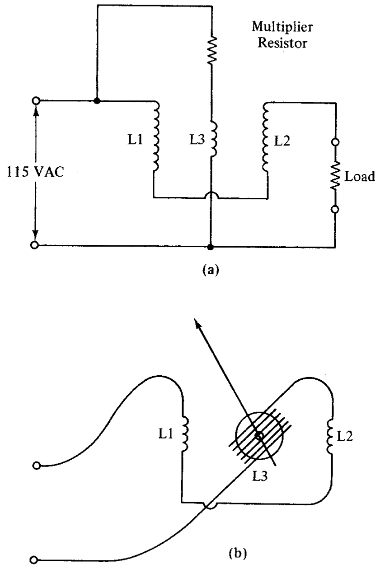
$$k\alpha = k_o f(\alpha) I_{rms}^2$$

og

$$I_{rms} = k_1 f_1(\alpha)$$

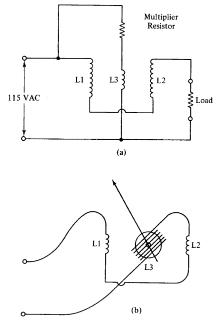
Mjúkjárnsmælir getur því mælt riðstraum beint og sýnir virkt gildi hans.

Elektrodynamiskur mælir



Elektródynamiskur mælir er svipaður snúðspólumæli nema hvað í stað fasts segulsviðs er það föst spóla sem myndar segulsviðið í mæliverkinu.

Elektrodynamiskur mælir



Segulsviðið má rita sem

$$B = k_s i_2$$

Kraftur sem verkar á leiðara er þá

$$F = Blni_3$$

þar sem i_3 er er straumur í hreyfispólu en i_2 er straumur í föstu spólunni.

Elektrodynamiskur mælir

Knývægið er þá gefið með

$$M = 2rF = k_s i_2 l n i_3 = k_d i_3 i_2$$

og útslagið α

$$M = k_m \alpha$$

þannig að

$$\alpha = k i_3 i_2$$

Útslag er því í réttu hlutfalli við margfeldi straumanna

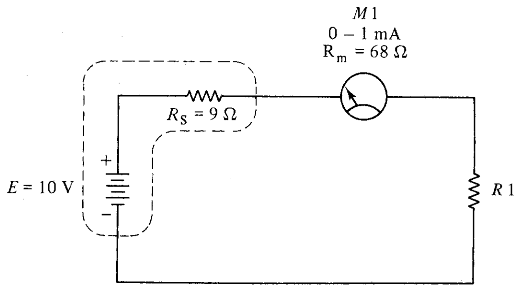
Ef $i_3(t) = I_3 \sin(\omega t)$ og $i_2(t) = I_2 \sin(\omega t + \phi)$ þá er

$$\alpha = k i_{rms,3} i_{rms,2} \cos(\phi)$$

Sé önnur stærðin, t.d. i_3 höfð í réttu hlutfalli við spennuna yfir álag þar sem straumurinn er i_2 fæst útslag í réttu hlutfalli við raunafl álagsins, sem er

$$P = v_{\mathrm{rms}} i_{\mathrm{rms}} \cos(\phi)$$

DC straummælingar

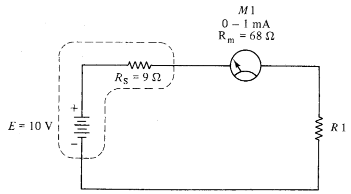


- Mælir raðtengdur við straumhafandi álag sem ætlunin er að mæla strauminn í
- Gæta þarf þess að straumurinn sem mæla á verði aldrei hærri en mælirinn ræður við
- Nota mæli sem hefur lágt innra viðnám miðað við álagið sem mæla á strauminn í

$$I_1 = \frac{V}{R_s + R_m + R_1}$$

- Ef mælir er tengdur vitlaust virkar hann eins og skammhlaup yfir R_1

DC straummælingar



- Myndin sýnir rétta tengingu á 0 – 1 mA dc straummæli
- Nauðsynlegt er að rjúfa rásina til að raðtengja mælinn

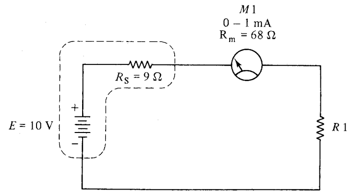
Straumurinn sem fer um mælinn M1 er gefinn með

$$I_{\mathrm{M1}} = \frac{E}{R_s + R_m + R1}$$

þar sem

- I_{M1} straumur um mælinn í amper (A)
- E tómgangsspenna í voltum (V)
- R_s lindarviðnám aflgjafa (Ω)
- $R1$ álagsviðnám (Ω)

DC straummælingar



Í flestum tilvikum eru R_s og R_m lítil með tilliti til $R1$ og teljast því óvera. Þá er

$$I_{\mathrm{M1}} = \frac{E}{R1}$$

Ef mælirinn er tengdur eins og á myndinni og $R1 = 15\ \mathrm{k}\Omega$

$$I_{\mathrm{M1}} = \frac{E}{R1} = \frac{10\mathrm{V}}{15000\ \Omega} = 0.67\ \mathrm{mA}$$

Ef straummælirinn er vitlaust tengdur, þ.e. samsíða $R1$ í stað raðtengingar þá er

$$I_{\mathrm{M1}} = \frac{E}{R_s + R_m} = \frac{10\mathrm{V}}{9\ \Omega + 68\ \Omega} = 130\ \mathrm{mA}$$

DC straummælingar

Athuga ber að ef mæld er spenna í rás með lága spennu E og lágt viðnám $R1$ er erfitt að halda nákvæmni.

Ef $E = 0.1$ V og $R1 = 150\ \Omega$ þá myndum við búast við

$$I_{\mathrm{M1}} = \frac{E}{R1} = \frac{0.1\mathrm{V}}{150\ \Omega} = 0.67\ \mathrm{mA}$$

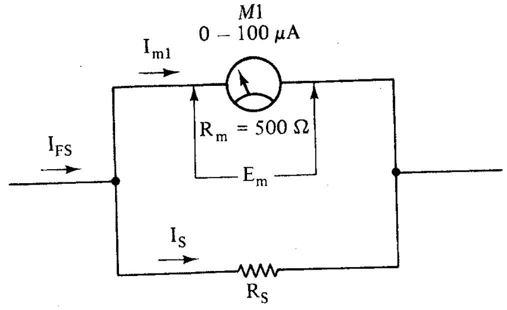
en fengjum

$$I_{\mathrm{M1}} = \frac{E}{R1} = \frac{0.1\mathrm{V}}{9 + 68 + 150\ \Omega} = 0.44\ \mathrm{mA}$$

sem er 34 % skekkja.

DC straummælingar

Venjulegt hliðrænt straummæliverk hefur aðeins eitt mælisvið, t.d. 0 – 1 mA eða 0 – 200 μA. Hægt er að mæla hærri straum með því að hliðtengja viðnám við mæliverkið.



$$I_{m1} = I_{FS}\left[\frac{R_S}{R_m + R_S}\right]$$

Oftast eru hliðtengdu viðnámin innbyggð í mælinn. Þau eru þó einnig til utanáliggjandi.

Nú getur mælirinn sýnt straum

$$I_{Fs} = I_{M1} + I_s$$

DC straummælingar

Gerum nú ráð fyrir að mælirinn sýni 1 mA sem fullt útslag. Hve mikill straumur fer um mæliverkið M1 og affallsviðnámið R_s ?

Fullt útslag á mæli svarar til 100 μA í mæliverki M1. Þá er straumur um affallsviðnám

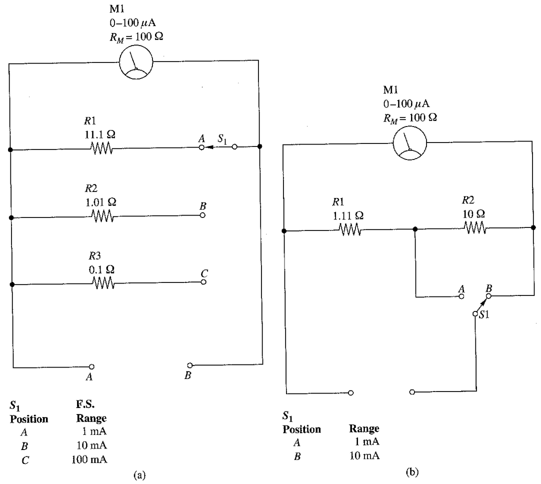
$$I_s = 1 \text{ mA} - 0.1 \text{ mA} = 0.9 \text{ mA}$$

og

$$R_s = \frac{E_{M1}}{I_s} = \frac{0.1 \text{ mA} \times 500\ \Omega}{0.9 \text{ mA}} = 55.56\ \Omega$$

sem er lægra en $R_{M1} = 500\ \Omega$.

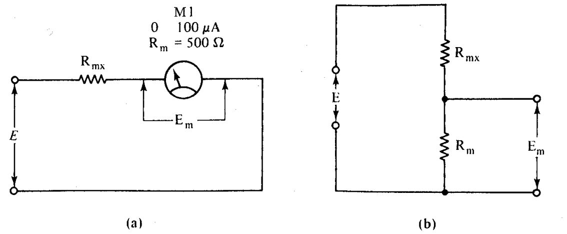
DC straummælingar: Fjölsviðsstraummælir



Spennu má mæla með DC straummæli ef margfaldandi viðnám er raðtengt við mæliverkið.

Betri er rásin til vinstri, svonefnt Ayrton affall.

Spennumælingar með DC straummælum



Hvað er R_{mx} ef $E = 10$ V gefur hámarksútslag ?

$$\frac{10}{R_{mx} + 500} = 100 \times 10^{-6}$$

svo að

$$R_{mx} = 99.5 \text{ k}\Omega$$

$\Longrightarrow$ Dæmi 2.1.

Spennumælingar með DC straummælum

Næmni spennumælis

$$\phi = \frac{1}{I_{Fs}} \frac{\Omega}{\text{V}}$$

Mikil næmni þýðir að mörg ohm þarf í rásina fyrir fullt útslag spennu

Viðnám voltmælis

$$R_m = E_{Fs}\phi$$

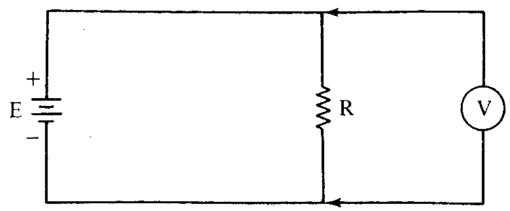
Hvert er R_{mx} ef spennusviðið er 0 – 500 V og næmnin er 10000 Ω/V ?

$$R_{mx} = 500 \times 10000 = 5 \text{ M}\Omega$$

$\Longrightarrow$ Dæmi 2.2.

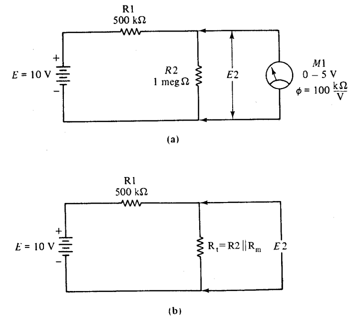
Spennumælingar með DC straummælum

Notkun spennumæla



- Hliðtengið voltmælinn yfir álagið
- Veljið voltmæli með svið sem nær yfir hæstu mögulegu spennu
- Innra viðnám spennumælis þarf að vera mjög hátt (t.d. 100:1) miðað við viðnám rásarinnar

Spennumælingar með DC straummælum



Skoðum nú hvað gerist ef spennumælir hefur of lágt innra viðnám.

Ættum að fá

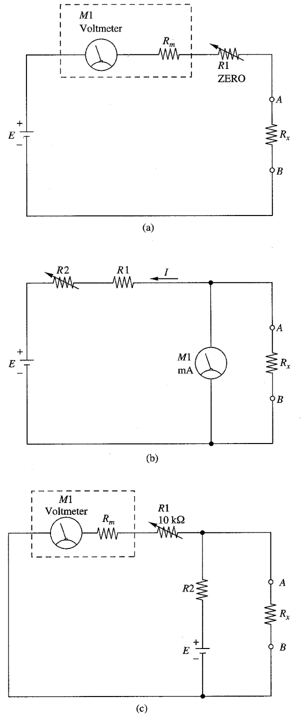
$$E2 = \frac{10}{1.5 \times 10^6} \times 10^6 = 6.67 \text{ V}$$

en fáum

$$E2 = \frac{10 \times 10^6 || 500 \times 10^3}{500 \times 10^3 + 10^6 || 500 \times 10^3} = 4 \text{ V}$$

sem er 40 % skekkja.

Viðnámsmælingar með DC straummælum



Rafviðnám er mælt með ohmmæli.

Viðnámsmælingar með DC straummælum

Raðtengdur ohmmælir er sýndur á mynd (a). Það eru þrjú viðnám í rásinni R_m innra viðnám spennumælisins (M1), R1 breytiviðnám, og óþekkta viðnámið R_x. Òþekkt viðnámið er reiknað út frá

$$R_x = \frac{E(R_m + R1)}{e} - (R_m + R1)$$

Raðtengdur ohmmælir vinnur ekki vel fyrir lág viðnám og þá eru notaðir hliðtengdir (b) eða hlið-raðtengdur ohmmælir.

$\Longrightarrow$ Dæmi 2.3.