1. Význam a účel měření, rozdělení měřících přístrojů.

Fyzikální veličiny: Např. délka, čas, elektrický proud a napětí atd.
Každá veličina má svoji kvantitativní stránku , která se vyjadřuje hodnotou veličiny např. napětí 8V, proud 5A atd. Hodnotu těchto veličin určujeme měřením.

Hodnota veličiny: Číslo, které vyjadřuje velikost veličiny ve zvolených jednotkách.

Měření: Získávání informací o jevech a procesech které sledujeme pomocí speciálních měřících prostředků.

Měřící prostředky: Přístroje, zařízení a přípravky, které slouží k měření a zjištění velikosti měřené veličiny.

Rozdělení měřících přístrojů pro elektrotechnická měření.

1. analogové měřící přístroje

obr. 1.1
analogový měřící přístroj

2. číslicové měřící přístroje

obr. 1.2
číslicový měřící přístroj

Zatím se budeme zabývati pouze přístroji analogovými.

Analogový měřící přístroj: Určuje velikost měřené veličiny výchylkou ukazovacího zařízení na stupnici přístroje. Výchylku pak převedeme na číselnou hodnotu.

Rozdělení přístrojů podle měřené veličiny.

a) voltmetry - měří elektrické napětí
b) ampérmetry - měří elektrický proud
c) ohmetry - měří elektrický odpor
d) wattmetry - měří elektrický výkon
e) elektroměry - měří energii el. proudu
f) kmitoměry - měří kmitočet el. proudu
g) fázoměry - měří účiník (cosφ)
h) galvanometry - měří malé proudy, napětí

Rozdělení přístrojů podle použití.

a) **rozvaděčové** - trvale namontovány (rozvodny, transformovny atd.)
b) **přenosné** - použití v dílnách a opravářské praxi
c) **laboratorní** - přesná měření v laboratořích a zkušebnách
d) **etalony (normály)** - nejpřesnější přístroje (ověřování lab. přístrojů)

Rozdělení přístrojů podle provedení elektromech. měřícího ústrojí.

a) **magnetoelektrické**
b) **feromagnetické**
c) **elektrodynamické a ferodynamické**
d) **indukční**
e) **elektrostatické**
f) **tepelné**
g) **rezonanční**

Rozdělení přístrojů podle ukazatele hodnot.

a) **ručkové**
b) **se světelnou stopou**
c) **zapisovací**
d) **vibrační**

Rozdělení měřících metod

Měřící metoda - souhrn teoretických poznatků a praktických operací použitých při měření

Rozdělení měřících metod podle způsobu určení měřené veličiny

a) **Přímá měřící metoda** – výsledek měření získáme přímým odečtením údaje jediného měřícího přístroje
b) **Nepřímá měřící metoda** – výsledek měření získáme výpočtem z údajů několika měřících přístrojů (např. R=U/I)

Rozdělení měřících metod podle provedení měření

a) **Základní měřící metody** – měřenou veličinu stanovíme měřením základní veličiny
b) **Srovnávací měřící metody –** měřená veličina se stanoví srovnáním s veličinou téhož druhu a známé hodnoty
c) **Rezonanční měřící metody** – měřená veličina se určuje z parametrů obvodu ve stavu rezonance

2. Přesnost měření

Měřením máme stanovit číselnou hodnotu měřené veličiny co nejpřesněji. Přesnost měření se udává nepřímo velikostí chyby. Chyby, které mohou při měření vzniknout dělíme:

1. **Podle místa vzniku:**

a) **Chyby metody** – příčinou jsou zjednodušené vztahy při výpočtu měřené veličiny, zjednodušená zapojení, spotřeba přístrojů atd.
b) **Chyby přístrojů –** jsou způsobeny vlastnostmi měřících systémů
c) **Chyby pozorovatele** – jsou způsobeny nesprávnou volbou měřící metody, špatným zapojením měřících přístrojů, chybným čtením údajů atd.

2. Podle charakteru:

a) Chyby soustavné – chyby, které se při určitém způsobu měření vyskytují pravidelně (způsobeny použitou měřící metodou, měřícími přístroji atp. známe znaménka a většinou přibližnou hodnotu těchto chyb a můžeme provést jejich opravu)

b) Chyby nahodilé – chyby, které se vyskytují nepravidelně, jejich výskyt je náhodný (jsou způsobeny vnějšími vlivy, např. teplotou, magnetickým polem atp.) vliv těchto chyb omezíme tím, že měření vícekrát zopakujeme

$X_M = x_1 + x_2 + \text{------} x_n / n$ X – měřená veličina
n – počet měření

c) Chyby hrubé – jsou způsobeny omylem (odečítání na špatném rozsahu, špatné podmínky při měření atd.)

Příčina chyb analogových měřících přístrojů:

a) nepřesnost výroby a kalibrace
b) rušivé síly a momenty (tření v ložiskách)
c) vnitřní rušivá magnetická a elektrická pole
d) oteplení vlastní spotřebou
e) stárnutí materiálu
f) opotřebení přístroje

Matematické vyjádření chyb.

a) Absolutní chyba

$\Delta_x = X_n - X_s$

Δ_x - absolutní chyba
X_n - naměřená hodnota veličiny
X_s - skutečná hodnota veličiny

Skutečnou hodnotu měřené veličiny nelze někdy přesně zjistit. Pro výpočet se nahrazuje konvenční pravou hodnotou (hodnota zjištěná přesnějším měřením). Absolutní chyba může nabývat kladné i záporné hodnoty.

b) Relativní chyba

$\delta_x = \Delta_x / X_s \cdot 100$ (%)

Nejčastěji se udává v %.

Př. Ručkovým voltmetrem jsme zjistili napětí baterie 4,5V. Přesným číslicovým přístrojem jsme zjistili napětí této baterie 4,508V. Určete absolutní a relativní chybu. (Předpokládáme, že číslicový voltmetr udává přesnou hodnotu.)

$U_n = 4{,}5V$ $U_s = 4{,}508V$
$\Delta_u = 4{,}5 - 4{,}508 = -0{,}008V$ $\delta_u = \Delta_u / U_s \cdot 100 = -0{,}008 / 4{,}508 \cdot 100 = -0{,}177\ \%$

Třída přesnosti.

Každý měřící přístroj zanáší do měření určitou chybu, která je způsobena řadou vnitřních rušivých vlivů. Přístroj jako celek pak vykazuje tzv. základní chybu, která je souhrnem těchto dílčích chyb. Každý měřící přístroj je proto charakterizován třídou přesnosti δ_{tp} , která zahrnuje všechny dílčí chyby. Třída přesnosti je definována jako mezní (max.) relativní chyba v celém měřícím rozsahu přístroje.

$\delta_{tp} = |\Delta_m| / X_r \cdot 100$ (%) Δ_m - mezní (max.) absolutní chyba přístroje
X_r - největší hodnota měřícího rozsahu

Třídy přesnosti analogových měř. přístrojů podle ČSN:

0,05 – 0,1 – 0,2 – 0,5 – 1 – 1,5 – 2,5 – 5

Snižováním výchylky přístroje relativní chyba údaje roste.

3. Rušivé vlivy při měření.

Ovlivňující vlivy:

a) Mechanické vlivy
b) Teplota
c) Vnější elektromagnetická pole
d) Kmitočet
e) Teplota

a) Mechanické vlivy

Velmi kritické bývá tření. Na jeho vliv má hmotnost otočného ústrojí a jeho uložení. Vliv tření lze vyloučit použitím závěsného uložení. Na údaje přístroje působí také nepříznivě otřesy. Je dobré přístroj umístit při měření na pružnou podložku. Důležitá při měření je také poloha přístroje. Bývá vyznačena na stupnici přístroje.

b) Teplota

V závislosti na teplotě se mění odpor cívek, předřadných odporů a bočníků. Dále je to také magnetická indukce permanentních magnetů, řídící moment, nebo rozměry součástek. Teplotní vlivy omezujeme vhodným chlazením, výrobou součástek z materiálů s malým teplotním součinitelem, teplotní kompenzací cívek (k cívkám připojujeme teplotně závislé rezistory), omezujeme vlastní spotřebu přístroje atd.

c) Vnější magnetická pole

Ovlivňují přístroje jejichž vlastní pole jsou slabá. Omezení vlivů těchto polí provádíme vhodným magnetickým stíněním (kryty z feromagnetických materiálů).

d) Kmitočet

Způsobuje změnu údajů u přístrojů, jejichž pohybový moment na kmitočtu závisí (např. indukční soustava). Dále se projevuje u přístrojů, jejichž vnitřní odpor není činný, ale má i reaktanční složku (způsobeno např. vinutými předřadnými odpory nebo bočníky). Potlačení těchto vlivů provádíme např. bifilárním vinutím rezistorů, nebo kmitočtovou kompenzací (s měřenou cívkou zapojíme kmitočtově závislé součástky).

e) Tvar křivky časového průběhu

Některé přístroje měří efektivní hodnotu měřené veličiny, jiné střední hodnotu , nebo také

špičkovou hodnotu. Magnetoelektrické přístroje s usměrňovačem měří střední hodnotu, ale stupnice mají kalibrované v hodnotách efektivních. Měříme li efektivní hodnotu nesinusového průběhu, pak měříme špatně.

4.Vlastnosti měřících přístrojů.

a) Konstanta měřícího přístroje

$K = N / \propto$

K – konstanta
N – rozsah přístroje
$\propto$ - počet dílků stupnice

b) Citlivost přístroje

Citlivost je převrácená hodnota konstanty : $C = 1 / K$

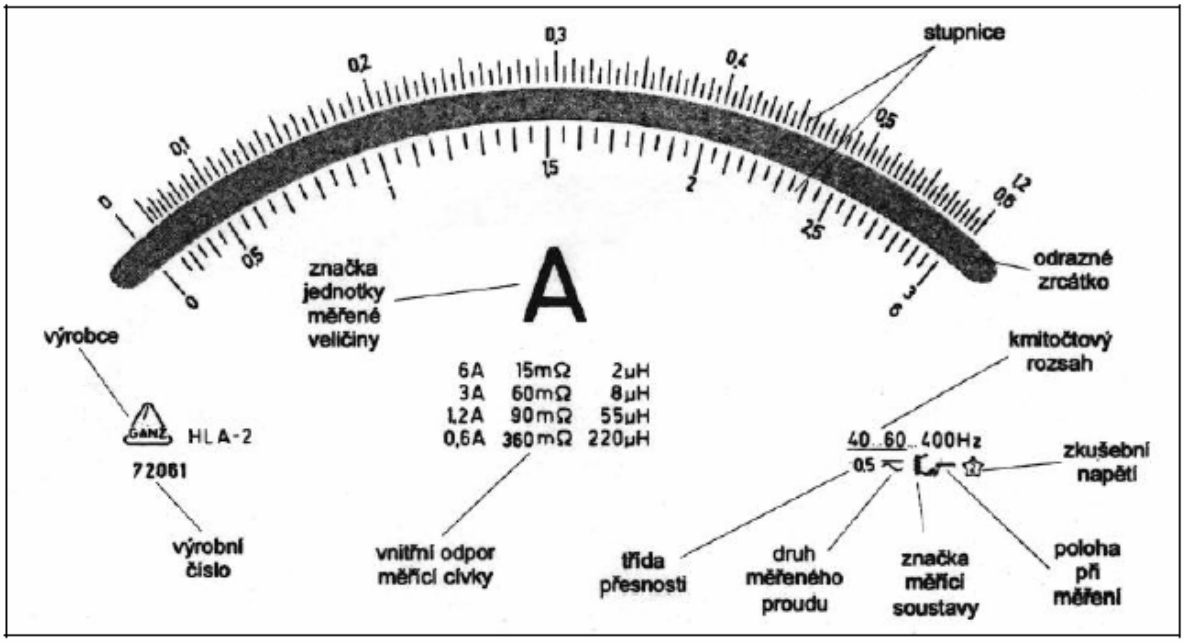
c) Vlastní spotřeba měřícího přístroje

Je výkon, který přístroj odebírá z měřeného obvodu. U střídavých přístrojů se udává ve VA a u stejnosměrných přístrojů ve W. Vlastní spotřeba měřících přístrojů by měla být co nejmenší. Impedance napěťové cívky přístroje by měla být co největší a proudové co nejmenší.

d) Přetižitelnost přístroje

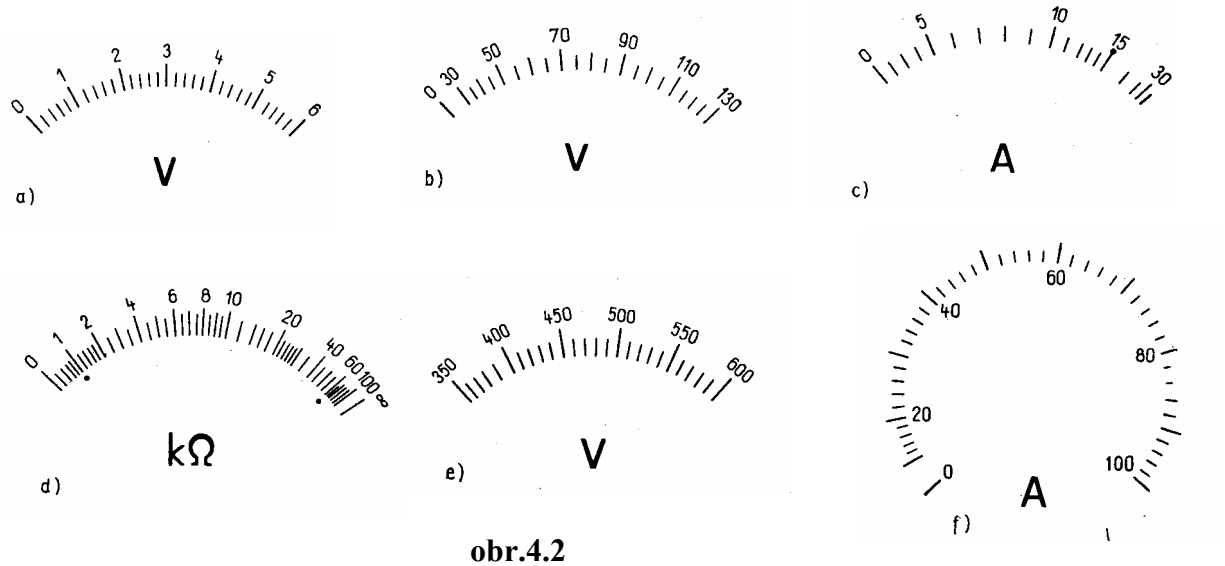
Je násobek jmenovité měřící hodnoty, kterou přístroj snese aniž se poškodí. Měřící přístroje třídy přesnosti 1 až 5 musí snést trvale přetížení 1,2 násobek jmenovité hodnoty měřícího rozsahu bez poškození. Voltmetry a ampérmetry třídy přesnosti 0,1 až 0,5 snesou trvale pouze jmenovité hodnoty napětí, nebo proudu. Proudovou a napěťovou cívku wattmetru lze trvale přetěžovat o 20 %.

e) Značky na číselnících měřících přístrojů



obr. 4.1

e) Stupnice měřících přístrojů

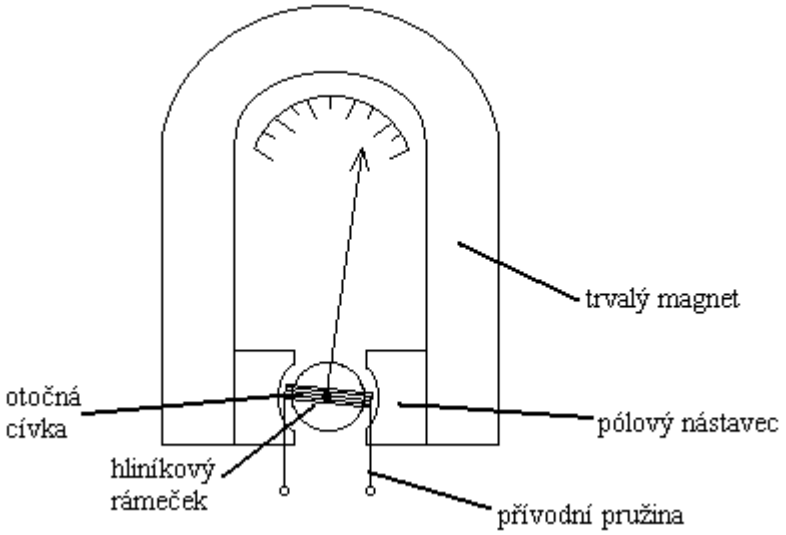


obr.4.2

a) stupnice rovnoměrná
b) stupnice nerovnoměrná
c) stupnice prodloužená
d) stupnice prodloužená
e) stupnice s potlačenou nulou
f) stupnice kruhová

5. Magnetoelektrické měřící přístroje.

Princip a konstrukce přístroje:
Tyto přístroje pracují na principu silového působení magnetického pole trvalého magnetu na vodič, kterým protéká měřený proud. Základním prvkem přístroje je trvalý magnet na který dosedají dva vhodně tvarované pólové nástavce. Ve válcové dutině těchto nástavců je váleček z magneticky měkkého materiálu. Ve vzduchové mezeře mezi pólovými nástavci a válečkem je otočně uložena cívka. Cívku vytváří závity z měděného drátu, které jsou navinuty na hliníkovém rámečku.V klidové poloze jí drží dvojice spirálových pružin, které zároveň slouží i jako přívody proudu. Na ose cívky je připevněna ručka přístroje. Princip magnetoelektrické soustavy viz. obr. 5.1.



obr. 5.1

Funkce přístroje je založena na využití sil, které působí v magnetickém poli na vodiče cívky, kterými protéká elektrický proud. Na jednu stranu cívky působí síla:

$F = N \cdot B \cdot I \cdot l$ F – síla N – počet závitů
B – magnetická indukce I – proud tekoucí vodičem
l – aktivní délka vodiče

Stejně velká síla působí i na druhou stranu cívky, ale v opačném směru. Obě síly působí na cívku otočným momentem M.

$M = 2 \cdot F \cdot r = 2 \cdot N \cdot B \cdot I \cdot l \cdot r$ r – poloměr cívky

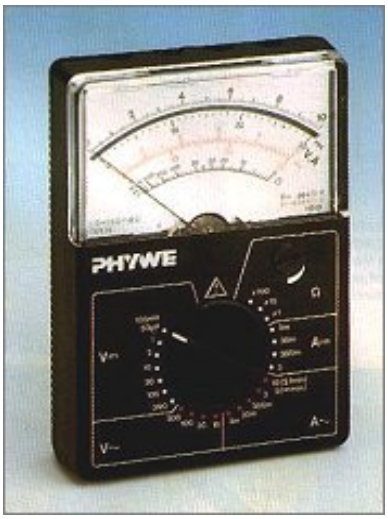
Pohybový moment a výchylka přístroje jsou přímo úměrné velikosti proudu protékajícího cívkou přístroje.

Tlumení přístroje.
Tlumení těchto přístrojů je magnetické. V hliníkovém rámečku na kterém je navinuta cívka se při jejím pohybu indukuje napětí, které jím protlačí proud (závit nakrátko). Tento proud vyvine sílu, která vždy působí proti směru otáčení cívky a tím pohyb ústrojí zatlumí (Lenzův zákon).

Vlastnosti magnetoelektrických přístrojů.

Použití: pro měření stejnosměrných napětí a proudů v širokých rozsazích
Třída přesnosti: 0,1 – 0,2
Spotřeba přístroje: 10^{-8} W až 10^{-3}W
Vnitřní odpor: 5 kΩ / V až 100 kΩ / V
Vliv teploty: změny teploty působí na měřící ústrojí negativně (způsobují změnu odporu cívky a změnu řídícího momentu vratných pružin)
Vliv vnějších magnetických polí: vliv těchto polí je zanedbatelný, neboť přístroj má silné vlastní magnetické pole

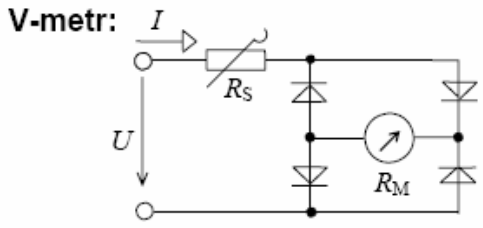
obr. 5.2
klasický magnetoelektrický přístroj



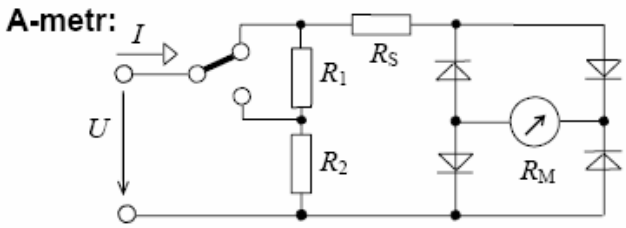
obr. 5.3
současný magnetoelektrický přístroj

Magnetoelektrické přístroje s usměrňovačem.

Abychom tyto přístroje mohly použít pro měření střídavých veličin, musíme je doplnit usměrňovačem. Obvykle se používá dvoucestný Grätzův usměrňovač.
Přístroj pak měří střední hodnotu usměrněného proudu nebo napětí. Protože jsme však zvyklí používat při měření a výpočtech hodnoty efektivní , jsou všechny magnetoelektrické přístroje s usměrňovačem kalibrovány v efektivních hodnotách sinusového průběhu.



obr. 5.4
zapojení voltmetru s usměrňovačem

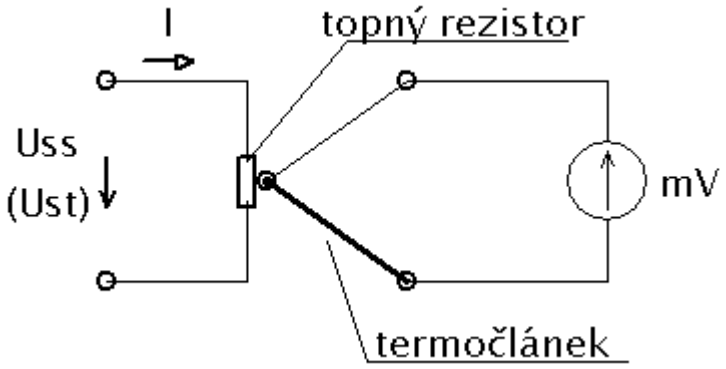


obr. 5.5
zapojení ampérmetru s usměrňovačem

Vlastnosti.
Lze je použít pouze pro sinusové průběhy s kmitočty od 20 Hz až 20 kHz. Mají menší přesnost než při měření stejnosměrných veličin.

Magnetoelektrické přístroje s termočlánkem.

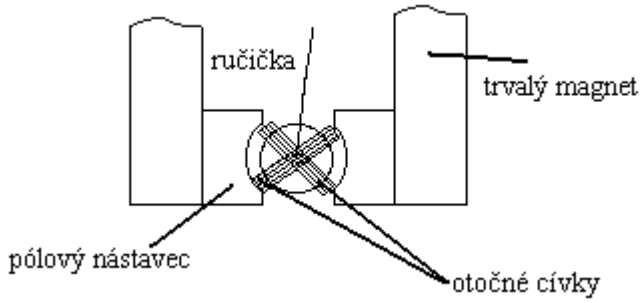
Termočlánek je tvořen dvěma různými kovy (např. měď-konstantan), které jsou na jednom konci spojeny a na druhém rozpojeny. Jestliže budeme spojené konce zahřívat, vzniká na rozpojených koncích termoelektrické napětí, které je závislé na teplotě. Termočlánek se u těchto přístrojů používá k přeměně stejnosměrného, nebo střídavého proudu na stejnosměrné napětí, které měříme magnetoelektrickým milivoltmetrem viz. obr. 5.6.



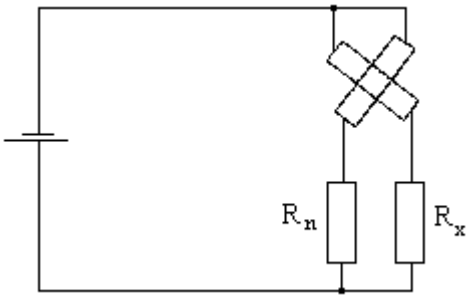
obr.5.6

Magnetoelektrické přístroje poměrové.

Pirncip a konstrukce přístroje.
Tento přístroj má dvě zkřížené otočné cívky, které jsou pootočené o určitý úhel. Přívod proudu k cívkám je tvořen dvěma bronzovými pásky. Tyto pásky nevytváří vratný moment. Cívky jsou zapojeny tak, aby jimi protékal proud v opačných směrech. Pohybové momenty těchto cívek tak působí proti sobě. Velikost pohybového momentu každé cívky je dána velikostí proudu, který jí protéká (čím větší proud, tím větší moment). Ústrojí se začíná otáčet až do té doby, než se oba momenty vyrovnají a výchylka ručky se ustálí. Princip poměrového ústrojí a základní zapojení viz. obr. 5.7 a 5.8.



obr. 5.7

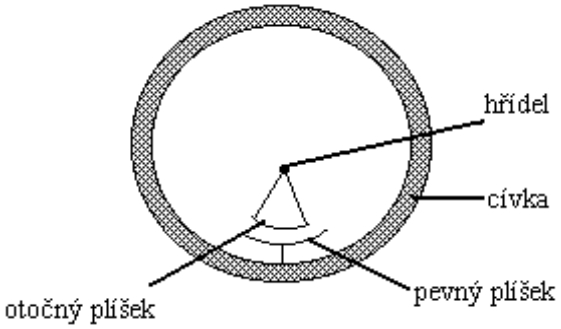


obr. 5.8

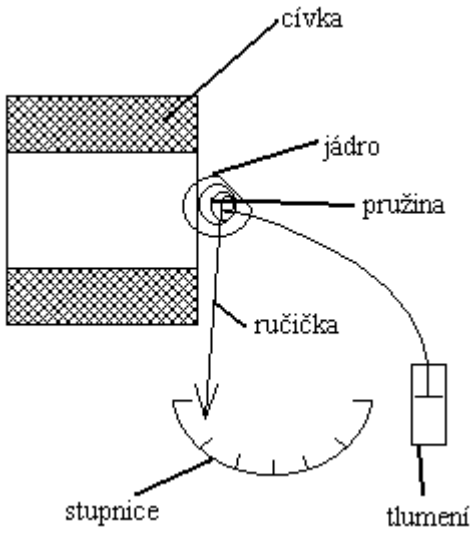
Vlastnosti.
Přístroje se používají jako ohmetry. Třída přesnosti těchto přístrojů je 0,5.

6. Feromagnetické (elektromagnetické) přístroje.

Princip a konstrukce přístroje.
Tyto přístroje využívají magnetických účinků elektrického proudu. Nepohyblivou cívkou přístroje prochází měřený proud a jeho účinky působí na pohyblivou feromagnetickou část přístroje.Starší přístroje používali systém s plochou cívkou. Dovnitř cívky bylo silou magnetického pole vtahováno feromagnetické jádro. V dnešní době se používají nejčastěji feromagnetické přístroje s kruhovou cívkou. Tyto přístroje se skládají z pevné válcové cívky na jejíž vnitřní straně je umístěn pevný plíšek. Druhý, pohyblivý plíšek je upevněn na hřídelce otočného ústrojí uvnitř cívky. Protéká li proud cívkou vzniká v ní magnetické pole, kterým se oba plíšky souhlasně zmagnetují a začnou se odpuzovat. Ručka umístěná na hřídelce otočného ústrojí se začne natáčet. Proti jejímu pohybu působí direktivní moment vratné pružiny.



obr. 6.1
přístroj s kruhovou cívkou



obr. 6.2
přístroj s plochou cívkou

direktivní

Tlumení přístroje.
Protože přístroj pracuje se slabým magnetickým polem, používá se zde tlumení vzduchové a to pomocí křidélka, které se pohybuje v uzavřené vzduchové komůrce.

Vlastnosti feromagnetických měřících přístrojů.
Výchylka přístrojů je úměrná druhé mocnině proudu protékajícího cívkou.
Použití: hodí se pro měření stejnosměrných i střídavých napětí a proudů (proudy 0,1 A až 100 A, napětí do 600 V)
Spotřeba přístroje: mW až W
Třída přesnosti: běžné přístroje 0,5 až 1, laboratorní přístroje 0,1 až 0,2
Kmitočet: používají se pro měření do několika set Hz
Vliv teploty: u ampérmetrů zanedbatelný, u voltmetrů se kompenzuje
Vliv vnějších magnetických polí: přístroj má slabé vlastní magn. pole a proto je vliv cizích magn. polí velký (provádí se dvojité magn. stínění)

obr. 6.3
feromagnetické rozvaděčové přístroje

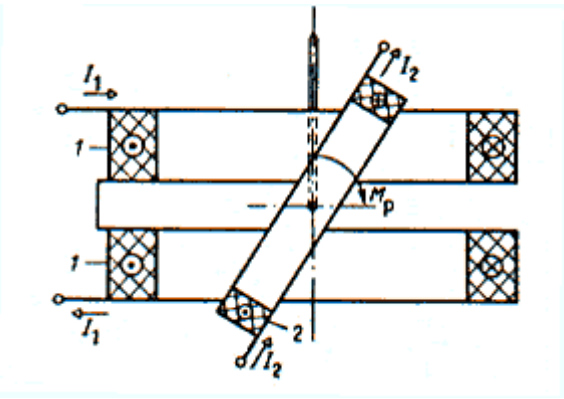
7. Elektrodynamické měřící přístroje.

Princip a konstrukce přístroje.
Tyto přístroje využívají vzájemných elektrodynamických účinků elektrického proudu, který prochází nepohyblivými a pohyblivými cívkami.

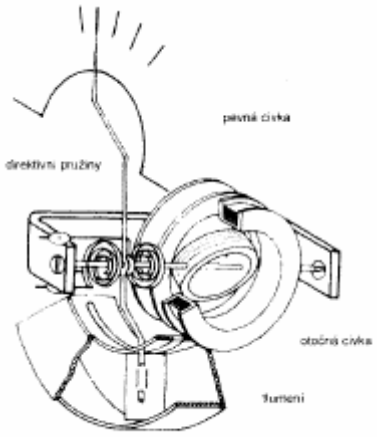
Magnetické pole pohyblivé cívky, kterou prochází proud se snaží natočit pohyblivou cívku tak, aby směr jejího magnetického pole byl stejný jako směr magnetického pole pevné cívky.Vzájemným působením obou polí vzniká točivý moment ústrojí. Pevná cívka bývá rozdělena na dvě části. Do pohyblivé cívky se přivádí proud spirálovými pružinami, které také vytváří moment. Pohybový moment přístroje M_p je přímo úměrný proudům v obou cívkách I_1 a I_2 .

$$M_p \approx I_1 \cdot I_2$$

Princip elektrodynamické soustavy viz. obr. 7.1



obr. 7.1

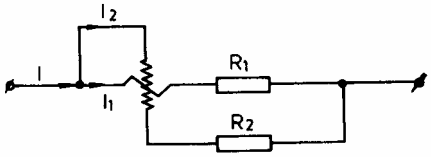


obr. 7.2
elektrodynamická soustava

Tlumení přístroje.
Vzhledem k tomu, že tyto přístroje pracují se slabým vlastním magnetickým polem používá se u nich vzduchové tlumení měřícího ústrojí.

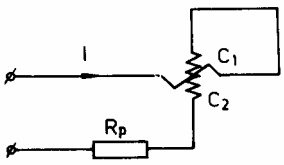
Použití přístrojů.
Přístroje je možné použít jako ampérmetry, voltmetry nebo wattmetry.

a) zapojení ampérmetru



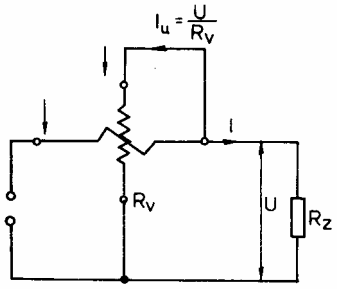
Obr. 7.3

b) zapojení voltmetru



Obr. 7.4

c) zapojení wattmetru



Obr. 7.5

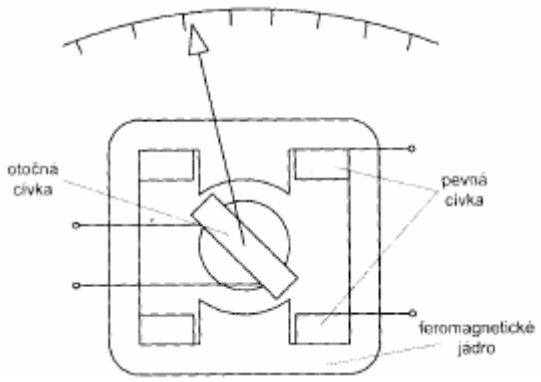
Vlastnosti elektrodynamických přístrojů.
Přístroje se používají pro měření střídavých i stejnosměrných veličin. Měří efektivní hodnotu proudu, napětí a výkonu. V současné době se používají hlavně jako wattmetry. Pevná cívka se nazývá proudová a pohyblivá cívka napěťová.

Třída přesnosti: dosahují třídy přesnosti až 0,1
Vlastní spotřeba: bývá velká, až několik VA
Vliv teploty: je malý, zvláště při dobré kompenzaci napěťového obvodu
Vliv vnějších magnetických polí: tato pole mohou značně ovlivňovat měřící přístroje
(je proto nutné dobré stínění přístroje)
Kmitočet: používají se maximálně do kmitočtu 1000 Hz

obr. 7.6
analogový wattmetr

8. Ferodynamické měřící přístroje.

Princip a konstrukce přístroje.
Princip přístroje je stejný jako přístroje dynamického. Rozdíl je v tom, že ferodynamické přístroje mají magnetický obvod, jehož magnetický tok je buzen pevnou cívkou přístroje. Ve vzduchové mezeře této cívky se pohybuje cívka otočná. Takovouto konstrukcí dosahujeme větší magnetické indukce než v případě elektrodynamického ústrojí viz. obr. 8.1.



obr. 8.1

Tlumení přístrojů.

Tlumení těchto přístrojů bývá vzduchové, nebo magnetické (permanentní magnet).

Vlastnosti ferodynamických přístrojů.
Tyto přístroje se používají většinou jako wattmetry pro měření výkonu střídavého proudu o frekvenci 50 Hz až 60 Hz. Třída přesnosti těchto přístrojů je 0,5 až 1.

obr. 8.2
rozvaděčový ferodynamický wattmetr

obr. 8.3
laboratorní ferodynamický wattmetr

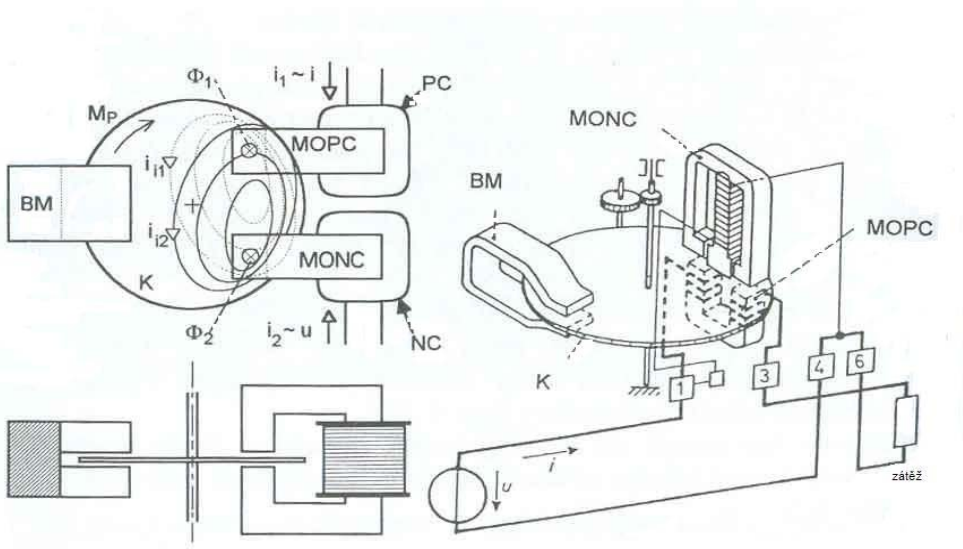
9. Indukční měřící přístroje.

Princip a konstrukce přístroje.
Do otočné části přístroje, kterou je hliníkový kotouč se indukují vířivé proudy střídavým magnetickým tokem elektromagnetů. Vzájemným působením těchto proudů a magnetického pole vzniká pohybový moment. Podmínkou funkce přístroje je napájení cívek střídavým proudem.

Magnetický tok Φ_1 elektromagnetu E_1 indukuje v hliníkovém kotouči napětí, které jím protlačí vířivé proudy i_{v1} . Tyto proudy probíhají po drahách, které jsou rozloženy po celé ploše kotouče a jejich část zasahuje pod pól druhého elektromagnetu E_2 , kde prochází kotoučem tok Φ_2. Vzájemným působením proudu i_{v1} a magnetického toku Φ_2 vzniká pohybový moment m_{p1} . Podobně tok Φ_2 vytváří proud i_{v2} a ten s magnetickým tokem Φ_1 vytváří pohybový moment m_{p2}. Pro výsledný pohybový moment pak platí:

$$M_p = m_{p1} + m_{p2}$$

Největší moment vznikne při fázovém posunu obou toků o 90^o. Budou li oba toky ve fázi, moment nevzniká a kotouč se neotáčí. Jednu cívku přístroje nazýváme napěťovou (má velký počet závitů z tenkého drátu) a druhou proudovou (má malý počet závitů ze silného drátu).Princip indukční soustavy viz obr. 9.1.



obr. 9.1

Tlumení přístrojů.
Tlumení těchto přístrojů je magnetické.

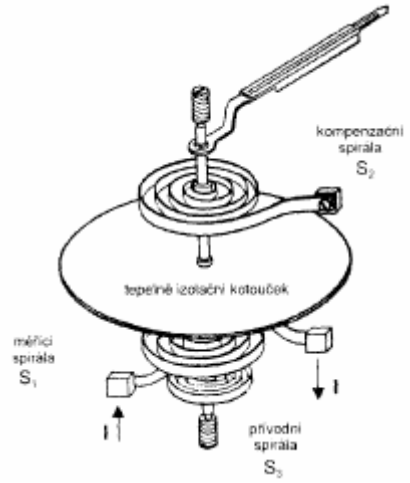
Vlastnosti indukčních přístrojů.
Tyto přístroje se používají nejčastěji jako měřiče spotřeby elektrické energie (elektroměry).
Mohou se použít i jako ampérmetry, voltmetry, nebo wattmetry. Měří efektivní hodnotu střídavého proudu, napětí, nebo výkonu.
Vlastní spotřeba: bývá dosti veliká a to 15 VA až 20 VA
Třída přesnosti: 1 až 1,5
Vliv teploty: je velký (kotouč se vířivými proudy zahřívá a zvětšuje svůj odpor)
Vliv vnějších magnetických polí: je malý (soustava pracuje s vlastním silným mag. polem)
Vliv kmitočtu: je velký (pohybový moment je přímo úměrný kmitočtu)

obr. 9.2
starší typ trojfázového elektroměru

obr. 9.3
nový typ trojfázového elektroměru

10. Tepelné měřící přístroje s bimetalem.

Princip a konstrukce přístroje.
Základem těchto přístrojů jsou spirály z bimetalového pásku (bimetal nebo také dvojkov je pásek s dvěma vrstvami kovů, které jsou na sebe nalisovány a mají různý součinitel tepelné roztažnosti). Měřící ústrojí má tyto spirály dvě a ty jsou navinuty na ose přístroje protisměrně. Spirálou S1 protéká měřený proud, ta je tímto proudem zahřívána a vlivem teploty se roztahuje, nebo smršťuje. Tímto pohybem se natáčí ručka přístroje. Druhá spirála S2 slouží k vyrovnání vlivu změny teploty v okolí na výchylku přístroje viz. obr.10.1.



obr. 10.1

Vlastnosti tepelných přístrojů.
Přístroje se používají pouze jako ampérmetry pro měření průměrné efektivní hodnoty proudu.Mají velkou setrvačnost.
Třída přesnosti: mají malou třídu přesnosti 2, 5 až 5

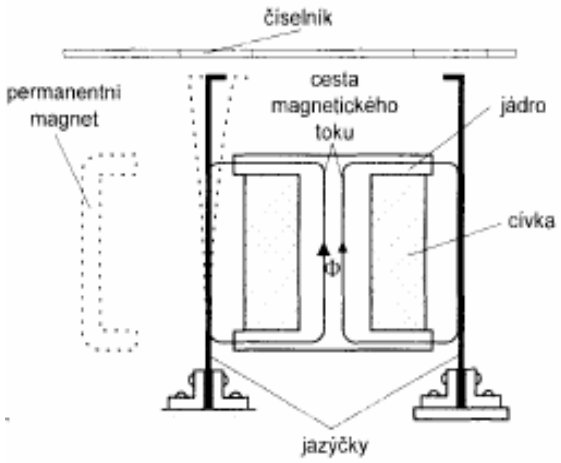
obr. 10.2
rozvaděčové tepelné přístroje

11.Rezonanční měřící přístroje.

Princip a konstrukce přístroje.
Přístroje využívají rezonance částí své soustavy s kmity měřené střídavé veličiny. Používají se jako jazýčkové kmitoměry, které pracují na principu feromagnetické měřící soustavy.

Přístroj se skládá z řady ocelových jazýčků, které jsou naladěny na odstupňované kmitočty vlastních mechanických kmitů. Tyto jazýčky jsou umístěny v blízkosti elektromagnetu, jehož cívka je napájena proudem o kmitočtu, který chceme měřit. Průchodem proudu cívkou působí na jazýčky síla, která tyto jazýčky rozkmitá. S největší amplitudou bude kmitat ten jazýček, který je v elektromechanické rezonanci s kmitočtem proudu. Princip rezonanční soustavy viz. obr.11.1.

Vlastnosti rezonančních přístrojů.
Přístroje se používají jako kmitoměry, nejčastěji pro frekvence okolo 50 Hz. Maximální použití je do kmitočtu 1000 Hz.
Třída přesnosti: pohybuje se od 0,2 až do 0,5

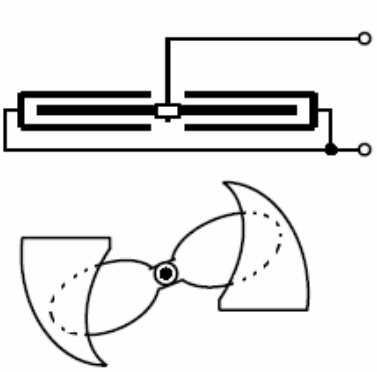


obr. 11.1

obr. 11.2
rozvaděčové rezonanční kmitoměry

12. Elektrostatické měřící přístroje.

Princip a konstrukce přístroje.
Tyto přístroje využívají ke své činnosti silových účinků elektrostatického pole. Přístroj se skládá ze soustavy pevných a pohyblivých elektrod. Jestliže připojíme mezi tyto elektrody napětí, působí na sebe přitažlivou silou a pohyblivé elektrody se začnou natáčet. Proti směru pohybu otočných elektrod působí vratné pružiny, které současně slouží k přivedení napětí na otočné elektrody. Po vyrovnání pohybového a direktivního momentu se výchylka přístroje ustálí. Princip tohoto přístroje je na obr. 12.1.



obr. 12.1

Vlastnosti elektrostatických přístrojů.
Přístroje se používají výhradně jako voltmetry pro měření střídavých a stejnosměrných napětí.Střídavé voltmetry měří efektivní hodnotu napětí.Tyto voltmetry se používají nejčastěji pro měření vyšších a vysokých napětí a to od 20 V až do 600 kV.
Třída přesnosti: pohybuje se od 1 až do 1,5
Kmitočet: možnost použití až do kmitočtu 10^7 Hz
Vliv cizích elektrických polí: tato pole mají velký vliv na přesnost přístroje

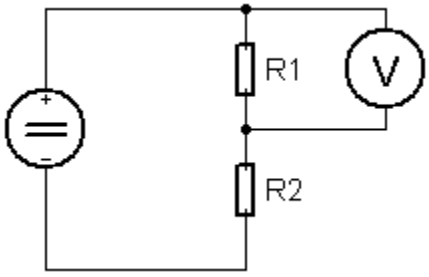
Na obrázcích 12.2 a 12.3 vidíme elektrostatické voltmetry.

obr. 12.2
klasický elektrostatický voltmetr

obr. 12.3
číslicový elektrostatický voltmetr

13.Měření elektrického napětí.

K měření elektrického napětí používáme přístroje, které se nazývají voltmetry. Voltmetr zapojujeme vždy paralelně k měřenému prvku na kterém chceme zjistit napětí.



obr. 13.1

Na obrázku 13.1 měříme napětí ne rezistoru R1. Pokud bychom chtěli měřit napětí na rezistoru R2 , připojíme voltmetr paralelně k tomuto rezistoru. Aby voltmetr co nejméně zatěžoval měřený obvod, musí mít co největší vnitřní odpor. Voltmetry jsou velmi citlivé na přetížení. Při přetížení může dojít vlivem velkého proudu k poškození měřící cívky přístroje.

Měření stejnosměrného napětí.

a) **magnetoelektrické přístroje**
Používají se pro měření stejnosměrných napětí v rozsahu několika set mV až 1000V.Přístroje jsou velmi přesné. Dosahují třídy přesnosti 0,1 až 0,2. Přístroje se vyznačují velmi malou vlastní spotřebou 10^{-8} až 10^{-3} W. Jejich vnitřní odpor bývá 0,5 až 50kΩ / V.

b) **feromagnetické přístroje**
Tyto přístroje můžeme použít také k měření stejnosměrných napětí, ale z důvodu velkých chyb se používají velmi málo.

c) **elektrodynamické přístroje**
Elektrodynamické voltmetry mohou také měřit stejnosměrná napětí, ale v praxi se dnes už nepoužívají.

d) **elektrostatické přístroje**
Elektrostatické voltmetry se používají pouze pro měření vysokých napětí řádově tisíce voltů. K měření malých napětí se nepoužívají z důvodu malého pohybového momentu.

e) galvanometry

Galvanometry jsou velmi citlivé měřící přístroje, které mohou měřit velmi malá napětí. Používají se k měření napětí řadově nV až μV.

Měření střídavých napětí.

Vzhledem k tomu, že se tato napětí s časem mění, jsou charakterizována maximální, střední , nebo efektivní hodnotou. Pro praktická měření nás nejvíce zajímá hodnota efektivní.

a) magnetoelektrické přístroje s usměrňovačem

Hlavní výhodou těchto voltmetrů je malá spotřeba a možnost měření až do kmitočtu 20 kHz. Jejich nevýhoda je ta, že měří střední hodnotu napětí a stupnice musí být přepočítána a přecejchována v efektivních hodnotách. Toto platí pouze pro sinusový průběh napětí.Tyto přístroje mají menší přesnost (0,1) a větší teplotní závislost než stejnosměrné voltmetry.

b) feromagnetické přístroje

Tyto přístroje ukazují přímo efektivní hodnotu měřeného napětí Mají ovšem velkou vlastní spotřebu a jsou kmitočtově závislé. Používají se proto nejčastěji pro měření napětí o technickém kmitočtu 50 Hz.Vyznačují se třídou přesnosti 1 až 1,5. Mohou měřit i nesinusové průběhy napětí.

c) elektrodynamické přístroje

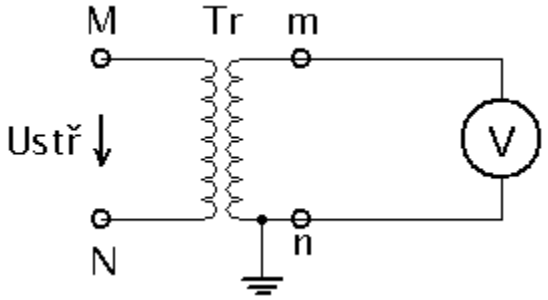
Elektrodynamické voltmetry měří také efektivní hodnotu napětí. Jsou velmi přesné. Dosahují třídy přesnosti 0,1 až 0.2. V současné době se však tyto přístroje už nepoužívají.

d) elektrostatické přístroje

Elektrostatické voltmetry se používají pouze pro měření vysokých napětí větších než 1000V. Jejich výhodou je nezávislost na kmitočtu a proto je můžeme použít pro měření napětí s vysokými kmitočty až do 10^7 Hz. Tyto voltmetry měří také efektivní hodnotu napětí. Třída přesnosti voltmetrů je 1 až 1,5.

e) měřící transformátory napětí

Tyto transformátory se používají k měření střídavých napětí větších než 1 kV. Slouží ke změně rozsahů střídavých voltmetrů a ke galvanickému oddělení měřících přístrojů od obvodů vysokého napětí. Primární vinutí transformátoru se zapojí do obvodu vysokého napětí a do primárního vinutí je zapojen měřící přístroj viz obr. 13.2. Primární svorky transformátoru jsou označeny M a N, sekundární svorky m a n. Jedna svorka sekundárního vinutí bývá z důvodu bezpečnosti obsluhy uzemněna.



obr. 13.2

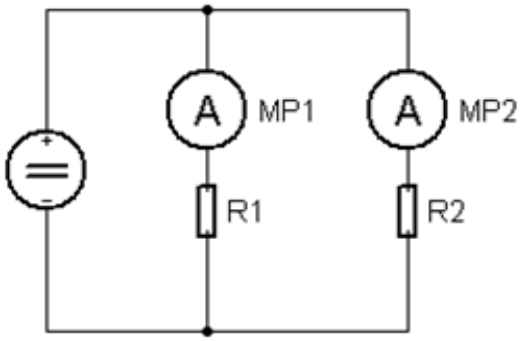
Sekundární napětí těchto transformátorů je normalizováno na hodnotu 100V. Primární napětí bývají shodná s používaným napětím v našich sítích vysokého a velmi vysokého napětí. Třídy přesnosti těchto transformátorů bývají 0,1 – 0,2 – 0,5 – 1 – 3 . Převod jednotlivých transformátorů se udává ve tvaru zlomku (např. 22000 / 100). Tyto transformátory se používají hlavně v rozvodnách a transformovnách vn a vvn.

obr. 13.3
měřící transformátor napětí

obr. 13.4
venkovní měřící transformátor napětí

14.Měření elektrického proudu.

Přístroje, které používáme k měření elektrického proudu se nazývají ampérmetry. Zapojují se do série s prvkem obvodu, jehož proud chceme měřit viz obr. 14.1. Měřícím přístrojem MP1 měříme proud procházející rezistorem R1 a měřícím přístrojem MP2 proud procházející rezistorem R2. Úbytek napětí, který vzniká na vnitřním odporu ampérmetru by měl být co nejmenší. Z tohoto důvodu musí mít ampérmetr co nejmenší vnitřní odpor. Vnitřní odpory ampérmetrů, které měří malé proudy (μA) bývají 100Ω až 1000Ω. Ampérmetry měřící větší proudy (A) mívají vnitřní odpory desetiny až setiny ohmů.



obr. 14.1

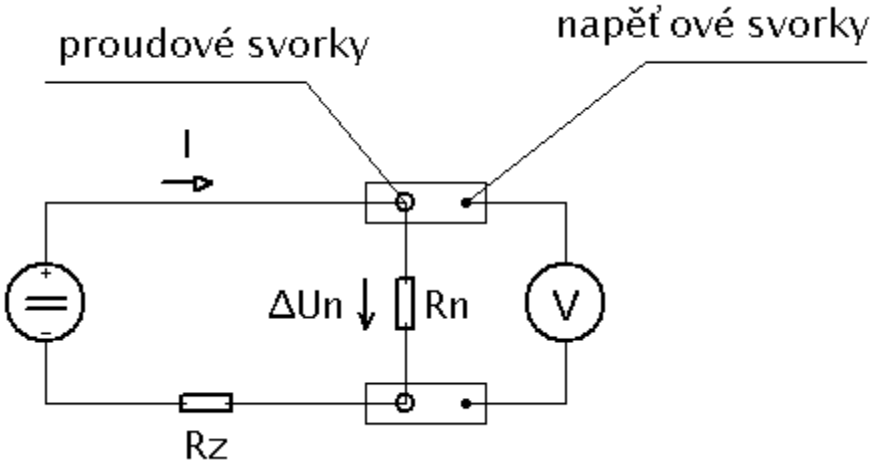
Měření stejnosměrného proudu.

a) Magnetoelektrické přístroje

Nejvhodnější přístroje pro měření stejnosměrného proudu jsou přístroje s magnetoelektrickou soustavou. Magnetoelektrické galvanometry mohou měřit proudy až 10pA.Ampérmetry používané pro běžná měření mají rozsahy od 1μA až do 10 kA. Třída přesnosti těchto ampérmetrů bývá 0,2. Přesnější laboratorní přístroje dosahují přesnosti 0,1.

b) měření proudu nepřímou metodou

V případě, že chceme měřit elektrický proud přesně a nemáme laboratorní ampérmetr můžeme použít nepřímou měřící metodu podle obr. 14.2.



obr. 14.2

Do obvodu měřeného proudu zařadíme malý odporový normál Rn a pomocí milivoltmetru na něm změříme úbytek napětí ΔUn. Velikost proudu pak vypočteme podle vzorce I = ΔUn / Rn. Abychom odstranili vliv přechodových odporů při měření mají tyto odporové normály dvě dvojice svorek a to proudové a napěťové. Proudovými svorkami zavádíme do rezistoru proud a na napěťových svorkách snímáme napětí.

Měření střídavého proudu.

a) magnetoelektrické přístroje

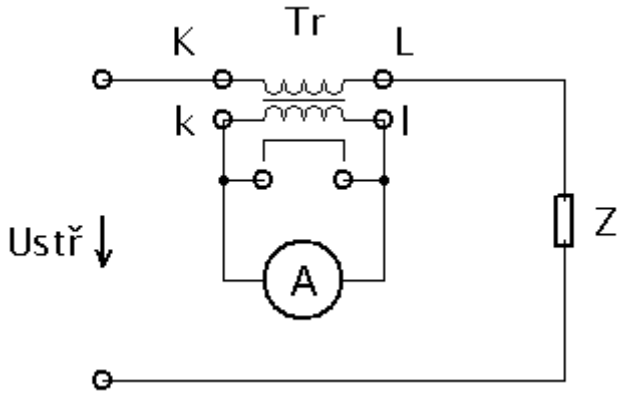
Pro měření střídavých proudů používáme magnetoelektrickou soustavu s usměrňovačem. Tato soustava je vhodná pouze pro měření proudů sinusového průběhu. Přístroje měří jeho střední hodnotu, ale stupnice je ocejchovaná v hodnotách efektivních. Přístroje mají velmi malou spotřebu a používají se k měření proudů v rozsahu 0,2mA až 10A. Dají se použít až do frekvence 20 kHz. Pro měření proudů v kmitočtovém rozsahu do 1MHz můžeme použít přístroje s termočlánkem.

b) feromagnetické přístroje

Tyto přístroje udávají při měření přímo efektivní hodnotu měřeného proudu. Nezáleží na tom, jestli je průběh sinusový, nebo jiný. Tyto ampérmetry měří proudy v rozsahu 100mA až 200A. Nevýhodou těchto ampérmetrů je to, že mají velkou vlastní spotřebu a měří proudy maximálně do frekvencí 500Hz.

c) měřící transformátory proudu

Používají se ke změně rozsahů střídavých ampérmetrů a to pro měření velkých proudů např. v rozvodnách a transformovnách. Primární vinutí tohoto transformátoru se zapojí do série se zátěží a k sekundárnímu vinutí se připojí střídavý ampérmetr viz obr. 14.3.



obr. 14.3

Při rozpojení sekundárního vinutí transformátoru dojde k tomu, že se v tomto vinutí začne indukovat vysoké napětí, které by mohlo prorazit izolaci vinutí, případně způsobit úraz obsluze. Proto se ke každému transformátoru připojují zkratovací svorky a v případě manipulace s měřícím přístrojem se sekundární vinutí zkratuje. Hodnoty primárních proudů transformátorů se volí obvykle 1A, nebo 5A. Třídy přesnosti těchto transformátorů jsou 0,1 – 0,2 – 0,5 – 1 – 3. Převod transformátoru se udává ve tvaru zlomku (např. 200 / 5).

obr. 14.4
měřící transformátor proudu

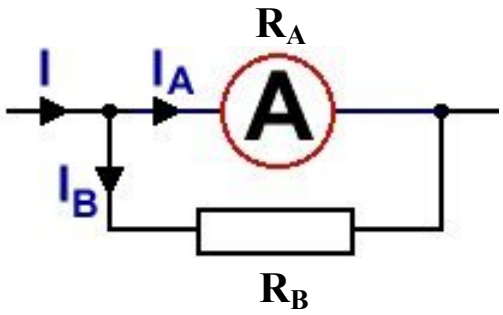
obr. 14.5
venkovní měřící transformátor proudu

obr. 14.6
průchozí transformátory proudu

15. Změna rozsahu měřících přístrojů.

a) Změna rozsahu ampérmetrů.

Změnu rozsahu ampérmetrů provádíme připojením bočníku R_B. Celkový měřený proud I se rozdělí podle Kirchhoffova zákona o proudech na proudy I_B (proud bočníku) a I_A (proud ampérmetru) viz. obr. 15.1



obr.15.1

Odpor bočníku navrhneme podle tohoto zákona:

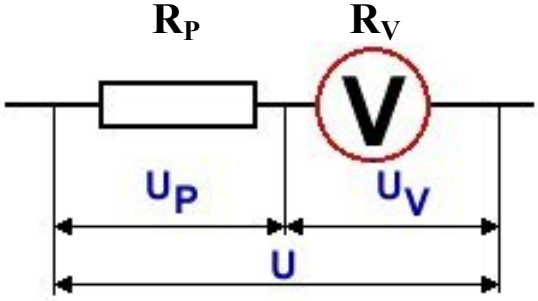
Pro obvod platí: $R_A \cdot I_A = R_B \cdot I_B$ $R_B = R_A \cdot I_A / R_B$ $I_B = I - I_A$

Příklad: Ampérmetrem do 0,6 A s vnitřním odporem 6 Ω chceme měřit proudy do 1 A. Navrhněte bočník.

$I_B = 1 - 0{,}6 = 0{,}4$ A $R_B = R_A \cdot I_A / R_B = 6 \cdot 0{,}6 / 0{,}4 = 9\ \Omega$

b) Změna rozsahu voltmetrů.

Změnu rozsahu voltmetrů provádíme připojením předřadného odporu R_P. Napětí se rozdělí v Poměru odporů R_P a R_V (vnitřní odpor voltmetru) viz. obr. 15.2.



obr. 15.2

Pro obvod platí: $U_P / R_P = U_V / R_V$ $R_P = R_V \cdot U_P / U_V$ $U_P = U - U_V$

Příklad: Voltmetrem do 5 V s vnitřním odporem 5 kΩ chceme měřit napětí do 15 V. Navrhněte předřadný odpor.
$U_P = 15 - 5 = 10$ V $R_P = 5 \cdot 10 / 5 = 10$ kΩ

16.Měření elektrického odporu.

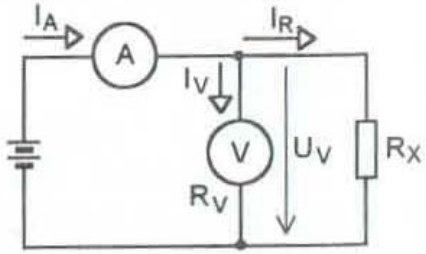
Ohmova metoda.

Jedná se o nepřímou měřící metodu, která využívá pro výpočet odporu rezistoru Ohmův zákon. Pro výpočet odporu platí :

$R_X = U_X / I_X$ U_x – napětí na měřeném odporu
I_X - proud procházející měřeným odporem

K měření můžeme použít dvě zapojení, z nichž jedno se hodí pro měření malých odporů a druhé pro měření odporů velkých. Obvod budeme napájet stejnosměrným proudem.

Zapojení pro měření malých odporů.



Obr. 16.1

Neznámou hodnotu odporu vypočítáme podle vzorce: $R_X = U_X / I_X$
Při tomto měření dochází k chybě proudu. Ampérmetr měří nejen proud protékající zátěží I_R, ale i proud, který protéká voltmetrem I_V. Pro proud I_A platí:

$I_A = I_R + I_V$ $I_R = I_A - I_V$

Voltmetr měří napětí U_V přímo na zátěži. Pro odpor R_X pak platí:

$R_X = U_V / (I_A - I_V)$ $I_V = U_V / R_V$ R_V – vnitřní odpor voltmetru

Pro absolutní chyby měřených veličin platí:

$\Delta_I = I_A - I_R = I_V$ $\Delta_U = U_V - U_V = 0$

Relativní chyba měření napětí je nulová a pro relativní chybu měření proudu platí:

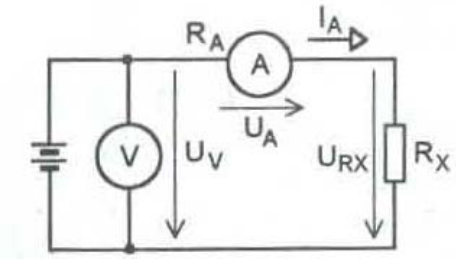
$\delta_I = \Delta_I / I_S \cdot 100 = I_V / I_R \cdot 100$ I_S – skutečná hodnota proudu
$\delta_U = \Delta_U / U_V \cdot 100 = 0$

Celková relativní chyba metody se pak rovná součtu relativních chyb měření proudu a napětí:

$\delta_R = | \delta_U | + | \delta_I | = I_V / I_R \cdot 100$ dosadíme: $I_V = U_V / R_V$ $I_R = U_V / R_X$
$\delta_R = R_X / R_V \cdot 100$

Ze vzorce vidíme, že čím bude hodnota odporu R_X menší, tím bude měření přesnější .

Zapojení pro měření velkých odporů.



Obr. 16.2

Neznámou hodnotu odporu vypočítáme podle vzorce: $R_X = U_{RX} / I_A$
Při tomto měření dochází k chybě napětí, protože voltmetr měří jednak napětí U_{RX} na odporu R_X a také ještě napětí U_A na ampérmetru. Pro napětí U_V platí:

$$U_V = U_A + U_{RX} \qquad U_{RX} = U_V - U_A$$

Ampérmetr měří přímo proud I_A protékající zátěží . Pro odpor R_X pak platí:

$R_X = (U_V - U_A) / I_A$ $U_A = R_A \cdot I_A$ R_A – vnitřní odpor ampérmetru

Pro absolutní chyby měřených veličin platí:

$\Delta_U = U_V - U_{RX} = U_A$ $\Delta_I = I_A - I_A = 0$

Relativní chyba měření proudu je nulová a pro relativní chybu měření napětí platí:

$\delta_U = \Delta_U / U_{RX} \cdot 100 = U_A / U_{RX} \cdot 100$ $\delta_I = \Delta_I / I_A \cdot 100 = 0$

Chyba metody měření je dána součtem relativních chyb měření napětí a proudu:

$\delta_R = | \delta_U | + | \delta_I | = U_A / U_{RX} \cdot 100$ dosadíme: $U_A = R_A \cdot I_A$ $U_{RX} = R_X \cdot I_A$
$\delta_R = R_A / R_X \cdot 100$

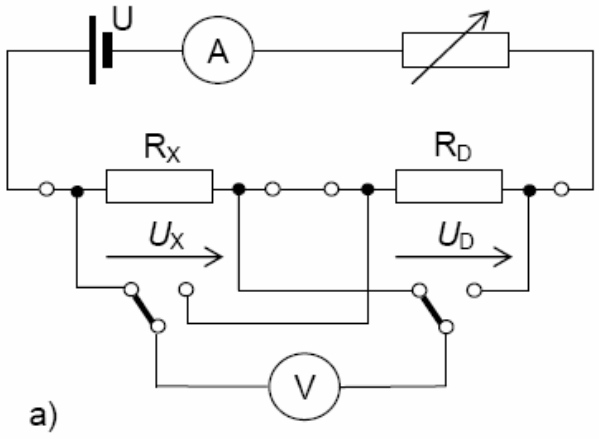
Čím větší bude hodnota odporu R_X , tím bude chyba metody měření menší.

Srovnávací metoda.

Při této metodě měření odporu porovnáváme neznámý odpor s odporem, jehož hodnotu známe. Tento odpor nazýváme také normálovým. Měření můžeme provádět dvěma způsoby a to pro měření malých, nebo velkých odporů.

a) Měření malých odporů.

Neznámý rezistor R_X a normálový rezistor R_D zapojíme do série. Proud protékající oběma rezistory je stejný. Jeho hodnotu kontrolujeme ampérmetrem A. Velikost neznámého odporu pak zjistíme z úbytků napětí na jednotlivých rezistorech, které změříme postupně voltmetrem V (U_X, U_D).



obr. 16.3

Vzhledem k tomu, že oběma rezistory protéká stejný proud můžeme psát:

$$U_X / R_X = U_D / R_D \Rightarrow R_X = R_D \cdot U_X / U_D$$

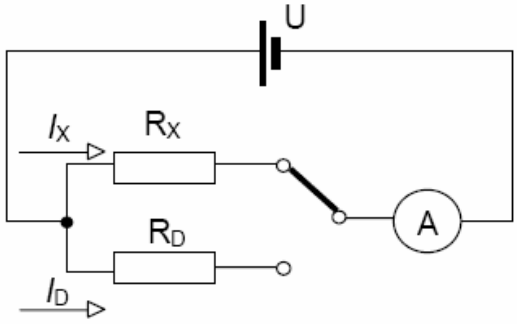
Pro relativní chybu měření dostáváme po odvození vztah:

$$\delta_R = (R_D - R_X) / (R_X + R_V)$$ R_V – vnitřní odpor voltmetru

Čím více se k sobě budou blížit hodnoty odporů R_X a R_D, tím bude chyba měření menší.
Bude li $R_V >> R_X$, pak bude chyba metody zanedbatelná.

b) Měření velkých odporů.

Neznámý rezistor R_X a normálový rezistor R_D zapojíme paralelně. Napětí na obou rezistorech je pak stejné. Velikost odporu R_X pak zjistíme porovnáním proudů I_X a I_D. Velikost těchto proudů zjistíme Ampérmetrem A.



b) **obr. 16.4**

Protože napětí na jednotlivých rezistorech je stejné můžeme psát:

$$R_X \cdot I_X = R_D \cdot I_D \Rightarrow R_X = R_D \cdot I_D / I_X$$

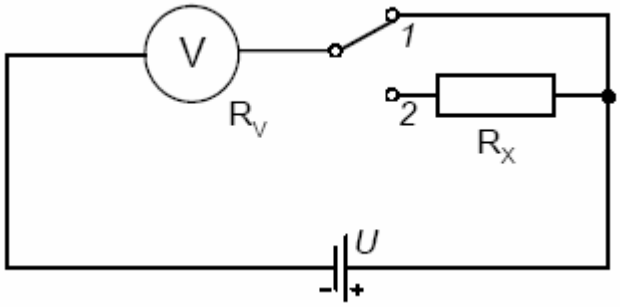
Pro relativní chybu měření dostáváme po odvození vztah:

$$\delta_R = (1 / R_X - 1 / R_D) / (1 / R_A + 1 / R_D)$$ R_A – vnitřní odpor ampérmetru

Čím blíže budou k sobě hodnoty R_X a R_D, tím bude měření přesnější. Bude li $R_A << R_X$, pak bude chyba metody zanedbatelná.

Měření odporu voltmetrem (voltmetrická metoda).

Při této metodě opět využíváme rozdělení napětí na odporech zařazených do série. Při tomto měření musíme znát vnitřní odpor voltmetru R_V viz. obr. 16.5.



obr. 16.5

Přepínač přepneme nejdříve do polohy 1 a změříme napětí zdroje U_1. Pak přepneme přepínač do polohy 2 . Voltmetr je tak připojen do série s rezistorem R_X a změří nám napětí U_2. Pro rozdělení napětí na R_V a R_X pak můžeme napsat vztah:

$$R_X / R_V = (U_1 - U_2) / U_2 \Rightarrow R_X = R_V \cdot (U_1 / U_2 - 1)$$

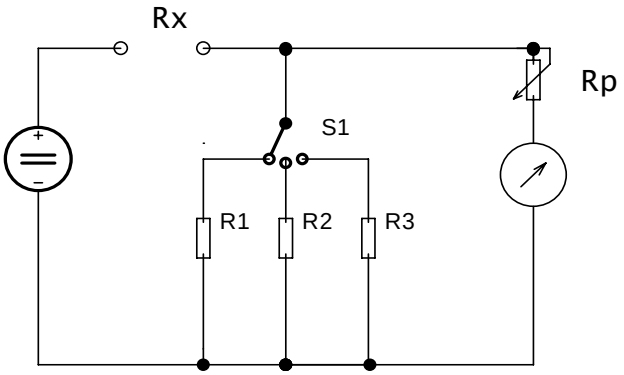
Tato metoda je vhodná pro měření velkých odporů, které se přibližně rovnají velikosti vnitřního odporu voltmetru.

Ohmetry.

Přístroje, které udávají velikost měřeného odporu přímo v ohmech se nazývají ohmetry. Třída přesnosti těchto přístrojů bývá nejvýše 0,5. Analogové ohmetry můžeme rozdělit do dvou skupin:

a) ohmetry s magnetoelektrickým měřícím přístrojem
b) ohmetry s poměrovou magnetoelektrickou soustavou

a) ohmetry s magnetoelektrickým měřícím přístrojem



obr. 16.6

Výchylka ohmetru viz. obr. 16.6 závisí na velikosti napětí napájecího zdroje a velikosti měřeného odporu R_X. Přístroj proto musí mít regulační prvek (R_P), kterým můžeme vyrovnat změny napětí zdroje (např. změna napětí baterie při jejím stárnutí). Je tedy nutné před každým měřením nastavit elektrickou nulu. Hodnotě $R_X \rightarrow \infty$ odpovídá na přístroji mechanická nula (k přístroji není připojen rezistor). Hodnotě $R_X = 0$ odpovídá elektrická nula (svorky R_X jsou zkratovány). Změnu rozsahu ohmetru můžeme provádět např. pomocí bočníků (R_1, R_2, R_3). Přesnost měření těchto ohmetrů je malá (5 až 10 %). Tyto ohmetry se používají pro měření odporů do hodnot řádově kΩ.

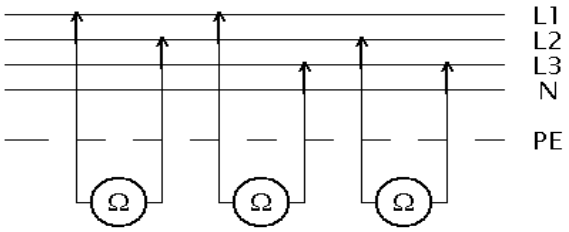
c) ohmetry s poměrovou magnetoelektrickou soustavou

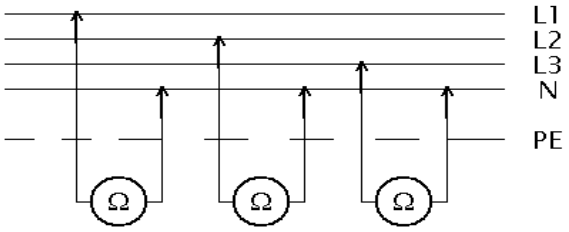
Tyto přístroje jsme probrali v kapitole magnetoelektrická měřící soustava.U těchto ohmetrů nemusíme na rozdíl od předchozích nastavovat elektrickou nulu.Tyto přístroje dosahují třídy přesnosti 0,5 a používají se pro měření odporů v rozsahu od 1 mΩ až do ∞ . Závisí zde ovšem na velikosti napěťového zdroje .

Měření izolačního odporu.

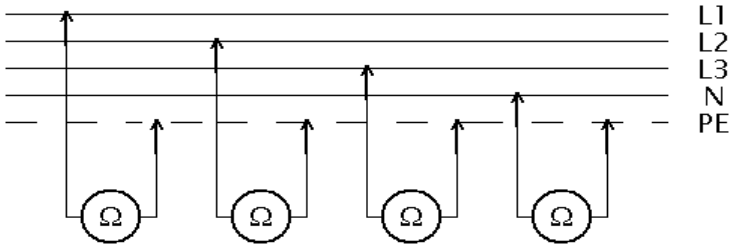
Vzhledem k tomu, že dokonalý izolant neexistuje a izolace vodičů určitý proud propouští a to hlavně tehdy, dojde-li k narušení jejich izolačních schopností (např. teplotou, vlhkostí, nebo stárnutím), je třeba z hlediska bezpečnosti měřit jejich izolační odpor.Izolační odpor se měří speciálními měřícími přístroji s magnetoelektrickým ukazatelem, nebo přístroji číslicovými. Stupnice přístrojů jsou ocejchovány v MΩ. Tyto přístroje měří velikost proudu, který protéká izolací po přiložení určitého napětí a izolační odpor vyhodnotí podle ohmova zákona. Měří se nejen izolační odpor vodičů rozvodných soustav, ale také izolační odpor různých přístrojů a spotřebičů. Při měření izolačního odporu měříme většinou elektrická zařízení bez napětí.Měřící přístroje mají vlastní zdroj stejnosměrného napětí, jehož velikost závisí na tom, v jaké rozvodné soustavě budeme izolační odpor měřit (např. 250V, 500V, 1000V). Při měření izolačního odporu v rozvodné síti provádíme tato základní měření:

a) měření izolačního odporu mezi pracovními vodiči viz. obr. 16.7
b) měření izolačního odporu mezi pracovními vodiči a zemí viz. obr. 16.8





obr. 16.7



obr. 16.8

Ze starších přístrojů pro měření izolačního odporu můžeme uvést např. tyto typy:
Megmet, PU 370, PU 371, PU 310

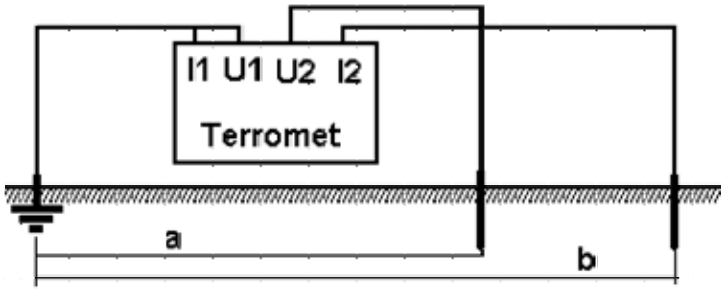
Z novějších přístrojů jsou to např. **MEGGER MJ 15,** nebo **IMEG 500 S**, které vidíme na obrázku 16.9 a 16.10

MEGGER MJ 15
Obr. 16.9

IMEG 500 S
obr. 16.10

Měření zemních odporů.

Měření zemních odporů je důležité pro zajištění bezpečnosti práce na elektrických zařízeních. Zemní odpor je přechodový odpor mezi zemničem a zemí.Na rozdíl od izolačních odporů, které by měly být co největší, měl by být zemní odpor co nejmenší. Přístroje, které se používají pro měření zemních odporů mají svůj vlastní střídavý zdroj napětí. Kmitočty těchto napětí se pohybují v rozmezí 38 až 42 Hz nebo 62 až 78 Hz. Jedním ze starších přístrojů pro měření zemního odporu je **terromet**, jehož zapojení při měření je na obr. 16.11.



obr. 16.11

Terromet má dvojici svorek napěťové a proudové. Na tyto svorky se připojují měřící sondy (tyče). Tyto sondy se zarážejí do země do hloubky minimálně 0,8 m. Musí ležet v přímce ve vzdálenostech a = 20m, b = 40m.
Z novějších přístrojů pro měření zemního odporu jsou to např. přístroje **CA 6421** nebo **CA 6460**, které vidíme na obrázku 16.12 a 16.13

CA 6421
Obr. 16.12

CA 6460
obr. 16.13

Dalšími novými přístroji pro měření zemního odporu jsou klešťové měřiče z nichž jeden **CA 6410** vidíme na obrázku 16.14.

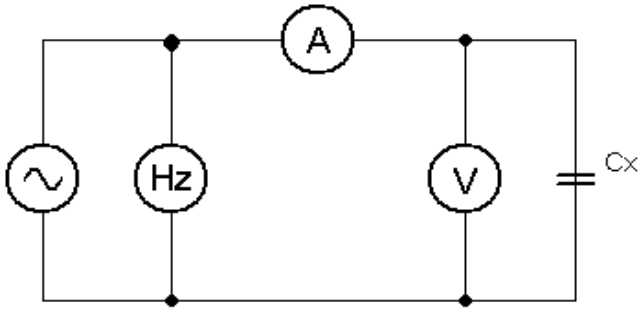
CA 6410
Obr. 16.14

17.Měření kapacity.

Měření kapacity voltmetrem a ampérmetrem.

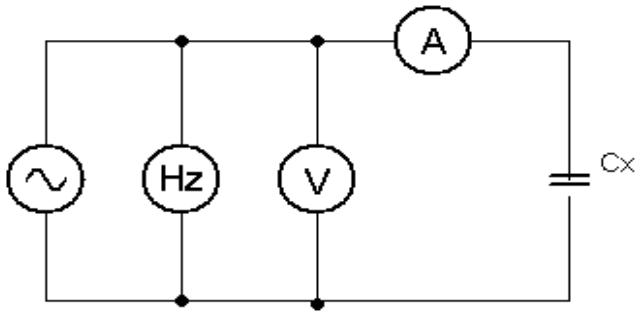
Toto měření připomíná Ohmovu metodu pro měření odporů. Stejně tak jako u tohoto měření můžeme použít dvě zapojení. Jedná se o zapojení pro měření velkých kapacit a zapojení pro měření malých kapacit. Pokud neznáme frekvenci napájecího napětí změříme jí kmitoměrem, případně použijeme k napájení NF generátor.

a) zapojení pro měření velkých kapacit viz. obr. 17.1



obr. 17.1

b) zapojení pro měření malých kapacit viz obr. 17.2



obr. 17.2

Platí-li pro ztrátový činitel kondenzátoru tgδ < 0,01, pak je přibližně impedance kondenzátoru rovna kapacitní reaktanci ($Z = X_c$). Pro výpočet kapacity kondenzátoru pak bude platit:

$Z = X_c = U / I$ $\quad X_c = 1 / 2\pi f C_x \quad U / I = 1 / 2\pi f C_x \Rightarrow C_x = I / 2\pi f U$

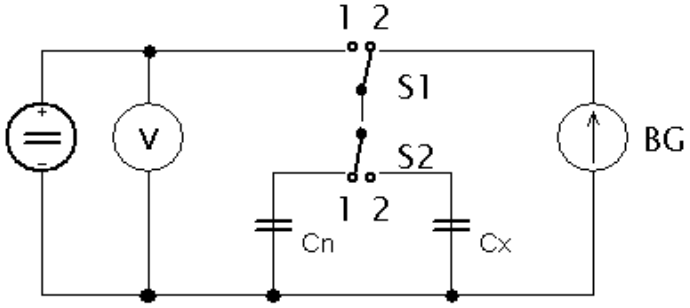
Hraniční kapacitu C_h pro použití jednoho ze zapojení vypočítáme přibližně podle vzorce:

$$C_h \approx 1 / \omega \cdot \sqrt{R_A R_V}$$

R_A – vnitřní odpor ampérmetru
R_V – vnitřní odpor voltmetru

Měření kapacity balistickým galvanometrem.

Balistický galvanometr je přístroj pro měření elektrického náboje.Náboj vybitý přes galvanometr BG, nebo náboj , kterým se přes galvanometr kondenzátor nabije můžeme vypočítat z první výchylky galvanometru podle vzorce: $Q = K_b \cdot \alpha$
K_b – balistická konstanta galvanometru
α - první výchylka balistického galvanometru



obr. 17.3

Při tomto měření použijeme porovnávací metodu viz obr. 17.3.
Popis postupu měření:
1) Normál kapacity C_N nabijeme na známé napětí U_1.
(přepínač P_1 je v poloze 1, P_2 také v poloze 1)
2) Vybijeme kondenzátor C_N přes BG a zaznamenáme výchylku galvanometru α_N.
(přepneme P1 do polohy 2)
3) Neznámý kondenzátor C_X nabijeme na napětí U_2.
(P1 bude v poloze 1 a P2 v poloze 2)
4) Vybijeme kondenzátor C_X přes BG a zaznamenáme výchylku α_X.
(P1 přepneme do polohy 2)

Pro výpočet neznámé kapacity C_X použijeme vzorec: $Q = C \cdot U$

Pro C_X platí: $Q_X = C_X \cdot U_2 = K_b \cdot \alpha_X$ $\quad$ Pro C_N platí: $Q_N = C_N \cdot U_1 = K_b \cdot \alpha_N$

Po vydělení obou rovnic dostáváme:

$C_X \cdot U_2 / C_N \cdot U_1 = K_b \cdot \alpha_X / K_b \cdot \alpha_N \Rightarrow C_X = C_N \cdot U_1 \cdot \alpha_X / U_2 \cdot \alpha_N$

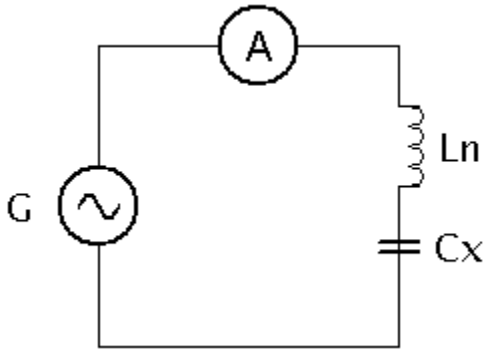
Jestliže použijeme napětí $U_1 = U_2$ pak platí:

$C_X = C_N \cdot \alpha_X / \alpha_N$

Chyba, která vzniká při těchto měřeních se pohybuje od 0,5 % do 1% podle typu kondenzátoru.

Měření kapacity rezonanční metodou.

Principielní zapojení obvodu pro toto měření je na obr. 17.4



obr. 17.4

Do obvodu zapojíme laditelný generátor G, ampérmetr A, cívku o známé indukčnosti Ln a kondenzátor o neznámé hodnotě Cx. Cívka Ln a kondenzátor Cx vytváří sériový rezonanční obvod. Pro rezonanci v tomto obvodu platí Thomsonův vzorec:

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LnCx}}$$

f_r – rezonanční kmitočet obvodu

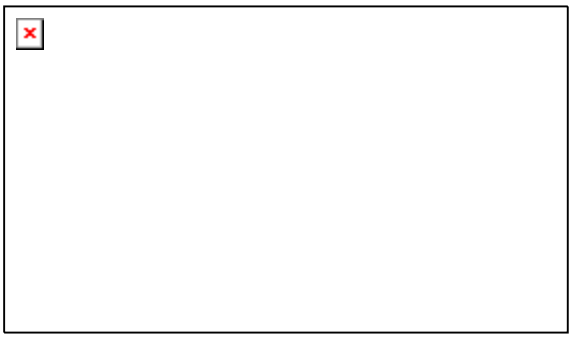
Pomocí generátoru naladíme obvod na rezonanční kmitočet. Rezonance nastává při maximální výchylce ampérmetru. Rezonanční kmitočet pak dosadíme do Thomsonova vzorce a vypočítáme z něj neznámou kapacitu Cx.

18.Měření vlastní indukčnosti.

Měření vlastní indukčnosti voltmetrem a ampérmetrem.

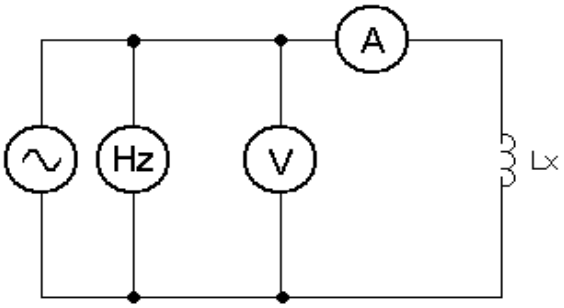
Toto měření se opět podobá měření odporů Ohmovou metodou. Při měření můžeme zase použít dvě zapojení. Je to zapojení pro měření malých indukčností a zapojení pro měření velkých indukčností.Pro zjištění vlastní indukčnosti cívky musíme znát ještě její ohmický odpor R. Ten můžeme zjistit Ohmovou metodou, nebo jej změřit ohmetrem.

a) zapojení pro měření malých indukčností viz. obr. 18.1



obr. 18.1

b) zapojení pro měření velkých indukčností viz. obr. 18.2



obr. 18.2

Pro impedanci cívky platí: $Z_X = U / I$ $\qquad Z_X = \sqrt{R_X^2 + \omega^2 L_X^2} \Rightarrow L_X = \frac{1}{\omega}\sqrt{Z_X^2 - R_X^2}$

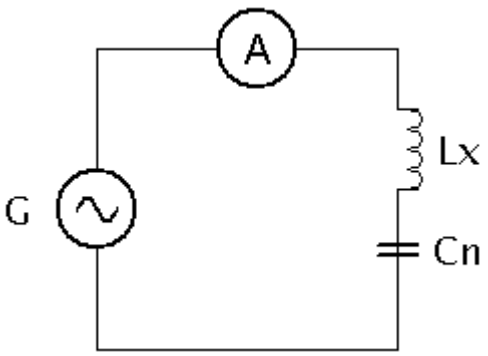
Hraniční indukčnost L_h pro použití jednoho ze zapojení vypočítáme přibližně podle vzorce:

$L_h \approx \frac{1}{\omega}\sqrt{R_A R_V}$

R_A – vnitřní odpor ampérmetru
R_V – vnitřní odpor voltmetru

Měření vlastní indukčnosti rezonanční metodou.

Principielní zapojení obvodu pro toto měření je na obr. 18.3



obr. 18.3

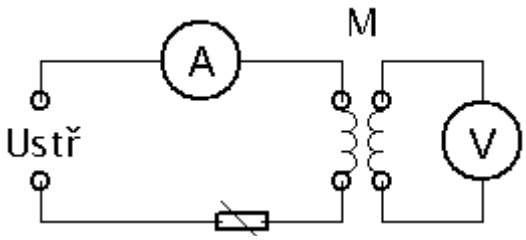
Do obvodu zapojíme laditelný generátor G, ampérmetr A, cívku o neznámé indukčnosti Lx a kondenzátor o známé hodnotě Cn. Cívka Lx a kondenzátor Cn vytváří sériový rezonanční obvod. Pro rezonanci v tomto obvodu platí Thomsonův vzorec:

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LxCn}}$$ f_r – rezonanční kmitočet obvodu

Pomocí generátoru naladíme obvod na rezonanční kmitočet. Rezonance nastává při maximální výchylce ampérmetru. Rezonanční kmitočet pak dosadíme do Thomsonova vzorce a vypočítáme z něj neznámou indukčnost Lx.

19.Měření vzájemné indukčnosti.

a) voltmetrem a ampérmetrem

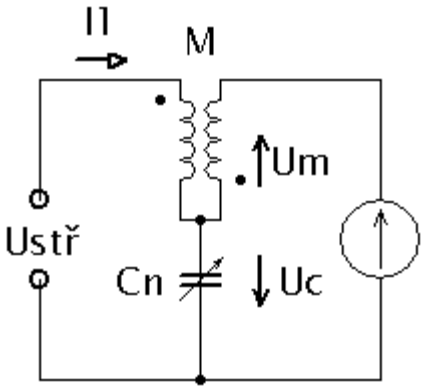


obr. 19.1

Zapojení je na obr. 19.1.Voltmetrem měříme sekundární napětí U_{20} a ampérmetrem primární proud I_{10}. Vzájemnou indukčnost M pak vypočítáme podle vzorce:

$$M = U_{20} / \omega I_{10}$$

b) rezonanční metodou (Campbellův můstek)



obr.19.2

Zapojení yohoto můstku je na obr. 19.2. Tento můstek není klasickým můstkem Wheatstoneova typu.

Postup měření:

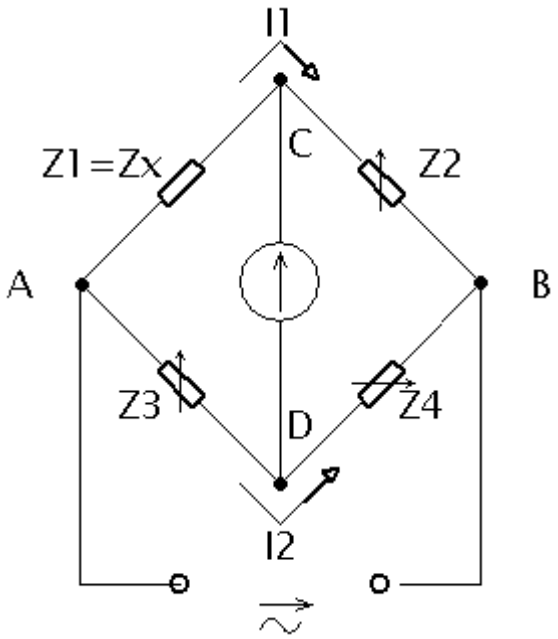
Pomocí kapacitního normálu Cn naladíme obvod do stavu rezonance (na nejmenší výchylku měřícího přístroje). Pak bude napětí Um rovno napětí Uc, ale obě napětí budou v protifázi.Pro tato napětí platí:

$$Um = \omega \cdot M \cdot I_1 \qquad Uc = I_1 / \omega \cdot Cn \qquad \omega \cdot M \cdot I_1 = I_1 / \omega \cdot Cn \Rightarrow M = 1 / \omega^2 \cdot Cn$$

20. Měřící můstky.

Teorie obecného můstku.

Pro měření odporu, kapacity, vlastní a vzájemné indukčnosti můžeme použít také měřící můstky. Základem těchto můstků je obecný můstek Wheatstoneova typu viz. obr. 20.1. Tento můstek se skládá ze čtyř impedancí, které jsou zapojeny v jednotlivých větvích můstku. Impedance $Z1 = Z_X$ je neznámá měřená impedance. Impedance Z_2, Z_3 a Z_4 jsou impedance známé, z nichž alespoň dvě jsou proměnné. Mezi body C a D můstku je zapojen nulový indikátor. Vyvažování můstku provádíme změnou impedancí Z_2, Z_3 a Z_4 tak dlouho, pokud nulový indikátor neukáže nulovou výchylku.



obr. 20.1

Pro vyvážený můstek musí platit:

a) napětí mezi body C a D musí být nulové
b) úbytek napětí na impedanci Z_1 se musí rovnat úbytku napětí na impedanci Z_3
c) úbytek napětí na impedanci Z_2 se musí rovnat úbytku napětí na impedanci Z_4

Z těchto podmínek pak můžeme napsat rovnice:

$$\mathbf{I_1 \cdot Z_1 = I_2 \cdot Z_3} \qquad \mathbf{I_1 \cdot Z_2 = I_2 \cdot Z_4}$$

Po vydělení první rovnice druhou dostáváme:

$$\mathbf{Z_1 / Z_2 = Z_3 / Z_4 \Rightarrow Z_1 \cdot Z_4 = Z_2 \cdot Z_3}$$

Do rovnice dosadíme: $\mathbf{Z_1 = Z_x}$ $\qquad$ $\mathbf{Z_x = Z_2 \cdot Z_3 / Z_4}$

Vzhledem k tomu, že obecná impedance je komplexní číslo dosadíme jednotlivé hodnoty v exponenciálním tvaru:

$$\mathbf{Z_x} e^{j\varphi_x} \cdot \mathbf{Z_4} e^{j\varphi_4} = \mathbf{Z_2} e^{j\varphi_4} \cdot \mathbf{Z_3} e^{j\varphi_3}$$

Po matematické úpravě této rovnice a jejího rozložení na dvě skalární (pro absolutní hodnoty a argumenty), dostáváme dvě podmínky rovnováhy pro střídavý můstek:

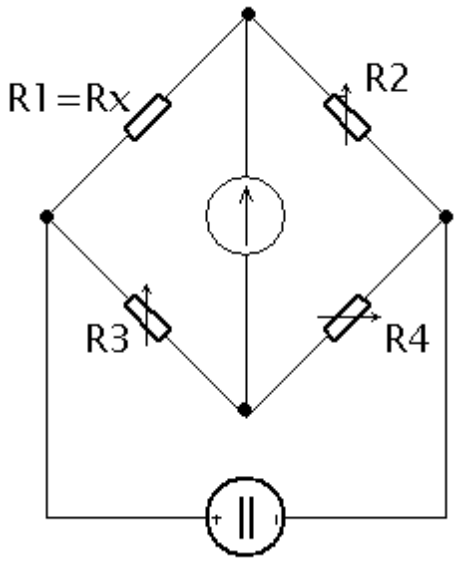
$$\mathbf{Z_x \cdot Z_4 = Z_2 \cdot Z_3}$$

$$\varphi_x + \varphi_4 = \varphi_2 + \varphi_4$$

Přesnost měření na střídavých můstcích závisí na přesnosti známých impedancí Z_2, Z_3 a Z_4, na citlivosti nulového indikátoru a na odstranění rušivých elektromagnetických polích, případně nežádoucích vazeb.Vzhledem k tomu, že tyto můstky se již pomalu přestávají používat je dobré se seznámit s jejich principem, který se využívá u většiny moderních přístrojů pro měření kapacit a indukčností.

Můstkové metody měření odporu.

a) Wheatstoneův můstek



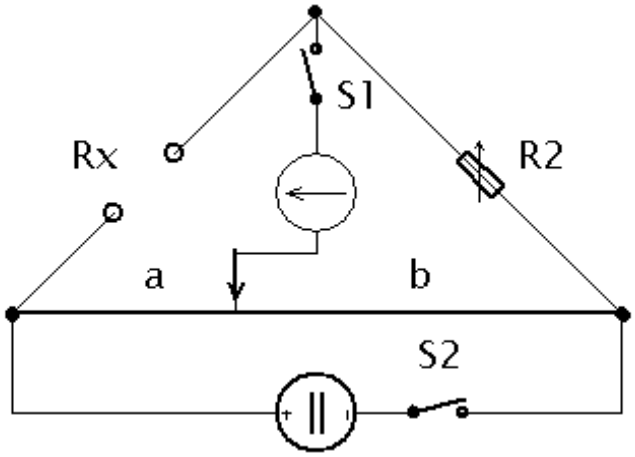
obr. 20.2

Můstek se skládá ze čtyř větví a nulového indikátoru viz. obr. 20.2. Napájen je ze stejnosměrného zdroje napětí. Vyvažování můstku provádíme rezistory R_2, R_3 a R_4 na nulovou výchylku indikátoru.Vzhledem k tomu, že tento můstek je zvláštním případem obecného můstku platí pro velikost neznámého odporu při vyvážení můstku vzorec:

$$R_1 = R_x = R_2 \cdot R_3 / R_4$$

b) Drátový můstek

Rezistory R_3 a R_4 jsou u tohoto můstku nahrazeny kalibrovaným odporovým drátem (drát, který má po celé délce konstantní průřez a měrný odpor) viz. obr. 20.3.



obr. 20.3

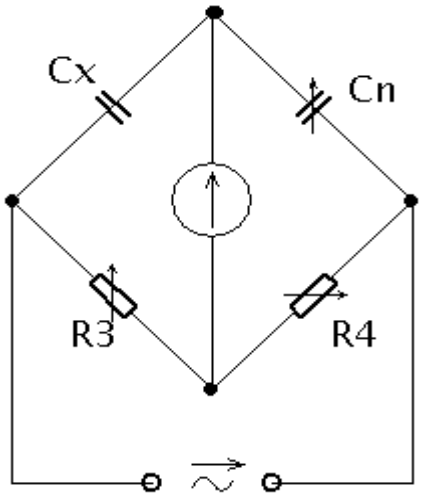
Ladění nulového indikátoru na nulovou výchylku provádíme pomocí rezistoru R_2 a posouváním jezdce po kalibrovaném drátu, čímž měníme délku úseků a, b.Pro velikost odporu R_X pak platí:

$$R_X = R_2 \cdot a / b$$

Můstkové metody měření kapacity.

a) Můstek De Sautyho

U tohoto můstku viz. obr. 20.4 lze splnit pouze první podmínku rovnováhy můstku obecného. Z těchto důvodů nemůžeme tento můstek vyvážit dokonale na nulu. Pro přesné vyvážení můstku by musely být kondenzátory Cx a Cn bezeztrátové. Při tomto měření proto ztrátové odpory kondenzátorů zanedbáváme.



obr. 20.4

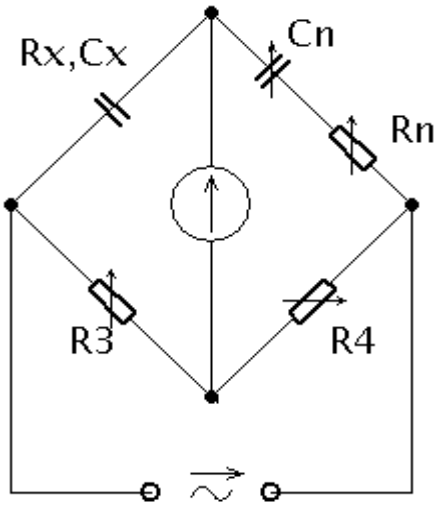
Pro rovnováhu můstku pak můžeme psát:

$$1 / j\omega Cx \cdot R_4 = 1 / j\omega Cn \cdot R_3 \Rightarrow Cx = Cn \cdot R_4 / R_3$$

Měření na tomto můstku se dá použít pouze pro kondenzátory s malým ztrátovým činitelem.

b) Wienův můstek

Když vložíme do druhé větve můstku De Sautyho viz obr. 20.5 rezistor Rn, můžeme nastavením tohoro rezistoru vyvážit můstek na nulu a tím splnit obě rovnice pro vyvážený obecný můstek. Můžeme říci, že odporem Rn vyvažujeme ztrátový odpor Rx neznámého kondenzátoru.



obr. 20.5

Po dosazení do rovnice pro rovnováhu obecného můstku a matematických úpravách dostáváme rovnici, kterou rozdělíme na reálnou a imaginární část:

$$Rx \cdot R_4 = Rn \cdot R_3 \Rightarrow Rx = Rn \cdot R_3 / R_4$$

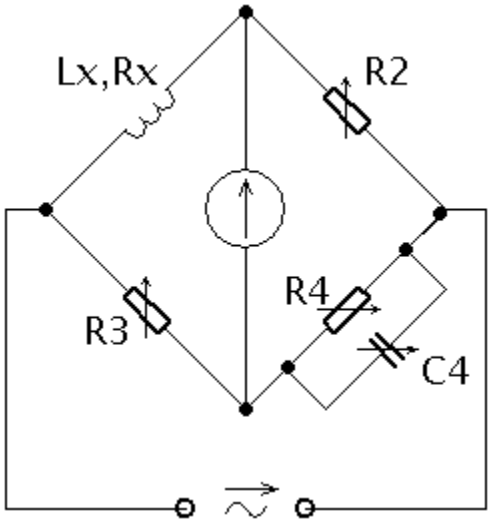
$$R_4 / j\omega Cx = R_3 / j\omega Cn \Rightarrow Cx = Cn \cdot R_4 / R_3$$

Vzhledem k tomu, že se v těchto vzorcích nevyskytuje kmitočet je tento můstek kmitočtově nezávislý. Kmitočet bychom potřebovali znát pouze pro výpočet ztrátového činitele tgδ. Přesnost měření na těchto můstcích může být až 0,1%.

Můstkové metody měření vlastní indukčnosti.

a) Maxwell – Wienův můstek

Podmínky rovnováhy tohoto můstku viz. obr. 20.6 můžeme opět odvodit z obecného můstku.



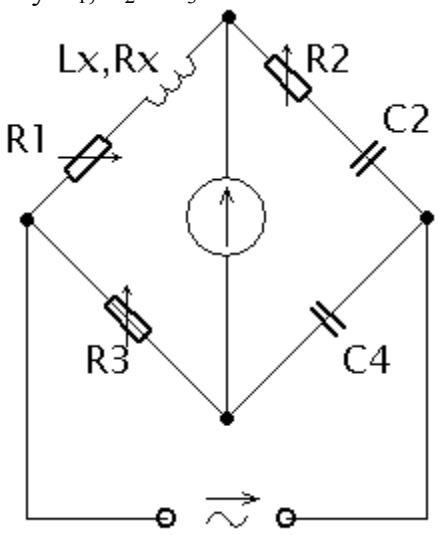
obr. 20.6

Pro hrubé vyvažování můstku používáme odporové dekády R_2 a R_3 a pro jemné doladění odporovou dekádu R_4 v paralelní kombinaci s kapacitní dekádou C_4. Po dosazení do rovnic pro podmínky rovnováhy obecného můstku , matematické úpravě rovnic a oddělení reálné a imaginární složky dostáváme dvě rovnice, které platí pro vyvážení Maxwell – Wienova můstku:

$$L_X = R_2 \cdot R_3 \cdot C_4 \qquad R_X = R_2 \cdot R_3 / R_4$$

b) Owenův můstek

Opět odvozujeme podmínky rovnováhy z obecného můstku. Tento můstek můžeme použít pro měření indukčností všech hodnot viz obr. 20.7. Zvláště vhodný je pro měření velkých indukčností.Výhodou tohoto můstku je, že nepotřebujeme pro jeho vyvažování kapacitní dekádu, ale jenom proměnné rezistory R_1, R_2 a R_3.



obr. 20.7

Podmínka rovnováhy Owenova můstku je zase dána dvěma rovnicemi:

$$L_X = R_2 \cdot R_3 \cdot C_4 \qquad R_X = R_3 \cdot C_4 / C_2 - R_1$$

Na obrázcích 20.8 , 20.9 a 20.10 vidíme různé typy můstků starší i novější výroby.

RLC můstek
obr. 20.8

RLC univerzální můstek
obr. 20.9

číslicový RLC můstek
obr. 20.10

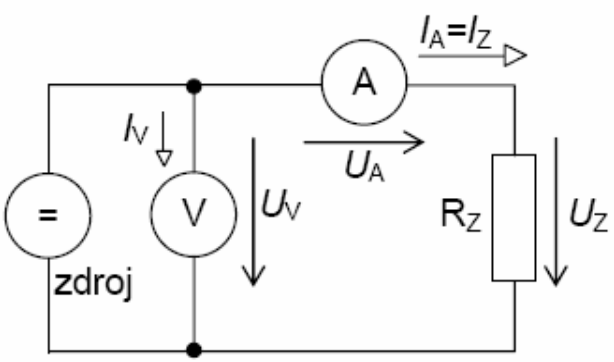
21.Měření výkonu elektrického proudu.

Měření výkonu stejnosměrného proudu voltmetrem a ampérmetrem.

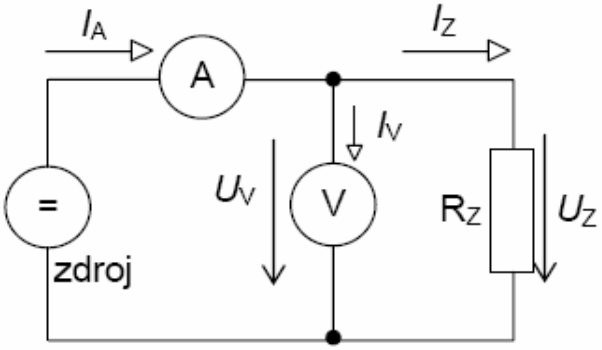
Výkon stejnosměrného proudu procházejícího zátěží vypočítáme podle vzorce:

$$P = U \cdot I \quad (W, V, A)$$

Stejně jako při měření odporu rezistoru Ohmovou metodou můžeme pro měření stejnosměrného výkonu použít dvě zapojení.



obr. 21.1



obr. 21.2

Při zapojení podle obrázku 21.1 měří voltmetr nejen napětí na zátěži, ale i úbytek napětí na ampérmetru. Pro výkon na zátěži pak bude platit:

$$P_Z = U_Z \cdot I_Z = (U_V - U_A) \cdot I_Z = U_V \cdot I_Z - U_A \cdot I_Z = U_V \cdot I_Z - \Delta P_A$$

$\Delta P_A = U_A \cdot I_Z$ - oprava výkonu (výkon, který se ztrácí v ampérmetru)

$\Delta P_A = U_A \cdot I_Z = R_A \cdot I_Z^2$ R_A – vnitřní odpor ampérmetru

Při zapojení podle obrázku 20.2 měří ampérmetr nejen proud procházející zátěží, ale i proud tekoucí voltmetrem. Pro výkon na zátěži pak bude platit:

$$P_Z = U_Z \cdot I_Z = U_Z \cdot (I_A - I_V) = U_Z \cdot I_A - U_Z \cdot I_V = U_Z \cdot I_A - \Delta P_V$$

$\Delta P_V = U_Z \cdot I_V$ - oprava výkonu (výkon, který se ztrácí ve voltmetru)

$\Delta P_V = U_Z \cdot I_V = \frac{U_Z^2}{R_V}$ R_V – vnitřní odpor voltmetru

Měření výkonů v obvodech střídavého proudu.

Pro výpočet výkonu v obvodu jednofázového střídavého proudu platí tyto vztahy:
činný výkon - $P = U \cdot I \cdot \cos\varphi$ (W)
jalový výkon - $Q = U \cdot I \cdot \sin\varphi$ (VAr)
zdánlivý výkon – $S = U \cdot I$ (VA)

Měření činného výkonu jednofázového proudu.

K měření činného výkonu jednofázového proudu používáme z analogových měřících přístrojů nejčastěji elektrodynamické wattmetry viz. obr. 21.3 a 21.4.Tyto přístroje mají proudovou a napěťovou cívku, jejichž začátky a konce jsou vyvedeny na svorky měřícího přístroje. Začátky cívek bývají označeny na přístroji šipkou, nebo tečkou. Je to z důvodu správného zapojení cívek při měření. Při měření se začátek napěťové cívky připojuje na stejný vodič jako cívka proudová a to před ni nebo za ni. Tyto wattmetry jsou postupně nahrazovány wattmetry číslicovými viz. obrázky 21.5 a 21.6.

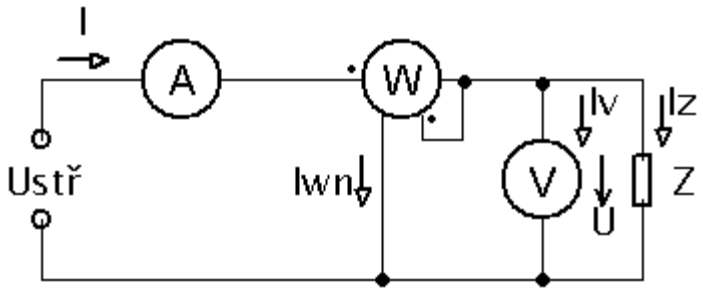
analogový wattmetr LW 1
obr. 21.3

analogový wattmetr MI 7033
obr. 21.4

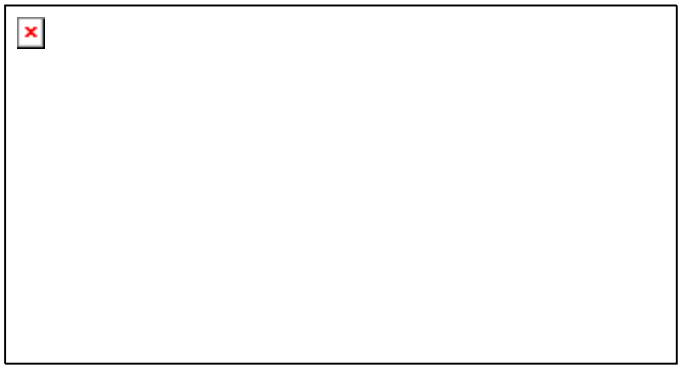
číslicový wattmetr EKM 265
obr. 21.5

číslicový klešťový wattmetr F 05
obr. 21.6

Při měření výkonu zapojujeme do obvodu s wattmetrem voltmetr a ampérmetr, abychom při měření zamezili přetížení některé z měřících cívek wattmetru. Pro měření výkonu můžeme použít dva možné způsoby zapojení a to podle obr. 21.7 nebo obr. 21.8.



obr. 21.7



obr. 21.8

Při zapojení podle obr. 21.7 je napěťová cívka wattmetru připojena paralelně k zátěži a voltmetr měří přímo napětí na zátěži. Ampérmetr však měří proud zátěží, napěťovou cívkou wattmetru a cívkou voltmetru. Pro celkový proud platí:

$$I = I_{Z+} Iwn + I_V$$

Wattmetr tedy měří kromě příkonu zátěže ještě ztrátový výkon voltmetru a napěťové cívky wattmetru.

$P_{Z=} P - \Delta Pwn - \Delta P_V = P - \Delta P_O$ P – výkon měřený wattmatrem

ΔP_O – oprava výkonu (ztrátový příkon měř. přístrojů)

Pro opravu platí:

$\Delta P_O = \Delta Pwn + \Delta P_V$ ΔPwn - spotřeba napěťové cívky wattmetru

ΔP_V – spotřeba voltmetru

$\Delta Pwn = \frac{U^2}{Rwn}$ Rwn – vnitřní odpor napěťové cívky wattmetru

$\Delta P_V = \frac{U^2}{R_V}$ R_V – vnitřní odpor voltmetru

Při zapojení podle obr. 21.8 měří ampérmetr přímo proud procházející zátěží, voltmetr však měří úbytek napětí na zátěži, na ampérmetru a na proudové cívce wattmetru. Pro celkové napětí U platí:

$$U = U_{Z+} Uwp + Ua$$

Wattmetr tedy měří kromě příkonu zátěže ještě ztrátový výkon ampérmetru a proudové cívky wattmetru.

$P_Z = P - \Delta Pwp - \Delta P_A = P - \Delta P_O$ P – výkon měřený wattmetrem

ΔP_O – oprava výkonu (ztrátový výkon měř. přístrojů)

Pro opravu platí:

$\Delta P_O = \Delta Pwp + \Delta P_A$ ΔPwp – spotřeba proudové cívky wattmetru

ΔP_A – spotřeba ampérmetru

$\Delta Pwp = Rwp \cdot I_Z^2$ Rwp – vnitřní odpor proudové cívky wattmetru

$\Delta P_A = R_A \cdot I_Z^2$ R_A – vnitřní odpor ampérmetru

Měření výkonu v trojfázových obvodech střídavého proudu.

Pro výpočet výkonu v obvodech střídavého trojfázového proudu platí tyto vztahy:

činný výkon – $P = \sqrt{3}\, U \cdot I \cdot \cos\varphi$ (W)

jalový výkon – $Q = \sqrt{3}\, U \cdot I \cdot \sin\varphi$ (Var)

zdánlivý výkon – $S = \sqrt{3}\, U \cdot I$ (VA)

Trojfázová síť může být třívodičová (nemá vyvedený střední vodič N a proto zde můžeme měřit pouze napětí sdružená) a čtyřvodičová (má vyvedený střední vodič N a proto zde můžeme měřit jak napětí sdružená, tak napětí fázová).

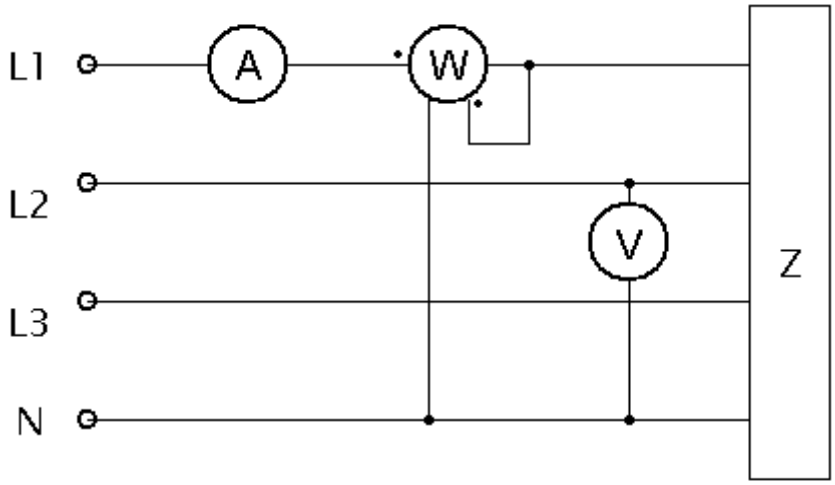
napětí sdružené - napětí mezi dvěma fázemi
napětí fázové – napětí mezi středním vodičem N a fázovým vodičem
Zatížení trojfázových sítí může být souměrné (proudy ve všech třech fázích jsou stejné), nebo nesouměrné (proudy jsou v každé fázi jiné).

Měření činného výkonu v souměrně zatížené trojfázové síti.

V tomto případě jsou všechny tři fáze zatíženy stejným proudem a proto můžeme použít k měření výkonu pouze jeden wattmetr. Pro celkový výkon pak platí:

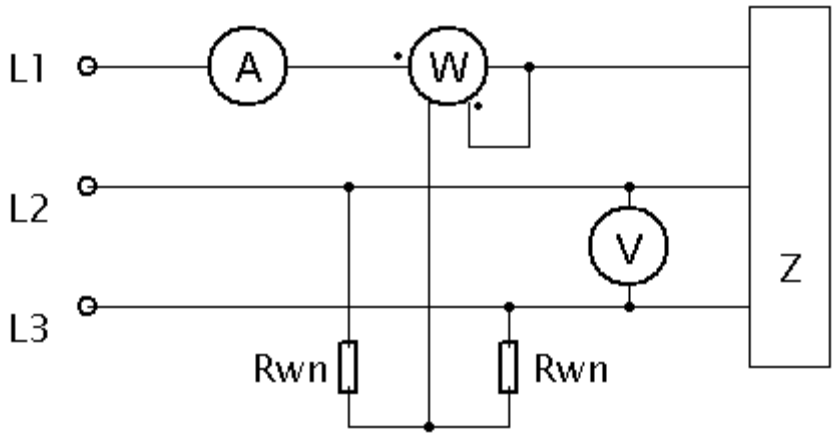
$P = 3 \cdot P_1 = 3 \cdot k_W \cdot \alpha$ P_1 – výkon měřený wattmetrem
k_W – konstanta wattmetru
α - výchylka wattmetru

Zapojení pro síť s vyvedeným uzlem je na obrázku 21.9.



obr. 21.9

Pro zapojení v třívodičové síti, která nemá střední vodič musíme vytvořit umělou nulu pomocí dvou rezistorů, jejichž odpor je roven odporu napěťové cívky wattmetru. Toto zapojení je na obrázku 21.10.



obr. 21.10

Měření činného výkonu v nesouměrně zatížené trojfázové síti.

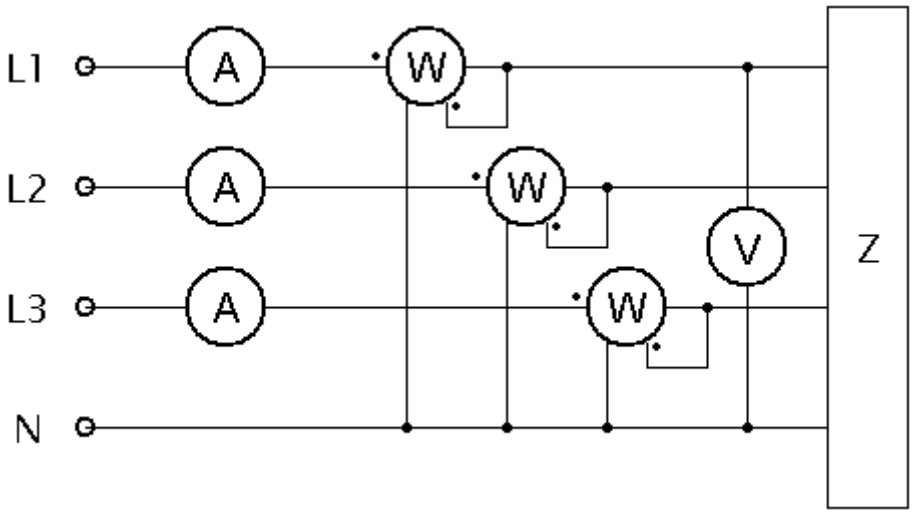
Protože v této síti je proud procházející jednotlivými fázemi různý, použijeme při měření tři wattmetry. Celkový výkon je pak roven součtu výkonů měřených jednotlivými wattmetry.

$$P = P_1 + P_2 + P_3$$

Budou- li mít všechny wattmetry stejnou konstantu pak bude platit:

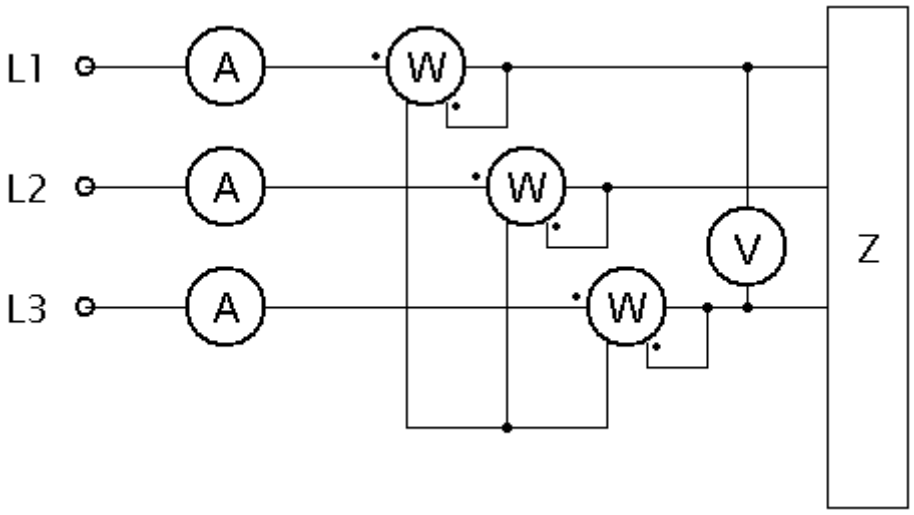
$$P = kw \cdot \alpha_1 + kw \cdot \alpha_2 + kw \cdot \alpha_3 = kw \cdot (\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3)$$

Zapojení pro čtyřvodičovou síť je na obrázku 21.11.



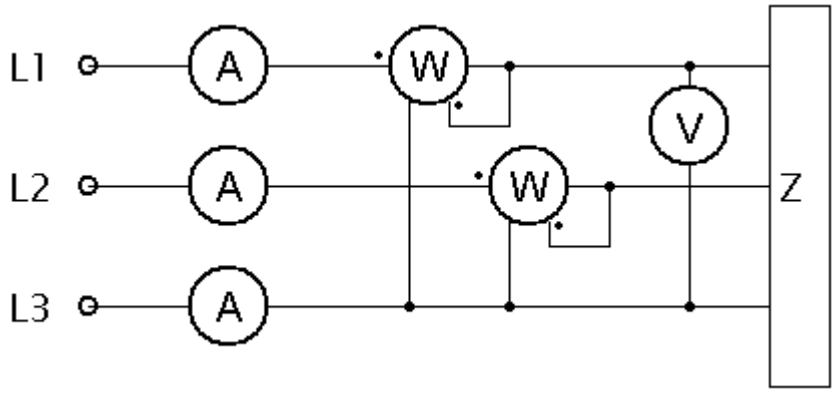
obr. 21.11

V případě měření výkonu třemi wattmetry v třívodičové soustavě musíme opět vytvořit umělou nulu a to tak, že spojíme konce napěťových cívek všech tří wattmetrů. Zapojení je na obrázku 21.12.



obr. 21.12

Pro měření činného výkonu v nesouměrně zatížené trojfázové síti můžeme použít také pouze dva wattmetry. Toto zapojení se nazývá Aronovo a je na obrázku 21.13.



obr. 21.13

Pro výkon v tomto zapojení platí:

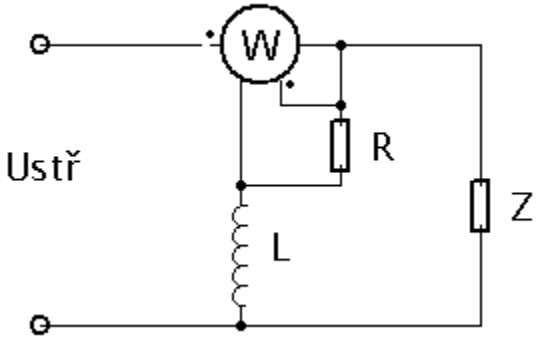
$P = P_1 + P_2 = kw \cdot (\alpha_1 + \alpha_2)$ kw – konstanta wattmetru (musí být stejná pro oba wattmetry)
P_1, P_2 – výkony měřené jednotlivými wattmetry
α_1, α_2 - výchylky jednotlivých wattmetrů

Měření jalového výkonu v jednofázové síti.

Chceme-li změřit jalový výkon nepřímou metodou, stačí změřit výkon činný, napětí a proud a z těchto veličin vypočítat fázový posun. Pak již můžeme spočítat výkon jalový. Přímou metodou můžeme jalový výkon změřit tak, že pootočíme napětí na napěťové cívce wattmetru o 90^o proti napětí, které přivádíme na tuto cívku při měření činného výkonu. Pro jalový výkon můžeme napsat:

$$Q = U \cdot I \cdot \sin\varphi = U \cdot I \cdot \cos (90^o - \varphi)$$

Posunutí o 90^o dosáhneme připojením vhodného rezistoru a cívky do obvodu napěťové cívky wattmetru podle obrázku 21.14.

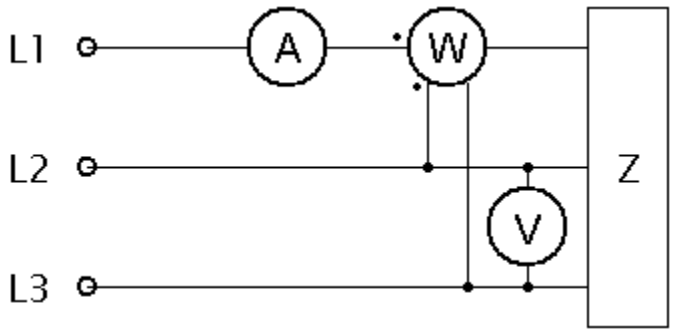


obr. 21.14

Toto nastavení wattmetru můžeme použít pouze pro jeden kmitočet (nejčastěji pro kmitočet 50 Hz).

Měření jalového výkonu v souměrně zatížené trojfázové síti.

Toto měření můžeme provádět jedním wattmetrem.Napěťovou cívku wattmetru připojíme mezi dvě fáze, ve kterých není zapojena cívka proudová viz obrázek 21.15.



obr. 21.15

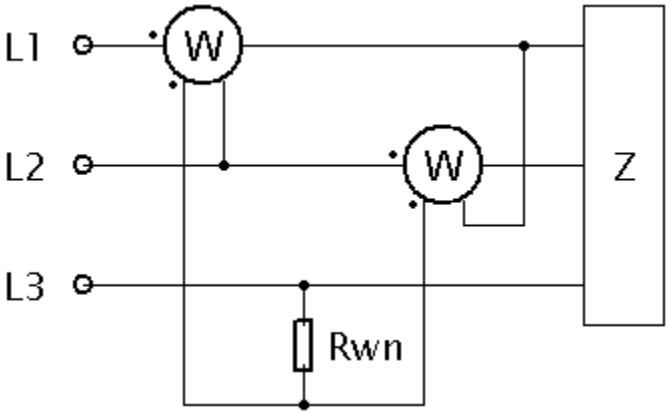
Celkový jalový výkon pak vypočítáme podle vzorce:

$$Q = 3 \cdot Q_1 / \sqrt{3} = \sqrt{3} \cdot Q_1$$

Údaj wattmetru Q_1 musíme dělit $\sqrt{3}$, protože napěťová cívka wattmetru je připojena na sdružené napětí.

Měření jalového výkonu v nesouměrně zatížené trojfázové síti.

Měření tohoto výkonu můžeme provádět dvěma, nebo třemi wattmetry. Zapojení se dvěma wattmetry je na obr. 21.16. Nazývá se také Aronovo zapojení.



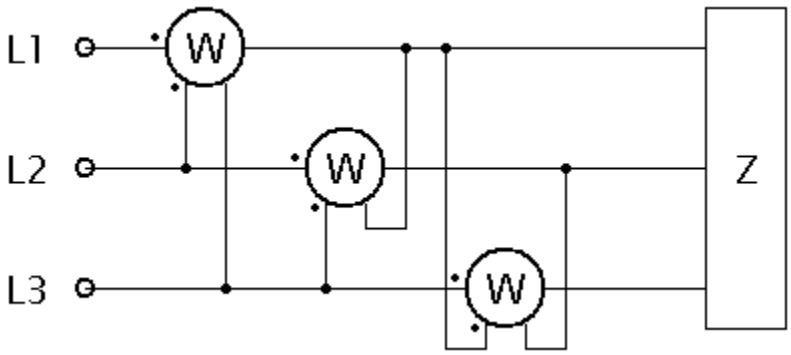
obr. 21.16

Hodnota rezistoru Rwn je stejná jako hodnota odporu napěťové cívky wattmetru.Velikost celkového jalového výkonu pak bude dána vzorcem:

$$Q = \sqrt{3} \cdot (k_{W1} \cdot \alpha_1 + k_{W2} \cdot \alpha_2)$$

k_{W1}, k_{W2} – měřící konstanty jednotlivých wattmetrů
α_1,α_2 – výchylky jednotlivých wattmetrů

Na obrázku 21.17 je zapojení pro měření jalového výkonu třemi wattmetry.



obr. 21.17

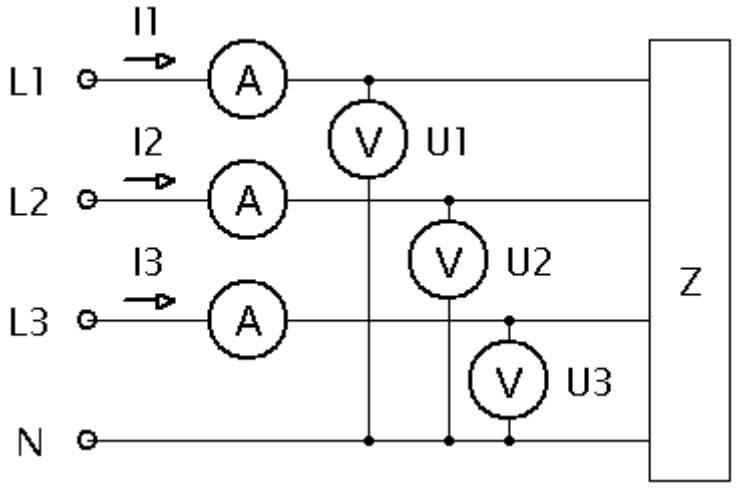
Pro celkový jalový výkon pak platí vzorec:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot (k_{W1} \cdot \alpha_1 + k_{W2} \cdot \alpha_2 + k_{W3} \cdot \alpha_3)$$

k_{W1}, k_{W2}, k_{W3} - měřící konstanty jednotlivých wattmetrů
α_1, α_2, α_3 – výchylky jednotlivých wattmetrů

Měření zdánlivého výkonu v trojfázové síti.

Zdánlivý výkon v trojfázové soustavě můžeme měřit v zapojení podle obr. 21.18.



obr. 21.18

Pro celkový zdánlivý výkon v trojfázové soustavě pak platí:

$$S = U_1 \cdot I_1 + U_2 \cdot I_2 + U_3 \cdot I_3$$

22.Normály (etalony) elektrických veličin.

Zvláště přesné měřící prvky, které realizují základní elektrotechnické jednotky a u kterých je zajištěno uchování a reprodukce dané jednotky fyzikální veličiny se nazývají normály (etalony).

Rozdělení normálů podle přesnosti:

a) primární normály (normály s nejvyšší dosažitelnou přesností) – jsou uloženy v metrologických ústavech jednotlivých států

a) sekundární normály (nazývají se také pracovní) - jsou odvozeny z normálů primárních

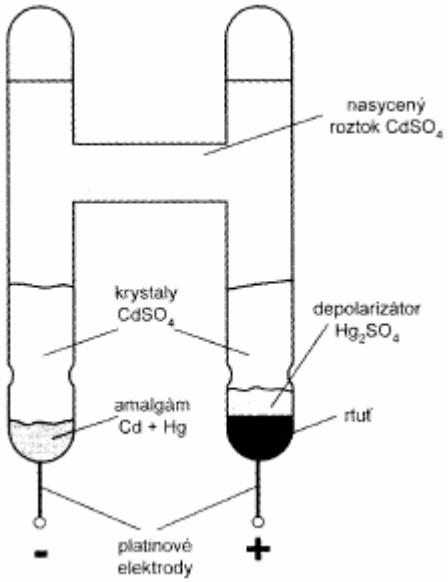
Rozdělení normálů elektrických veličin.

a) normál elektrického napětí
b) normál elektrického odporu
c) normál elektrické kapacity
d) normál vlastní indukčnosti
e) normál vzájemné indukčnosti

Normály elektrického napětí.

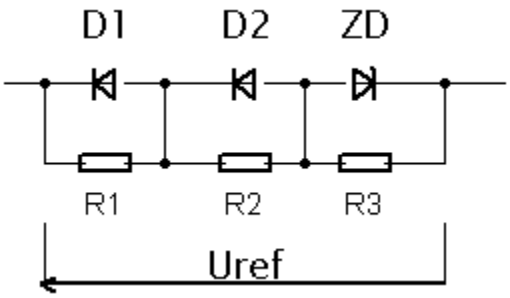
Ke klasickým normálům elektrického napětí patří Westonův článek. Je to galvanický článek s nasyceným elektrolytem. Uspořádání tohoto článku je na obr. 22.1.

Základem článku je skleněná trubice typu H. Kladná elektroda je tvořena čistou rtutí (Hg), záporná elektroda amalgamem kadmia (Cd – Hg). Elektrolytem je nasycený roztok síranu kademnatého ($CdSO_4$). Nad kladnou elektrodou je vrstva síranu rtuťnatého (Hg_2SO_4).Elektromororické napětí článku je 1,01865 V při teplotě 20 ^oC. Časové snižování napětí článku by nemělo přesáhnout 0,01% za rok. Článek by neměl být zatěžován velkými proudy. Maximální odběr by neměl přesáhnout 1μA.



obr. 22.1

Modernějšími normály elektrického napětí jsou zdroje referenčního napětí a to například teplotně kompenzované Zenerovy diody. Závislost napětí na Zenerově diodě v závěrném směru na velikosti odebíraného proudu je téměř konstantní. Zapojení Zenerovy diody je na obr. 22.2.



obr. 22.2

Diody D_1, D_2 a rezistory R_1, R_2 a R_3 se používají k nastavení co nejmenší závislosti napětí na teplotě. Tyto moderní normály se vyrábí i jako samostatné integrované obvody.

Normály elektrického odporu.

a) normály odporu pro stejnosměrný proud

Tyto normály musí být stálé z hlediska času, málo závislé na teplotě a s malým vlivem termoelektrického napětí. Nejčastěji používaný materiál pro jejich výrobu je nikelin. U odporů menších než 1Ω se začínají uplatňovat přechodové odpory na jejich svorkách. Proto se tyto normály vyrábí se čtyřmi svorkami a to dvěma přívodními (proudovými) a dvěma potenciálovými (napěťovými) pro připojení voltmetru. Odporové normály do hodnot 0,01Ω se vyrábí z plechu, ostatní se vinou z nikelinového drátu. Vyrábí se v těchto dekadických řadách:

$10^{-4} – 10^{-3} – 10^{-2}- 10^{-1} – 1 – 10 – 10^{2} – 10^{3} – 10^{4} – 10^{5}\ \Omega$

Některé normály mají přesnost 0,001 až 0,0001 %. Při měření se musí udržovat jejich konstantní teplota a proto jsou umístěny v olejové lázni. Snesou zatížení asi 0,01W. Pro běžná měření se vyrábí normály s přesností 0,01 % a ty snesou zatížení 1W na vzduchu a 3W v olejové lázni. Některé typy odporových normálů vidíme na obr. 22.3, 22.4 a22.5.

obr. 22.3

obr. 22.4

obr. 22.5

b) normály odporu pro střídavý proud

Tyto normály musí vykazovat v měřených obvodech nulovou indukčnost a kapacitu. U normálů s odporem do 100Ω můžeme vliv kapacity zanedbat, ale vliv indukčnosti se projevuje. Proto používáme pro výrobu normálů tzv. bifilární vinutí. Tímto vinutím odstraňujeme vliv indukčnosti. Pro normály větší jak 1000Ω však už nejsou tato vinutí vhodná. Začíná se zde projevovat kapacita mezi vodiči. V tomto případě se používá tzv. Chaperonovo vinutí. Odporové normály se používají pouze pro technické kmitočty proudu do 100Hz. Pro vyšší kmitočty se začíná projevovat skinefekt. Odporové normály se zhotovují od 0,1 Ω a mají přesnost 0,1 %.

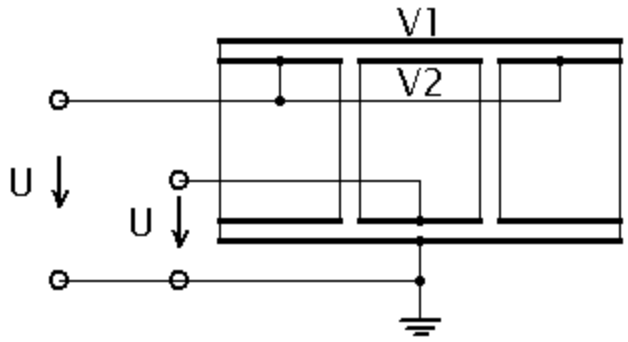
Normály elektrické kapacity.

Vlastnosti: kapacita nezávislá na vlivech okolí, na napětí mezi elektrodami, na kmitočtu při měření střídavým proudem, nejdokonalejší dielektrikum, malé dielektrické ztráty, velký izolační odpor a malou indukčnost

Kapacitní normály můžeme rozdělit na absolutní a sekundární (pracovní).

a) absolutní normály

Jsou to normály jejichž kapacitu si můžeme vypočítat z jejich rozměrů. Schema absolutního normálu je na obr. 22.6. Je to vzduchový kondenzátor, který se skládá ze dvou kovových souosých válců. Jedna elektroda, kterou tvoří vnější válec je uzemněna. Vnější válec, který tvoří druhou elektrodu je z důvodu homogenity elektrického pole rozdělen na tři části, které jsou navzájem izolované. Jsou však udržované na stejném potenciálu. Kondenzátor tvoří válec V1 a V2.



obr. 22.6

b) sekundární (pracovní) normály

U těchto normálů nemůžeme určit kapacitu výpočtem, ale musíme jí změřit. Kondenzátory se vyrábí s dielektrikem vzduchovým, plynovým, nebo pevným.

Vzduchové normály: vyrábí se jako deskové o hodnotách10 až 10000 pF s přesností 0,03% pro napětí až 2kV
Plynové normály: jako dielektrikum se používá dusík, kapacity kondenzátorů jsou 30 až 10000 pF s přesností 0,5 až 5 % pro napětí až 1400 kV
Pevné normály: tyto normály se vyrábí jako slídové, keramické, nebo styroflexové a to maximálně do hodnoty 1μF

obr. 22.7
kapacitní normály
Normály vlastní indukčnosti.

Vlastnosti: indukčnost normálu by neměla být závislá na velikosti procházejícího proudu a jeho kmitočtu, měl by mít malou vlastní kapacitu a činný odpor

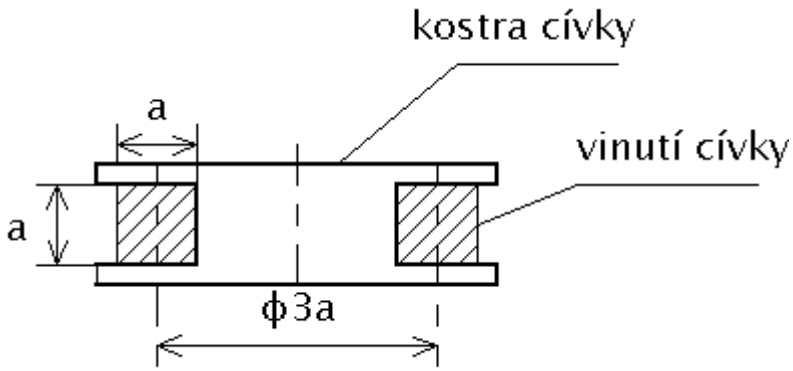
Normály vlastní indukčnosti můžeme rozdělit na absolutní a sekundární (pracovní).

a) absolutní normály

Absolutní normál je tvořen jednovrstvou cívkou, která je navinuta na válci z mramoru nebo křemenného skla. Na válci jsou přesně vybroušeny závity. Do těchto závitů je navinut kalibrovaný drát. Konce drátu jsou vyvedeny na svorky. Vlastní indukčnost cívky můžeme vypočítat z jejich rozměrů a počtu závitů.

b) sekundární (pracovní) normály

Tyto normály jsou tvořeny keramickou kostrou na které je umístěna vícevrstvá cívka..Tvar normálu a jeho rozměry viz. Obr. 22.8.



obr. 22.8

Tyto normály se vyrábí v hodnotách 10^{-4} – 10^{-3} – 10^{-2} – 10^{-1} – 1H. Jejich přesnost je 0,01 až 0,02 %.

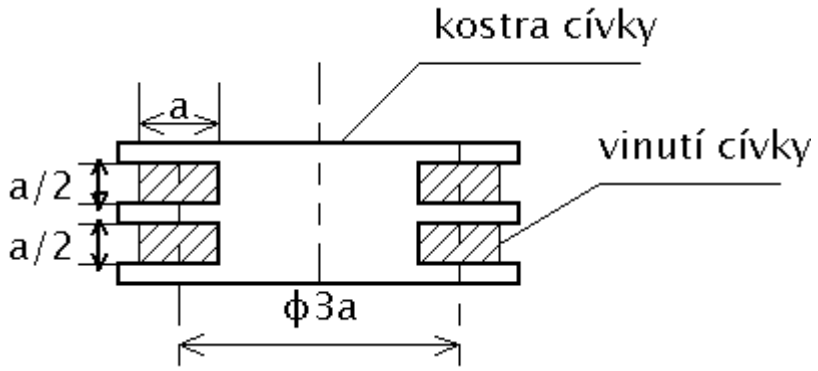
obr. 22.9
normály vlastní indukčnosti

Normály vzájemné indukčnosti.

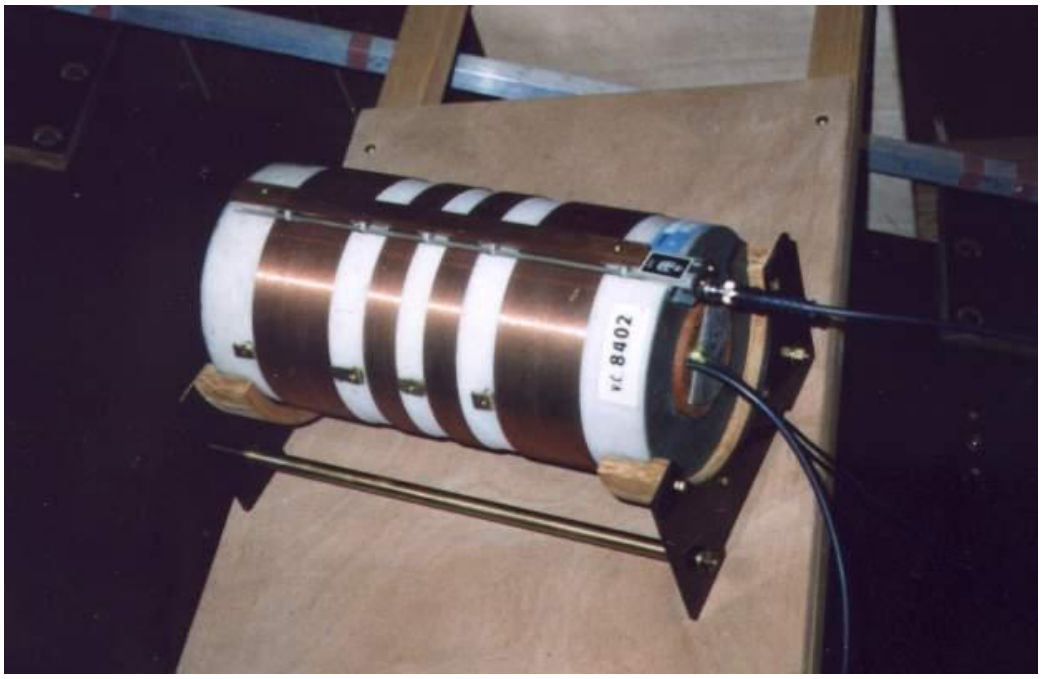
Vlastnosti: co největší koeficient vazby, co nejmenší kapacita mezi cívkami, co největší izolační odpor mezi cívkami

absolutní normály
Tento normál je konstrukčně stejný jako normál vlastní indukčnosti. Je ale tvořen dvěma jednovrstvými cívkami.

sekundární (pracovní) normály
Jsou zhotoveny stejně jako normály vlastní indukčnosti s tou výjimkou, že mají na kostře umístěna dvě vinutí viz. obr 22.10.



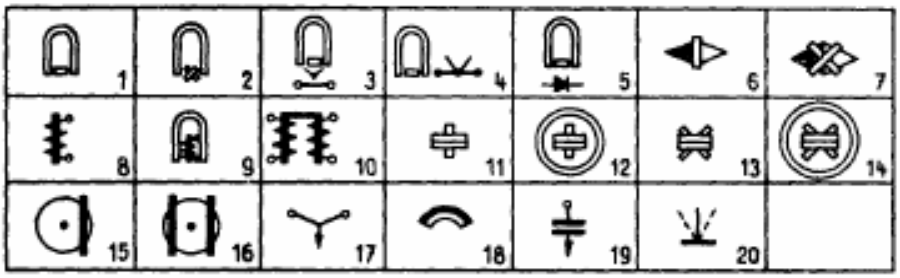
obr. 22.10



obr. 22.11
normál pro měření vlastní a vzájemné indukčnosti

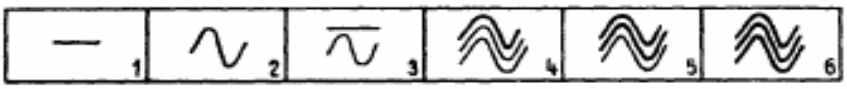
23. Značky používané na měřících přístrojích.

a) značky pro označení měřících ústrojí



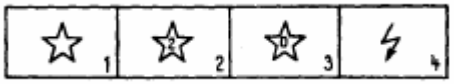
1. magnetoelektrické ústrojí
2. poměrové magnetoelektrické ústrojí
3. magnetoelektrické ústrojí s izolovaným termočlánkem
4. magnetoelektrické ústrojí s neizolovaným termočlánkem
5. magnetoelektrické ústrojí s usměrňovačem
6. ústrojí s otočným magnetem
7. poměrové ústrojí s otočným magnetem
8. feromagnetické ústrojí
9. feromagnetické polarizované ústrojí
10. poměrové feromagnetické ústrojí
11. elektrodynamické ústrojí
12. ferodynamické ústrojí
13. poměrové elektrodynamické ústrojí
14. poměrové ferodynamické ústrojí
15. indukční ústrojí
16. poměrové indukční ústrojí
17. tepelné ústrojí s drátem
18. tepelné ústrojí s bimetalem
19. elektrostatické ústrojí
20. rezonanční ústrojí

b) značky proudu a počtu měřících ústrojí



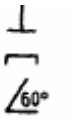
1. stejnosměrný proud
2. střídavý proud
3. stejnosměrný a střídavý proud
4. trojfázový přístroj s jedním měřící ústrojím
5. trojfázový přístroj se dvěma měřícími ústrojími
6. trojfázový přístroj se třemi měřícími ústrojími

c) značky pro zkoušky elektrické pevnosti



1. zkušební napětí 500V
2. zkušební napětí 2kV
3. u přístroje se nedělá zkouška elektrické pevnosti
4. elektrická pevnost přístroje neodpovídá předpisům

e) značky polohy přístroje při měření



1. přístroj ve svislé poloze
2. přístroj ve vodorovné poloze
3. sklon přístroje 60^{o}

f) značky tříd přesnosti

1. třída přesnosti vyjádřená z největší hodnoty měřícího rozsahu
2. třída přesnosti vyjádřená z délky stupnice
3. třída přesnosti vyjádřená ze skutečné hodnoty

ELEKTROTECHNICKÁ MĚŘENÍ

OBSAH

	str.
1. Význam a účel měření, rozdělení měřících přístrojů.	1
2. Přesnost měření.	2
3. Rušivé vlivy při měření	4
4. Vlastnosti měřících přístrojů.	5
5. Magnetoelektrické měřící přístroje	6
6. Feromagnetické měřící přístroje.	9
7. Elektrodynamické měřící přístroje.	10
8. Ferodynamické měřící přístroje.	12
9. Indukční měřící přístroje.	13
10. Tepelné měřící přístroje.	15
11. Rezonanční měřící přístroje.	16
12. Elektrostatické měřící přístroje.	16
13. Měření elektrických napětí.	18
14. Měření elektrického proudu.	20
15. Změna rozsahu měřících přístrojů.	23
16. Měření elektrického odporu.	24
17. Měření kapacity.	31
18. Měření vlastní indukčnosti.	33
19. Měření vzájemné indukčnosti	35
20. Měřící můstky.	36
21. Měření výkonu elektrického proudu.	41
22. Normály (etalony) elektrických veličin.	49
23. Značky používané na měřících ústrojích.	56