



Skripta

Školní rok : 2005/ 2006

Modul:

**Elektrické měření
Skripta 2
MĚŘÍCÍ SOUSTAVY**

Obor:

26-46-L/001 - Mechanik elektronik

26-51 H/003 – Elektrikář

26-75-4 – Elektrotechnika

Ročník:

2. ročník - Mechanik elektronik

3. ročník - Elektrikář silnoproud

2. ročník - Elektrotechnika

Zaměření:

Silnoproud

Elektrotechnika

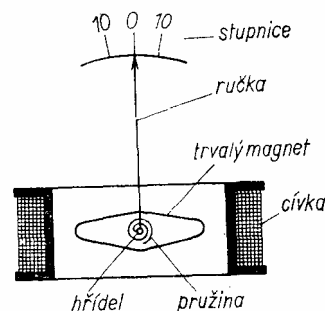
II. PŘÍSTROJE PRO MĚŘENÍ ELEKTRICKÝCH VELIČIN

11. Druhy měřicích ústrojí podle soustavy

Měřicí ústrojí je hlavní částí měřicího přístroje. Měřená veličina se v něm mění v krouticí moment nebo v sílu, která způsobuje pohyb. Vlastnosti měřicích přístrojů (jejich výhody nebo nevýhody) jsou především podmíněny použitou soustavou měřicího ústrojí. Proto probereme soustavy měřicích ústrojí nejdříve.

11.1. Soustava s otočným magnetem

Tato soustava je znázorněna na obr. 11. Prochází-li nepohyblivou cívkou elektrický proud, vytváří v ní magnetické pole. Permanentní magnet se v něm snaží natočit tak, aby jeho indukční křivky procházely stejným směrem jako indukční křivky magnetického pole cívky. Natačení magnetu odporuje řídicí moment, vznikající ve spirálových pružinách. Při měření se ručka ustálí v poloze, ve které jsou moment soustavy i řídicí moment stejné, a tedy v rovnováze. Přestaneme-li, pružiny vrátí ručku do klidové polohy.



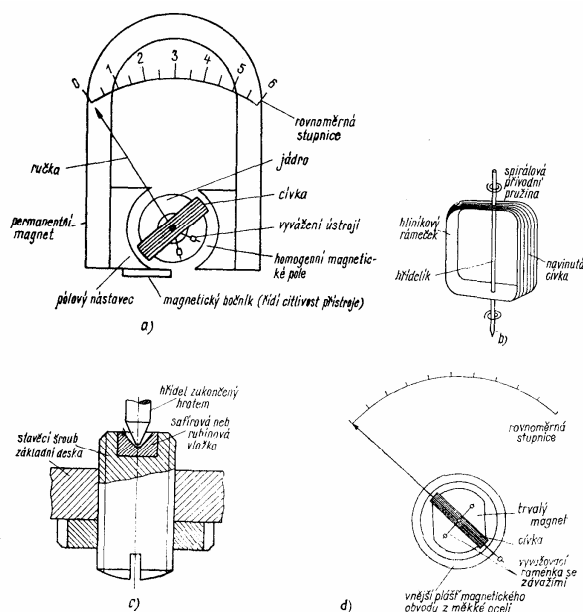
Obr. 11. Přístroj s otočným magnetem

Přístroje s otočným magnetem mohou měřit jen stejnosměrná napětí nebo proudy, jsou málo přesné a choulostivé na cizí magnetické pole; jejich výhodou však je jednoduchost. Používají se v elektrické výzbroji motorových vozidel

11.2. Soustava magnetoelektrická

je zjednodušeně načrtnuta na obr. 12. Skládá se z nepohyblivého podkovovitého permanentního magnetu, jehož póly mají pólové nástavce z měkké oceli. V dutině mezi nástavci je souose upevněné válcovité jádro, rovněž měkké oceli. V přesné vzduchové mezeře mezi nástavci a jádrem je homogenní magnetické pole, v němž je otáčivě uložena cívka.

Cívka je navinuta tenkým izolovaným měděným drátem na hliníkovém rámečku, upevněném na ocelovém hřídeli (obr. 12b). Přívody cívky tvoří dvě izolovaně upevněné spirálové pružiny, které též pomáhají vytvářet řídicí moment, jenž vrací cívku do základní polohy. Na hřídeli je ještě upevněna ručka, která při měření ukazuje na stupnici úhel pootočení cívky, tedy výchylku. Hřídel bývá obvykle uložen v hrotových ložiskách (viz obr. 12c). Toto tzv. hrotové uložení má velmi malé tření, ale může se při nárazu snadno poškodit. Tlumení je magnetické.



Obr. 12. Přístroj magnetoelektrický: a) sestavení; b) detail otočné části; c) hrotové ložisko měřicích přístrojů; d) ústrojí s vnitřním magnetem

11.3. Podstata činnosti magnetoelektrické soustavy

Prochází-li cívkou, která je v magnetickém poli permanentního magnetu, stejnosměrný proud, budí v ní magnetické pole. Toto pole se snaží otočit cívku tak, aby smysl jeho toku byl shodný s polem magnetu. Tak vzniká síla, která vytváří moment soustavy a pootáčí cívku, tomuto pootáčení odporuje řídící moment přírodních pružin. Úhel pootočení cívky, a tedy i výchylka ručky na stupnici závisejí vždy na velikosti proudu, který prochází cívku - oba momenty, moment soustavy i moment řídící, jsou přitom v rovnováze.

Moment soustavy je úměrný indukci magnetického pole ve vzduchové mezeře, počtu závitů cívky, účinné délce závitů, poloměru cívky a proudu procházejícímu cívku. Protože řídící moment pružin je úměrný úhlu pootočení cívky, má magnetoelektrická soustava všechny dílky na stupnici stejné, tj. její stupnice je rovnoměrná. Je to výhodné pro čtení výchylky ručky, neboť se část necelého dílku odhaluje v desetinách přesněji než u stupnice nerovnoměrné.

Poslední dobou se upouští od podkovovitého tvaru magnetů a nahrazují se hranoly z magneticky tvrdých slitin (např. AlNiCo). Tyto magnety dávají značnou magnetickou indukci, umožňují zmenšit rozměry a váhu přístrojů, zvětšují jejich citlivost. Magnety se podrobují umělému stárnutí, aby se jejich magnetický tok během používání přístroje neměnil a nemusel se opravovat magnetickým bočnickem. Magnetický bočník také umožňuje u přístrojů stejného druhu nařídit stejnou citlivost.

Nejnovější přístroje mají změnu v konstrukci, viz obr. 12d. Válcové jádro z měkké oceli je nahrazeno silným magnetem a zbytek magnetického obvodu tvoří trubkový plášť z měkké oceli. Cívka není upevněna na hřídeli, nýbrž je zavěšena na dvou tenkých a úzkých bronzových páscích, které slouží jako přírady a při natáčení cívky také vytvářejí řídící moment. Je to tzv. závěsové uložení dvojité; dosáhlo se jím značné citlivosti a podstatného snížení vlastní spotřeby. Touto konstrukcí magnetického obvodu se také dosáhlo prodloužení stupnice.

11.4. Vlastnosti a použití magnetoelektrických přístrojů

Měřicí přístroje magnetoelektrické jsou nejrozšířenější pro výhodné vlastnosti této soustavy; jsou to značná citlivost, velmi malá vlastní spotřeba, přesnost a rovnoměrná stupnice. Nevýhodou této soustavy je, že střídavé proudy nebo napětí nemůže měřit bez doplnění stykovými usměrňovači nebo termoelektrickým článkem.

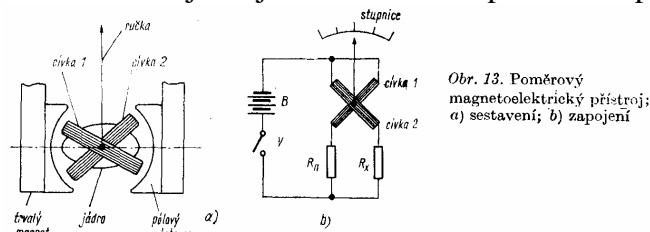
Přístroje magnetoelektrické slouží hlavně jako voltmetry, ampérmetry a přímo ukazující ohmmetry, v provedení se zvýšenou citlivostí též jako stejnosměrné galvanometry a indikátory nuly.

Vlastní spotřeba těchto přístrojů bývá v rozmezí od 10 μW asi do 100 mW. U voltmetrů se to projevuje odporem od 500 Ω/V až do 50 $\text{k}\Omega/\text{V}$ a proudem pro plnou výchylku od 2 mA do 20 μA . U ampérmetrů bývá úbytek napětí pro plnou výchylku asi od 40 do 300 mV.

11.5. Soustava magnetoelektrická poměrová

Tato soustava je znázorněna na obr. 13. Pevná část měřicího ústrojí se podobá ústrojí s otočnou cívkou. Mezi pólovými nástavci permanentního magnetu má také jádro z měkké oceli, které však má oválný průřez. Tím se vzduchová mezera rozšiřuje a hustota magnetického toku v ní klesá.

Ve vzduchové mezeře jsou otočně uloženy dvě cívky, spojené pevně spolu i s hřídelí. Cívky spolu svírají vzhledem ke svislé ose úhel větší než 90° . Na hřídeli jsou také izolovaně připevněny přívodní pružiny a ručka. Pružiny jsou bez řídícího momentu, a proto, nejsou-li cívky napájeny proudem (při vypnutém přístroji), může otočná část měřicího ústrojí zaujmout libovolnou polohu. Stupnice je nerovnoměrná.



Obr. 13. Poměrový magnetoelektrický přístroj;
a) sestavení; b) zapojení

11.6. Použití a podstata činnosti poměrové soustavy magnetoelektrické

Měřicího ústrojí této soustavy se používá ke konstrukci ohmmetrů pro měření elektrického odporu. Schéma zapojení ústrojí je na obr. 13b. Obě cívky jsou paralelně připojeny ke stejnosměrnému zdroji B, jedna přes porovnávací odpor R_n druhá přes měřený odpor R_x . Stlačením tlačítka V se uzavře proudový obvod zdroje a cívkami začnou procházet elektrické proudy, jejich velikosti se řídí Ohmovým zákonem. V obou cívkách vzniknou točivé momenty v závislosti na procházejících proudech a na hustotě magnetického pole, ve kterém cívky právě jsou.

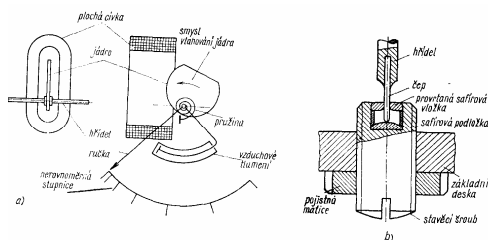
Cívka 1 je zapojena tak, že její točivý moment se snaží mechanicky spojenými cívkami otáčet ve směru pohybu hodinových ručiček, cívka 2 zase opačně. Větší točivý moment působí na otočnou část ústrojí tak, že cívka s větším momentem se dostává do řidšího magnetického toku a její moment se zmenšuje, kdežto cívka s menším momentem se dostává do hustšího magnetického toku a její moment se zvětšuje. Když se velikosti obou točivých momentů vyrovnají, otáčení cívek se zastaví a ručka na stupnici ukazuje velikost měřeného odporu R_x .

Předností poměrové soustavy magnetoelektrické je nezávislost výchylky, a tedy i přesnost měření na kolísání napětí napájecího zdroje.

12. Soustava feromagnetická

Měřicí ústrojí této soustavy (dříve nazývané elektromagnetická) je založeno na magnetických účincích elektrického proudu. Vyrábí se buď s plochou cívkou, nebo s kruhovou cívkou.

Feromagnetická soustava s plochou cívkou je na obr. 14. Má nepohyblivou cívku oválného průřezu s plochou dutinou. Z jedné čelní strany dutiny



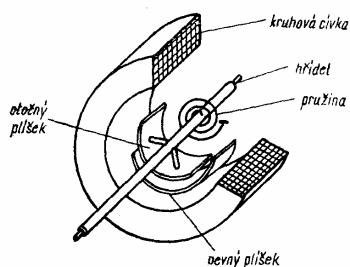
Obr 14. a) přístroj feromagnetický s plochou cívkou; b) čepové ložisko

je jádro z feromagnetické látky připevněno k hřídeli. hřídel je uložen v ložiskách a je k němu ještě připojena ručka a jedna spirálová pružina, která vytváří řídicí moment. Stupnice je nerovnoměrná. Tlumení otočné části je vzduchové, a to pístové.

12.1. Podstata činnosti feromagnetického přístroje s plochou cívkou

Elektrický proud procházející cívkou vytváří při měření magnetické pole, které vtahuje do dutiny cívky jádro. Proti vtahování působí řídicí moment pružiny. Výchylka ručky na stupnici závisí tedy na silovém účinku magnetického pole, který závisí na druhé mocnině velikosti proudu procházejícího cívkou. Proto je stupnice nerovnoměrná.

Feromagnetická soustava s kruhovou cívkou je na obr. 15 a její složení je poněkud jiné než u soustavy s plochou cívkou. Ve válcové dutině jsou



Obr. 15. Přístroj feromagnetický s kruhovou cívkou

dva plíšky z měkké oceli. Jeden plíšek je nepohyblivý, druhý pohyblivý, spojený se hřídelem. Na hřídel je ještě připojena ručka, spirálová pružina a křídélko vzduchového tlumení. Hřídel je uložen v čepových ložiskách (čepové uložení). Toto ložisko má větší tření než hrotové ložisko, ale je mechanicky odolnější.

12.2. Podstata činnosti feromagnetického přístroje s kruhovou cívkou

Prochází-li cívkou elektrický proud, budí v ní magnetické pole, které souhlasně magnetuje oba plíšky v dutině cívky. Pohyblivý plíšek je stejnojmenným pólem pevného plíšku odpuzován, otáčí hřídelem a vychyluje ručku.

12.3. Vlastnosti a použití feromagnetických přístrojů

Feromagnetický přístroj má cívku buď s velkým počtem závitů tenkého drátu (voltmetr), nebo s malým počtem závitů drátu velkého průřezu (ampérmetr); měří buď napětí, nebo proudy stejnosměrné, popř. i střídavé. U střídavých veličin udává efektivní hodnotu. Vyrž i dosti značná přetížení, má však poměrně velkou vlastní spotřebu: u voltmetrů 2 až 10 VA, u ampérmetrů je menší. Nerovnoměrnost stupnice se zmírňuje vhodnou úpravou tvaru jádra nebo plíšků. U ampérmetrů platí dělení stupnice jak pro stejnosměrné tak i pro střídavé proud průmyslového kmitočtu. U voltmetrů se může nepříznivě projevit změna kmitočtu nebo i změna teploty.

Měřicí přístroje této soustavy mají jednoduchou, odolnou konstrukci. Používá se jich hlavně na montážích a pro provoz, ve speciální úpravě také pro motorová vozidla.

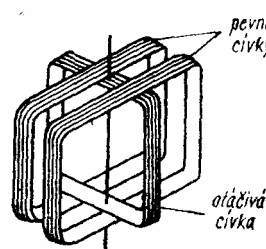
13. Soustava elektrodynamická a ferodynamická

Elektrodynamická soustava je zjednodušeně znázorněna na obr. 16. Svou činností se podobá soustavě magnetoelektrické; magnetické pole permanentního magnetu je zde nahrazeno polem nepohyblivé cívky, kterou při měření prochází elektrický proud.

Tato cívka se rozděluje do dvou částí, spojených za sebou, v dutině nepohyblivé cívky je uložena cívka otočná. Její přívody jsou provedeny jako dvě spirálové pružiny, které zároveň vytvářejí řídicí moment. Na hřídeli je též připevněna ručka, ukazující při měření výchylku na stupnici. Tlumení tohoto ústrojí je vzduchové.

13.1. Podstata činnosti elektrodynamické soustavy

Prochází-li oběma druhy cívek elektrický proud, snaží se magnetické pole pohyblivé cívky otočit tuto cívku tak, aby se smysl toku jejího pole shodoval se smyslem magnetického toku cívky nepohyblivé. Tomu odporuje řídicí moment spirálových pružin. Výchylka ručky závisí na proudech v obou cívkách.



Obr. 16. Podstata elektrodynamického přístroje

13.2. Použití a vlastnosti elektrodynamických přístrojů

Spojíme-li pevnou i pohyblivou cívku měřicího ústrojí do série podle obr. 17a. můžeme tímto přístrojem měřit napětí jako voltmetrem. Při paralelním spojení obou cívek a připojením bočnicku k pohyblivé cívce (tj. paralelního činného odporu) může přístroj sloužit jako ampérmetr. Přístroje mohou měřit stejnosměrné i střídavé veličiny, u nichž udávají efektivní hodnotu. Je proto výhodné, že stupnice jsou společné a přístroje můžeme oceňovat stejnosměrnými veličinami. Stupnice jsou nerovnoměrné.

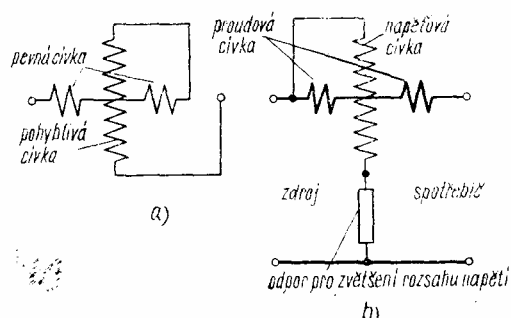
Častěji se elektrodynamické soustavy používá u wattmetrů pro měření výkonu stejnosměrného i střídavého proudu. Cívky se v nich zapojují podle obr. 17b. Nepohyblivá cívka s malým počtem závitů je cívkou proudovou, pohyblivá cívka s velkým počtem závitů se připojuje přes předřadník (tj. sériový činný odpor) na napětí. Předřadník zvětšuje rozsah měřeného napětí a v této soustavě též omezuje vliv indukčního odporu napěťové cívky při měření střídavého výkonu.

Nevýhodou této soustavy je poměrně malá citlivost a značná spotřeba; také cizí magnetická pole mohou mít značný vliv na přesnost měření.

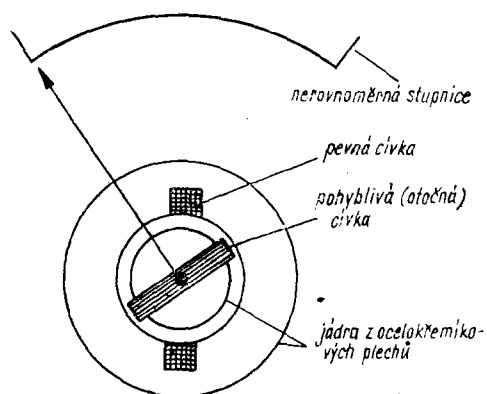
Aby se jejich nepříznivý vliv odstranil, ukládá se měřicí ústrojí do krytu z feromagnetického materiálu (magnetické stínění). Takové uspořádání bývá nejčastější.

13.3. Podstata a použití ferodynamických přístrojů

Citlivost elektrodynamické soustavy zlepšíme, když oběma cívkám dáme feromagnetická jádra podle obr. 18. soustava se pak nazývá ferodynamická (starší název je elektrodynamická se železem). Jádro nepohyblivé cívky má prstencový tvar s drážkami pro uložení cívky; skládá se z ocelokřemíkových plechů, vzájemně izolovaných; stejného složení je i válcové jádro v jeho dutině. Obě jádra vytvářejí vzduchovou mezeru, v níž se otáčí pohyblivá cívka. Ostatní uspořádání je shodné jako u předcházející soustavy.



Obr. 17. Zapojení cívek elektrodynamického přístroje;
a) pro měření elektrického napětí;
b) pro měření elektrického výkonu



Obr. 18. Podstata ferodynamického přístroje

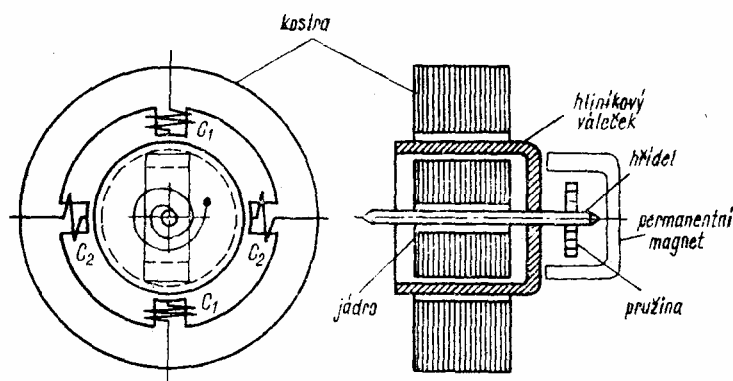
Ferodynamická soustava se používá jen u wattmetrů pro měření výkonu střídavého proudu. Vlivem ztrát ve feromagnetických jádrech měří s přesností nejvýše 0,5% avšak citlivost se použitím jader velmi zvětšila. Přihlédneme-li k vlastní spotřebě přístroje, můžeme měřit i výkony menší než 1 W.

14. Soustava indukční

Točivý moment této soustavy vzniká působením vířivých proudů. Hodila by se tedy tato soustava k měření střídavých proudů, napětí a výkonu, v praxi se jí však používá pouze k měření spotřeby střídavé elektrické energie; rozeznáváme soustavy s točivým magnetickým polem a postupným magnetickým polem. Měřicí přístroje ostatních jmenovaných veličin se nahrazují přístroji ferodynamickými.

14.1. Podstata indukčního přístroje s točivým magnetickým polem

Na obr. 19 je zjednodušeně znázorněn indukční přístroj s točivým magnetickým polem: přístroj by se mohl použít jako wattmetr. Na kostře složené z ocelokřemíkových plechů jsou vyniklé póly s dvojími cívkami. Napěťové cívky c_1 mají hodně závitů z tenkého drátu a proudové cívky c_2 mají málo závitů tlustého drátu. Uvnitř prostoru mezi póly je pro lepší magnetickou vodivost válcové jádro, rovněž složené z ocelokřemíkových plechů. Ve vzduchové mezeře mezi kostrou a jádrem je (vložen) hliníkový váleček upevněný na hřídeli. S hřídelí je též spojena ručka a spirálová pružina. Pohyb otočné části magneticky tlumen.



Obr. 19. Podstata indukčního přístroje s točivým magnetickým polem

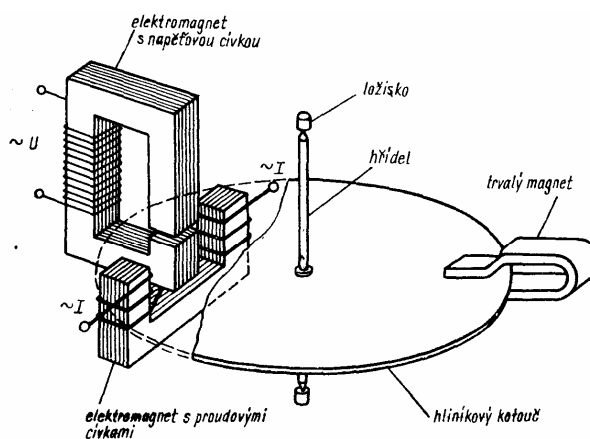
Vzájemně posunuté proudy napěťových a proudových cívek vytvářejí při činném zatížení točivé magnetické pole, které se uzavírá přes hliníkový váleček, v němž se budí vířivé

proudy. Tyto proudy natáčí váleček proti působení pružiny. Fázový posun v napěťových cívkách je působen indukčností danou větším počtem závitů, popř. se ještě s cívkami do série zapojuje tlumivka. Stupnice je rovnoměrná.

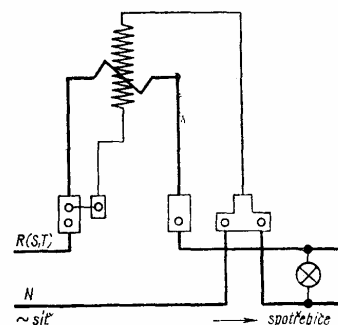
14.2. Podstata činnosti přístroje s postupným polem

Pro elektroměry se používá indukční soustava s postupným magnetickým polem, buzeným dvěma elektromagnety (obr. 20). Jeden z nich má malou vzduchovou mezeru a je na něm napěťová cívka s velkým počtem závitů tenkého drátu. Druhý elektromagnet má velkou vzduchovou mezeru a proudové cívky s malým počtem závitů tlustého drátu. Jádra obou elektromagnetů jsou proti sobě prostorově pootočená a v jejich vzduchové mezeře je otáčivě uložen hliníkový kotouč. Při měření spotřeby elektrické energie jsou proudové cívky spojeny se sítí v sérii se spotřebičem, napěťová cívka se potom trvalo připojí k síti paralelně (obr. 21).

Při činnosti měřicího ústrojí jsou proudy v cívkách elektromagnetu fázově posunuty a vlivem prostorového rozmístění jader vytvářejí postupné magnetické pole. Toto pole prochází hliníkovým kotoučem mezi póly elektromagnetů a budí v kotouči vířivé proudy, jež způsobují točivý moment, kterým se kotouč uvede do otáčivého pohybu. Aby rychlost otáčení kotouče byla vždy úměrná velikosti působícího napětí a velikosti střídavého činného proudu, procházejícího ústrojím, otáčí se kotouč v poli permanentního magnetu. Takto vznikající vířivé proudy vytvářejí řídicí moment a brzdí kotouč. Otáčky kotouče se přenášejí šroubovým převodem na počítadlo, které zaznamenává spotřebovanou elektrickou energii (obvykle v kilowatthodinách).



Obr. 20. Podstata indukčního přístroje s postupným magnetickým polem



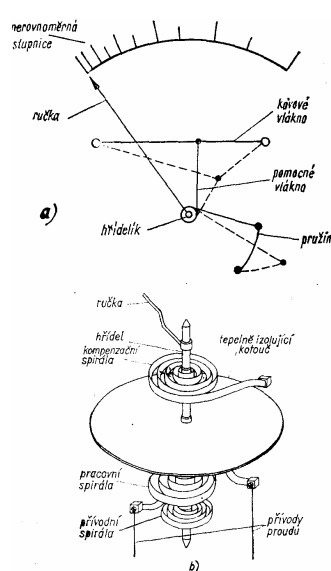
Obr. 21. Zapojení cívek elektroměru

15. Soustava tepelná

Podstatou tepelné soustavy s drátem (obr. 22a) je prodlužování (dilatace) kovového vlákna teplem vznikajícím v něm při průchodu elektrického proudu. V praxi se už této soustavy nepoužívá, protože má velkou spotřebu a snese jen nepatrné přetížení.

Novějším druhem je tepelná soustava s dvojkovem (obr. 22b). Proud přiváděný přívodní spirálou prochází těž pracovní spirálou z dvojkovu. Jsou to dvě pevně spojené vrstvy kovů nebo slitin s rozdílným činitelem roztažnosti. Pracovní spirála se vznikajícím teplem svinuje nebo rozvinuje, a tím vzniká moment soustavy. Výchylka ručky závisí na druhé mocnině proudu; stupnice je nerovnoměrná. Přístroj ukazuje efektivní hodnotu střídavého proudu nebo napětí.

Tento přístroj s dvojkovem má velkou tepelnou setrvačnost a nepotřebuje tlumení. Nestačí také sledovat rychlé změny proudu a ukazuje jen průměrné hodnoty. Druhá dvojkovová spirála



Obr. 22. Podstata tepelného přístroje; a) s drátem; b) s dvojkovem

kompenzuje vliv změn okolní teploty na přesnost měření. Proto je mezi pracovní a kompenzační spirálou kruhová deska, která slouží jako tepelná izolace.

Přesnost těchto přístrojů je asi 3%.

16. Soustava elektrostatická

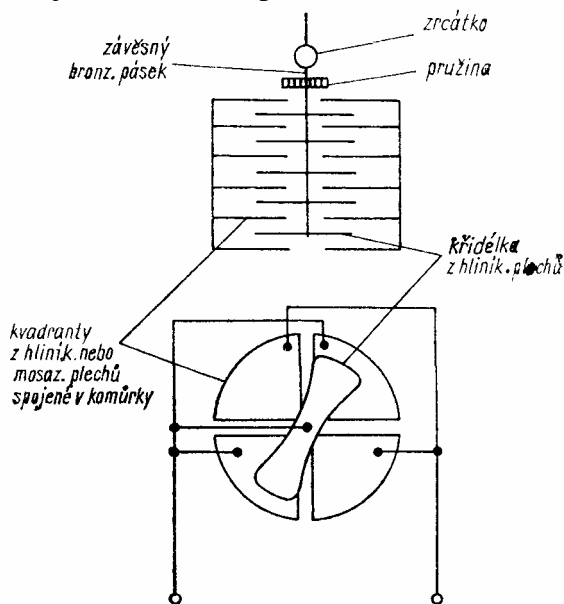
Přístroje této soustavy jsou založeny na vzájemném přitahování těles s nesejrozměnnými náboji a na odpuzování těles se stejnojmennými náboji. Mohou měřit jen napětí, a to stejnosměrná nebo střídavá. Konstrukce měřicích ústrojí elektrostatických přístrojů bývá různá. Měřicí ústrojí svým tvarem připomínají jednoduché kondenzátory s jednou deskou pevnou a druhou pohyblivou. Pohyb této desky (způsobený přitažnou silou) se přenáší na ručku, která výchylkou ukáže velikost měřeného napětí. Takové přístroje mohou měřit do několika desítek kilovoltů.

Při střídavém napětí lze s použitím kapacitního děliče rozsah ještě zvětšit. Běžně provedené přístroje se však nehodí k měření napětí pod 10 V.

Na obr. 23 je zjednodušené ústrojí elektrostatického přístroje, který má velkou citlivost a může měřit i dosti malá napětí. Nepohyblivá část ústrojí se skládá z několika vrstev kvadrantů, spojených mezi sebou tak, že tvoří komůrky. Mezi vrstvami kvadrantů jsou hliníkové plechy křídélkovitého tvaru; jsou upevněné buď na hřídeli, nebo na závěsném bronzovém pásku. Změřené napětí je udáno výchylkou ručky (připevněné na hřídeli), nebo svazkem světelných paprsků vrhaných zrcátkem na stupnici. Řídící moment vytváří buď spirálová pružina, nebo závěsné vlákno.

Kvadranty jsou podle obr. 23 mezi sebou spojeny napříč a po připojení napětí představují vzájemně opačné póly. Křídélkový „rotor“ se spojí s jedním pólem paralelně a je jím odpuzován, kdežto pól opačné polarity jej přitahuje.

Výhoda elektrostatických přístrojů je v tom, že při měření stejnosměrného napětí nemají vlastní spotřebu; při měření střídavého napětí je spotřeba malá a závisí na kapacitě přístroje a kmitočtu napětí.



Obr. 23. Podstata elektrostatického přístroje

17. Soustava rezonanční

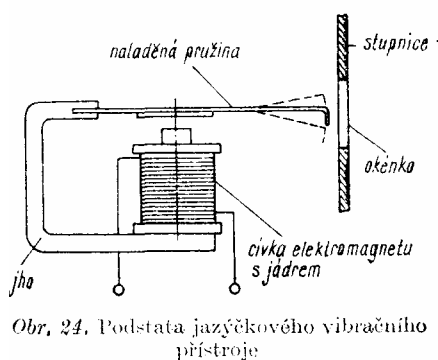
Přístroje této soustavy jsou určeny k měření nízkých kmitočtů od 20 do 1 000 Hz. Jejich podstata je zřejmá z obr. 24. Měřicí ústrojí se skládá z elektromagnetu, jha a ocelových pružin (jazýčků), naladěných na mechanické rezonanční kmitoty pro určité kmitočty měřených proudů. Při rezonančním kmitočtu má pružina největší rozkmit při nejmenší

potřebné síle. Nekmitá-li pružina, je v okénku stupnice na černém pozadí vidět bílé políčko, vzniklé ohnutím a nalakováním konců pružin.

Prochází-li cívkou elektromagnetu elektrický proud takového kmitočtu na který je pružina naladěna, rozkmitá se působením střídavého magnetického pole na největší rozkmit. Bílé políčko v okénku stupnice má největší výšku.

Měřicí ústrojí jazýčkového vibračního neboli rezonančního přístroje, kmitoměru, je uspořádáno pro uměření určitého rozsahu kmitočtu. Počet pružin je odstupňován po 1 nebo $\frac{1}{2}$ Hz. Protože střídavé magnetické pole přitahuje za dobu jednoho kmitu dvakrát, jsou pružiny laděny na dvojnásobný kmitočet. Ladí se jednak změnou délky pružiny, jednak změnou velikosti její hmoty, např. připájením kapky cínové pájky, vyvrtáním otvorů apod.

Pro všechny pružiny postačí jeden elektromagnet, který má jádro nahoře pod pružinami rozšířeno lištou; stejně tak je rozšířena i hořejší část jha a jsou v ní upevněny pružiny.



Obr. 24. Podstata jazýčkového vibračního přístroje

Kmitočet se při uměření přečte podle největšího rozkmitu pružiny v okénku stupnice. Kmitají-li pružiny vedle sebe stejným rozkmitem, je měřený kmitočet proudu právě uprostřed rezonančních kmitočtů obou pružin. Ostatní pružiny, jejichž rezonanční kmitočet je od kmitočtu právě působícího vzdálenější, téměř nekmitají.

Nahradí-li se jádro elektromagnetu v měřicím ústrojí permanentním magnetem, pružiny kmitají měřeným kmitočtem. Je to tím, že proud v cívce střídavě zesiluje a zeslabuje přitažlivost permanentního magnetu a za každý kmit střídavého proudu se pružina přitáhne jen jednou.

17.1. Přehled vlastností a použití měřicích přístrojů s ústrojími různých soustav

Při porovnání vlastností probraných soustav ústrojí měřicích přístrojů je nejvýhodnější přístroj magnetoelektrický. Je totiž nejcitlivější a při vhodné konstrukci dosahuje velké přesnosti měření. Může pracovat jako ampérmetr a voltmetr. Nevýhodné je, že měří pouze stejnosměrný proud; s použitím usměrňovačů nebo termoelektrického článku však může měřit i proudy střídavé. Kromě elektrostatického přístroje má nejmenší vlastní spotřebu a to i při úpravě pro měření střídavých proudů.

Feromagnetický přístroj je méně citlivý, odolává však lépe otřesům a je málo choulostivý na přetížení; jeho výhodou je, že měří stejnosměrný i střídavý proud průmyslových kmitočtů. Používá se buď jen jako ampérmetr, nebo jako voltmetr. V silnoproudé elektrotechnice se používají téměř pouze feromagnetické přístroje.

Elektrodynamický přístroj je dokonalejší feromagnetický a při měření dosahuje větší přesnosti (až 0,2 %); hodí se pro měření stejnosměrných i střídavých proudů a používá se jako wattmetr, zřídka jako voltmetr a ampérmetr.

Tepelnými přístroji s dvojkovem se v energetice kontrolují průměrné hodnoty proudu při rychle kolísajícím zatížení.

Elektrostatické přístroje jsou oblíbeny pro malou (téměř nulovou) spotřebu. V provozech se však skoro neobjevují pro malou odolnost proti mechanickým vlivům. Tyto přístroje mohou měřit jen napětí, a to stejnosměrné i střídavé napětí nízkých kmitočtů. stupnice pro oba druhy napětí je táž.

Rezonanční přístroje jsou převážně určeny k měření nízkých kmitočtů střídavých proudů v silnoproudé elektrotechnice, např. v rozvodných sítích pro kontrolu jmenovitého kmitočtu 50 Hz.

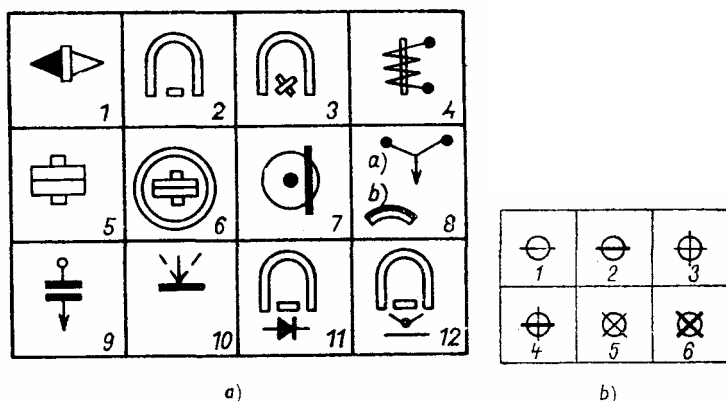
Indukční přístroje se většinou uplatňují jako **elektroměry k měření spotřebované elektrické energie.**

17.2. Nápis a značky na měřicích přístrojích a na jejich příslušenství

Abychom mohli předem posoudit vlastnosti měřicích přístrojů a rozhodnout se pro jejich správné použití při měření uvádí norma ČSN 35 6201 nápisy a značky, které musí být na přístroji, obvykle na číselníku - viz obr. 8. Jsou to:

- a) značka výrobce,
- b) výrobní číslo, které musí být i na příslušenství dodaném společně s měřicím přístrojem.
- c) jednotka měřené veličiny,
- d) značka měřicí soustavy,
- e) značka polohy stupnice při měření,
- f) třída přesnosti,
- g) značka druhu proudu s označením kmitočtu,
- h) značka zkušebního napětí,

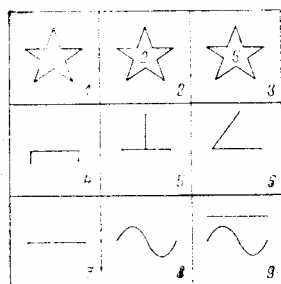
i) další potřebné údaje, např. odpor voltmetru napěťový úbytek ampérmetru, značka příslušenství nebo oddělených částí (usměrňovačů, termoelektrických článků atd.) apod. Měřené veličiny jsou na stupnici výrazně uvedeny značkami svých jednotek. např. V, mA, W apod. Druh použité měřicí soustavy se v přístroji označuje schematickou značkou.



Obr. 25. Schematické značky; a) měřicích soustav: 1 s otočným magnetem; 2 magneto-elektrický; 3 poměrový magneto-elektrický; 4 feromagnetický; 5 elektrodynamický; 6 ferodynamický; 7 indukční; 8 tepelný a) s drátem, b) s dvojkovem; 9 elektrostatický; 10 rezonanční (vibrační); 11 magneto-elektrický s vestavěným usměrňovačem; 12 magneto-elektrický s izolovaným termoelektrickým článkem; b) měřicích ústrojí (podle normy ČSN 34 5505): 1 s napěťovou cívkou; 2 s proudovou cívkou; 3 se dvěma napěťovými cívkami; 4 násobícího s jednou napěťovou a jednou proudovou cívkou; 5 poměrového se dvěma napěťovými cívkami; 6 poměrového se dvěma proudovými cívkami

Značky nejčastěji používaných soustav jsou na obr. 25. Ostatní značky na stupnicích, tj. značky zkušebního napětí, polohy stupnice při měření a značky druhu proudu jsou znázorněny na obr. 26.

Zkušebním napětím se ověřuje bezpečnost přístroje proti průrazu, aby osoba provádějící měření neutrpěla úraz elektrickým proudem. Zkušební napětí se připojuje mezi kovové části měřicího ústrojí a ovládací prvky přístroje s jeho krytem: napětí bývá 50, 2 000, 3 000 nebo 5 000 V a přístroj jej musí spolehlivě vydržet. Značky zkušebních napětí pro stupnice jsou na obr. 26/1 až 26/3. Chybí-li na stupnici značka zkušebního napětí, považuje se přístroj za vyhovující nejnižšímu zkušebnímu napětí, tj. 500 V.



Obr. 26. Různé schematické značky používané na stupnicích měřicích přístrojů; 1 zkušební napětí 500 V; 2 zkušební napětí 2 000 V; 3 zkušební napětí 5 000 V; 4 stupnice vodorovná; 5 stupnice svislá; 6 stupnice šikmá; 7 proudová soustava stejnosměrná; 8 proudová soustava střídavá; 9 proudová soustava stejnosměrná i střídavá

Poloha stupnice měřicího přístroje při měření je důležitá pro přesnost měření, a proto se na stupnici označuje značkami podle obr. 26/4, 5, 6. Pohyblivá část ústrojí je v této poloze vyvážena tak, aby zemská přitažlivost neměla vliv na měření. Vyvažuje se posunováním závažíček na vidlicově rozvětvené upevňovací části ručky a zajištěním jejich polohy (obr. 12). Měřicí přístroj je v označené poloze stupnice také ocejchován.

Jestliže ručka při klidovém stavu měřicího přístroje neukazuje na nulu, lze její správnou polohu opravit. Dělá se to otáčením šroubu (stavítka nulové polohy), který je na přední straně měřicího přístroje pod stupnicí. Šroub má nesouose umístěný čep, který dvouramennou pákou pozmění řídicí moment pružiny a tím vrátí ručku do správné polohy