



Česká metrologická společnost, z.s.

Novotného lávka 5, 116 68 Praha 1

tel/fax: 221 082 254

e-mail: cms-zk@csvts.cz

www.csvts.cz/cms

Metodika provozního měření

MPM 4.1.2./03/18

**METODIKA PROVOZNÍHO MĚŘENÍ
S DIGITÁLNÍMI MULTIMETRY (DMM)**

Praha

Prosinec 2018



Vzorový metodický postup byl zpracován a financován ÚNMZ v rámci Plánu standardizace – Program rozvoje metrologie 2018

Číslo úkolu: VII/3/18

Zadavatel: Česká republika – Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, organizační složka státu

Řešitel: Česká metrologická společnost, z.s.

© ÚNMZ, ČMS

Neprodejné: Metodika je volně k dispozici na stránkách ÚNMZ a ČMS. Nesmí však být dále komerčně šířena.

1 Předmět metodiky

Tento metodický postup se vztahuje na běžná měření stejnosměrného a střídavého elektrického napětí a proudu a odporu s rozlišením od 3,5 do 6,5 digitů v prostředí catI a catII podle ČSN EN 61010-1.

Měřicí rozsah je u DMM obvykle široký, rozsahy používané v praxi jsou od jednotek milivolt až po desítky kV. Přesnost měření je dána konkrétní aplikací od desetitisícin procenta pro laboratorní měření až po jednotky procent pro indikační měření. Pro požadovanou přesnost musíme zvolit správný DMM (první hledisko je počet digitů DMM):

- 3,5 dig DMM až 6,5 dig DMM slouží k převážné většině pracovních a provozních měření,
- 3,5 dig. DMM s ručním přepínáním rozsahů se stávají součástí domácí dílny a mají velmi nízkou cenu (od 50 Kč),
- 6,5 dig DMM (i za méně než 20 000 Kč) s automatickými funkcemi a možností připojení do měřicích systémů umožňují velmi kvalitní měření,
- Mezi 3,5 dig DMM a 6,5 dig DMM je celá velká řada nejrozličnějších DMM s různými parametry a délkou stupnice přizpůsobených širokému okruhu potřeb,
- 6,5 dig DMM až 8,5 dig DMM se používají také jako etalony metrologických laboratoří a toto použití není součástí tohoto postupu.

Uvažované funkce a rozsahy měření v této metodice,

- DCU - 1 mV až 1000V, (se sondou až 40 kV),
- ACU - 1 mV až 1000V_s, 20 Hz až 10 kHz, (se sondou až 40 kV_s),
- DCI - 1 mA až 20,00A, (s externím bočником a 100A),
- ACI - 1 mA až 20,00A, pro 20 Hz až 1 kHz, (s externím bočником a 100A),
- DC R - 1mΩ až 100 MΩ.

Základní rozdělení DMM z hlediska použití pro účely této metodik:

- **Indikační 3,5 dig levné typy (řada DT 380).**
- **Univerzální od 3,5 do 6,5 dig. (zpracováno v tomto dokumentu)**
- **DMM pro metrologické žití, 6,5 až 8,5 dig.**

Tento metodický postup se nevztahuje na speciální zobrazovací přístroje, jako jsou:

- **bargraf** (měřená hodnota je indikována počtem rozsvícených segmentů, např. LED diod),
- **osciloskop** (přístroj s obrazovkou vykreslující časový průběh měřeného napět'ového signálu),
- **zapisovač** (přístroj s obrazovkou nebo zápisem na papír vykreslující časový průběh měřeného napět'ového signálu).

2 Související normy a metrologické předpisy

Euramet cg-15 Calibration Guide EURAMET cg-15 Version 3.0 (02/2015)	GUIDELINES ON THE CALIBRATION OF DIGITAL MULTIMETERS	[L1]
ČSN EN 61010-1 ed.	Bezpečnostní požadavky na elektrická měřicí, řídicí a laboratorní zařízení - Část 1: Všeobecné požadavky	[L2]
ČSN 33 2000-4-41	Elektrické instalace nízkého napětí - Část 4-41	[L3]
	Ochranná opatření pro zajištění bezpečnosti Ochrana před úrazem elektrickým proudem	[L4]
Vyhláška č.50/1978 Sb.	Českého úřadu bezpečnosti práce a Českého báňského úřadu o odborné způsobilosti v elektrotechnice	[L5]
ČSN EN ISO/IEC 17025	Všeobecné požadavky na kompetenci zkušebních a kalibračních laboratoří	[L6]
EA-4/02 M:2013	Vyjádření nejistoty měření při kalibraci	[L7]
ČSN EN 61187	Elektrická a elektronická měřicí zařízení. Průvodní dokumentace	[L8]

3 Kvalifikace pracovníků provádějících měření

Kvalifikace pracovníků provádějících měření s multimetry je dána příslušným předpisem organizace. Pracovníci musí mít kvalifikaci v oblasti elektrických veličin. Tito pracovníci se seznámí s metodickým postupem upraveným na konkrétní podmínky daného pracoviště provádějícího měření a případnými (interními) souvisejícími předpisy.

Doporučuje se potvrzení odborné způsobilosti těchto pracovníků prokázat vhodným způsobem, například osvědčením o interním zaškolení, o absolvování odborného kurzu, v krajním případě certifikátem odborné způsobilosti. Úroveň školení závisí na zařazení pracovníka a důležitosti prováděné měřicí operace.

Podle prováděné měřicí operace je pracovník povinen prokázat způsobilost dle příslušného paragrafu vyhlášky č. 50/78 Sb., to znamená v případě pouze odečtu naměřených hodnot alespoň podle §4, v případě obsluhy celého zařízení nebo zapojování měřících obvodů alespoň podle §6. Metodika je určena jen pro práce ve vnitřních prostorách.

Upozornění:

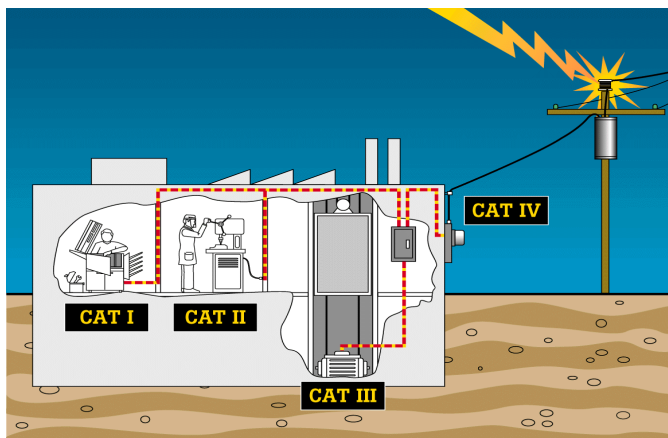
DMM jsou běžně dostupné přístroje, prodávané i v běžných hobymarketech a jsou často i součástí vybavení domácí dílny. Je ale vždy nezbytná základní kvalifikace uživatele DMM, protože nesprávné použití vede k havárii přístroje a může být i životu nebezpečné.

4 Názvosloví, definice

Názvosloví a definice jsou obsaženy v příslušných normách (viz čl. 2), a v publikacích věnovaných metrologické terminologii.

ČSN EN 61010-1 edice 2 (356502)

Bezpečnostní požadavky na elektrická měřicí, řídicí a laboratorní zařízení - Část 1:
Všeobecné požadavky.



Obr. č. 1: Prostory z hlediska bezpečnosti a s tím souvisejících požadavků na bezpečnost DMM

Bezpečnostní kategorie provedení DMM

Existují čtyři kategorie, jak stanoví IEC (Mezinárodní elektrotechnická komise). Tři z nich se týkají síťových obvodů - kategorie II, kategorie III a kategorie IV. Čísla vyšší kategorie (CAT) se rovnají většímu nebezpečí z přechodných napětí:

- CAT-I: týká se zařízení, která není přímo napojena na napájecí obvody,
- CAT-II: jednofázové obvody pro zařízení připojená k zásuvkám, jako jsou spotřebiče a elektrické nářadí. Pro testování samotné zásuvky byste ale měli užít měřič CATIII,
- CAT-III: až třífázové systémy a zahrnující jednofázové obvody zařízení; to znamená za zásuvku a kabel. Zahrnuje rozvaděče, třífázové vývody a komerční osvětlení,
- CAT-IV: kde úroveň špiček mohou být vysoké, například u zdroje budovy; zahrnuje měření měřičů napájení, hlavních panelů a venkovních vodičů.

Digitální multimetry by měly být označeny příslušnou bezpečnostní kategorií - CAT-II, CAT-III, CAT-IV.

Calibration Guide EURAMET cg-15 Version 3.0 (02/2015) GUIDELINES ON THE CALIBRATION OF DIGITAL MULTIMETERS

je základní dokument pro kalibraci DMM. Udává mimo jiné i doporučené kalibrační body, doporučené ochranné pásmo pro rezervu na stárnutí, doporučenou úpravu kalibračního listu. DMM. (Přístroj s digitálním zobrazením měřicí kromě napětí i jiné elektrické veličiny).

DMM a měřicí funkce

Digitální multimetr číslicový voltmetr měří pouze **stejnoseměrné napětí**. Po doplnění vhodnými převodníky měří také **střídavé napětí, stejnosměrné a střídavé proudy, odpory, někdy i prahové napětí diod, kmitočet** a může mít i další funkce.

Takový přístroj nazýváme digitální **multimetr**.

Pro měření proudů slouží převodník:

- proudů na napětí, pomocí bočníku,
- pro měření **odporů** převodník odporu na napětí. K měřeným rezistorům připojíme zdroj konstantního proudu a měříme na nich úbytek napětí,
- pro měření **střídavých napětí a proudů** je před A/D převodník zařazen převodník střídavého na stejnosměrné napětí.

Kvalitnější multimetry jsou doplněny mikroprocesorovým obvodem, který zajišťuje **automatické přepínání rozsahů, zobrazení maximální, nebo minimální hodnoty, zapamatování naměřené hodnoty, průměrování výsledků za delší časový interval.**

Některé multimetry jsou vybaveny obvodem **standardizovaného rozhraní**, které umožňuje komunikaci s PC a s dalšími přístroji v měřicím systému.

Zesilovač vstupního napětí musí být co možná nejpřesnější. Obvykle musí mít automatickou kompenzaci ofsetu (při zkratovaných vstupních svorkách musí být na displeji nula i při velkých změnách teploty), případně autokalibraci.

Další funkce multimetrů:

- **měření polovodičů** (prahového napětí diod a tranzistorů). K měřenému P-N přechodu se připojí zdroj konstantního proudu (např. 1 mA). Naměříme tak jeho prahové napětí, které se přímo ukáže na displeji. Při připojení diody v závěrném směru dojde k přetečení displeje, podobně jako když v režimu měření odporů není žádný odpor zapojen)
- **generátor** (nejčastěji 1 kHz, obdélníkový průběh). Využívá se k orientačnímu měření obvodů v kombinaci s osciloskopem. V mnoha případech nám tento zdroj signálu stačí, nepotřebujeme už další generátor,
- **akustický indikátor zkratu** je vhodný pro kontrolu šňůr a plošných spojů, při měření se nemusíme zdržovat pohledem na displej,
- **měření kapacit**. Obvykle se používá Ohmova metoda. Měření má většinou jen informativní charakter,
- **měření kmitočtu**. V multimetru jsou zapojeny tvarovací obvody a logika čítače, který má s voltmetrem společný displej,
- **kontrola interní baterie**. Při poklesu napětí se na displeji nejprve zobrazí upozornění. Po dalším poklesu, pokud by již nebylo možné zajistit potřebnou přesnost, se přístroj vypne,
- „**analogová**“ **stupnice na displeji** - usnadňuje měření měnících se veličin (stejnosměrné napětí se střídavou složkou). Je možné pohodlně pozorovat změnu měřené veličiny.
- **ochrana proti nesprávné manipulaci** - čím kvalitnější a dražší přístroj, tím menší pravděpodobnost, že jej nesprávná manipulace poškodí. U levnějších přístrojů často dochází k poškození, připojíme-li napětí v režimu měření odporů.

Proti špatnému zapojení ampérmetru (paralelně ke zdroji napětí) je přístroj obvykle chráněn tavnou pojistkou, aby v případě zkratu nedošlo k poškození přepínače a bočníků s malým odporem.

Výše uvedené funkce jsou realizovány speciálními integrovanými obvody. Levnější

multimetry se vyrábí ve velkých sériích. Obsahují zpravidla jeden zákaznický integrovaný obvod doplněný displejem, přepínačem rozsahů a děliči napětí, nemají žádné nastavovací prvky. S rostoucí cenou roste přesnost přístrojů, při výrobě se provádí ruční nastavování, kalibrace a důkladná kontrola.

Parametry digitálních multimetrů:

- **počet míst displeje od 3½ až do 8 ½.** Měl by odpovídat celkové přesnosti nebo alespoň krátkodobé stabilitě přístroje, aby bylo možné využít plný rozsah přístroje pro srovnávací měření,
- **rozlišovací schopnost přístroje** je často lepší než jeho absolutní chyba,
- **počet a hodnoty vstupních rozsahů.** Přístroje mají obvykle 4 až 6 měřících rozsahů pro napětí např. (0,01 až 1000) V, přepínání rozsahů je ruční nebo automatické,
- **přesnost** - chyby jsou specifikovány samostatně pro všechny měřené veličiny, měřící rozsahy a jednotlivá frekvenční pásma,
- **rozlišovací schopnost** - vyjadřuje nejmenší indikovanou změnu napětí, která odpovídá změně údaje o jedničku na nejnižším rozsahu,
- **časová a teplotní stálost** - specifikace přesnosti se obvykle uvádí pro přesnější přístroje pro dva nebo tři časové intervaly po kalibraci: 24 hodin, 3 měsíce, 1 rok. Kalibrace se obvykle provádí při teplotě 23 °C. Při větších odchylkách od této teploty přesnost klesá,
- **citlivost** na stejnosměrných rozsazích odpovídá rozlišovací schopnosti. Na střídavých rozsazích bývá obvykle nižší, protože převodníky střídavého napětí na stejnosměrné pracují až od určité hodnoty vstupního napětí,
- **vstupní impedance** bývá obvykle 10 MF pro měření stejnosměrných napětí a 1 MF paralelně s kapacitou 40 pF pro měření střídavých napětí,
- **typ A/D převodníku** má vliv na rychlost měření (1 až 10 000) měření/s a odolnost proti rušení brumem 50 Hz. Nejrozšířenější jsou A/D převodníky s dvojitou integrací, doba měření je 100 až 200 ms.

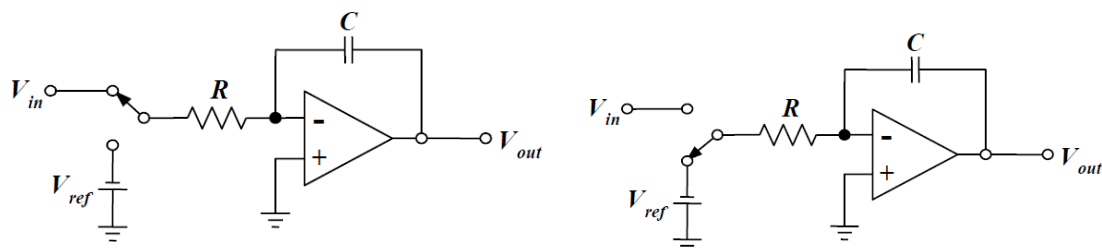
Crest faktor (VIM pojem 2.11). Poměr mezi špičkovou hodnotou střídavého signálu a jeho efektivní hodnotou. Důležitý parametr každého DMM.

CMRR (zkratka) potlačení soufázového (rušícího) signálu. (IEV ref. 312-06-21)

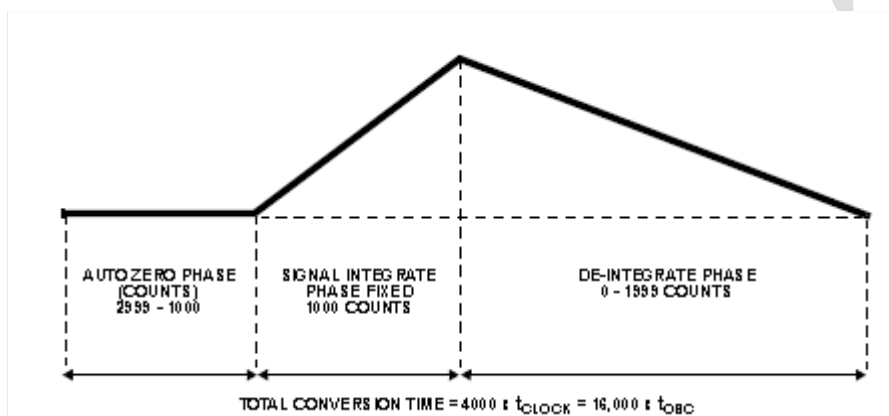
Obvykle se vyjadřuje v decibelech a může záviset na frekvenci, průběhu a způsobu měření. DMM napájené ze sítě mají z důvodu zvětšení CMRR frekvenci měření synchronizovanou s frekvencí sítě.

Základní princip měření v DMM

Z několika možných principů se postupně sortiment DMM omezil na měřidla s integrací vstupního a referenčního signálu, jak ukazuje obr. č. 2.



Obr. č. 2: Základní cykly práce převodníku DMM



Obr. č. 3: Cykly práce DMM (nulování, integrace signálu, integrace reference)

5 Měřidla a pomocná měřicí zařízení

Multimetr pro obecnou praxi a odbornou dílnu nebo laboratoř je digitální multimetr s rozlišením 3,5 až 6,5 digit.

Pomocná zařízení jsou:

- předřadné odpory, pro zvýšení rozsahu napětí, externí bočníky pro zvýšení rozsahu měření proudu,
- klešťové měřicí transformátory napětí pro měření proudu bez rozpojení obvodu,
- děliče napětí,
- vysokonapěťové sondy nebo děliče,
- termočlánky.

Poznámka: Všechna použitá měřidla a pomocná měřicí zařízení musí být navázána na etalon vhodného rozsahu a přesnosti a musí mít platnou kalibraci.

6 Obecné podmínky měření – veličiny ovlivňující výsledky měření

Podmínky prostředí, ve kterých je možné používat dané měřidlo, jsou určeny výrobcem měřidla nebo normami příslušnými pro dané měřidlo. Nedodržení těchto podmínek je nutné

brát v potaz při vyhodnocení přesnosti měření nebo výpočtu nejistoty měření, případně je nutné použít jiný typ měřidla.

Pro měřidla i DMM obsahující v konstrukci elektroniku obvykle výrobce měřidel určuje rozsah použití teploty v rozmezí $(23 \pm 5) ^\circ\text{C}$, pro teploty mimo tento rozsah výrobce určuje tzv. teplotní koeficient, který je nutné připočítat při výpočtu nejistoty měření.

Pro přístroje napájené z elektrické sítě je nutné, aby napětí sítě bylo v rozmezí dle specifikace výrobce, pro přístroje napájené z baterií nebo akumulátorů musí být stav baterií vyhovující obdobně.

U elektronických měřidel vyšší přesnosti dále výrobce určuje tzv. dobu náběhu (warm-up), což je doba, po kterou musí být přístroj zapnut, než dosáhne plné přesnosti. Měření je nutné zahájit až po uplynutí této doby.

Ostatní podmínky prostředí (např. vnější elektrické nebo magnetické pole) nemají ve většině obecných ani průmyslových aplikací přímý vliv na výsledek měření a posuzují se subjektivně podle podmínek daného pracoviště.

7 Metrologické meze využití metody měření

Volba typu měřicího přístroje – **analogový nebo digitální** - závisí na měřené aplikaci. Pro správné použití a co nejlepší vlastnost multimetrů je třeba mít základní znalosti o blokovém zapojení multimetrů a rozumět jejich funkci. Tento informativní materiál slouží pracovníkům jako zdroj obecnějších souvisejících informací pro správné provádění kalibrací a není kalibračním postupem nebo směrnici ve smyslu řízené dokumentace kalibrační laboratoře.

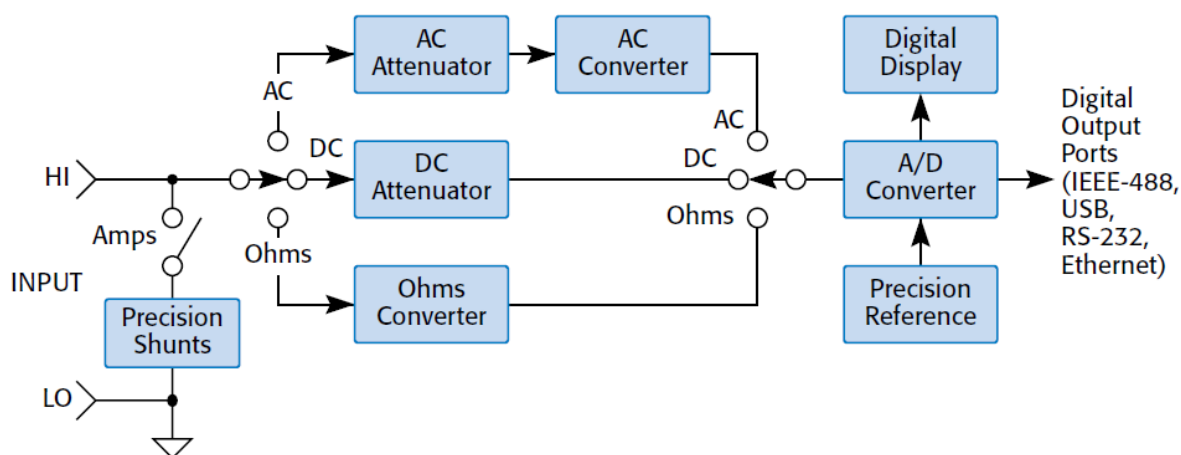
Multimetr pro odborné pracoviště dílnu je obvykle multimetr digitální 3,5 až 6,5 digit (přístroj měřící kromě napětí i jiné elektrické veličiny), používá se v celém rozsahu jeho schopností i s využitím doplňkových funkcí (jako jsou například matematické funkce). Existuje množství typů DMM optimalizovaných z jiných hledisek, jako je bezpečnost a odolnost proti rušení.

Počet zobrazených míst dává jen základní informaci o možné a očekávané přesnosti měření. Rozsahy měření jsou dány rozsahem použitého měřidla. Měřidla je nutné používat s příslušenstvím dodaným nebo doporučeným výrobcem měřidla. V prostředí podle na měřidle udané specifikace.

Používají se jen originální měřicí šňůry z příslušenství multimetru. Nevhodné měřicí šňůry nebo měřicí sondy mohou ovlivnit výsledek měření. Pokud není příslušenství měřidel určeno výrobcem, musí být rozměry a umístění vodičů takové, aby neovlivňovalo výsledky měření a bylo bezpečné pro zařízení i obsluhu.



Obr. č. 4: Základní princip všech DMM je obdobný a vnější provedení velmi podobné

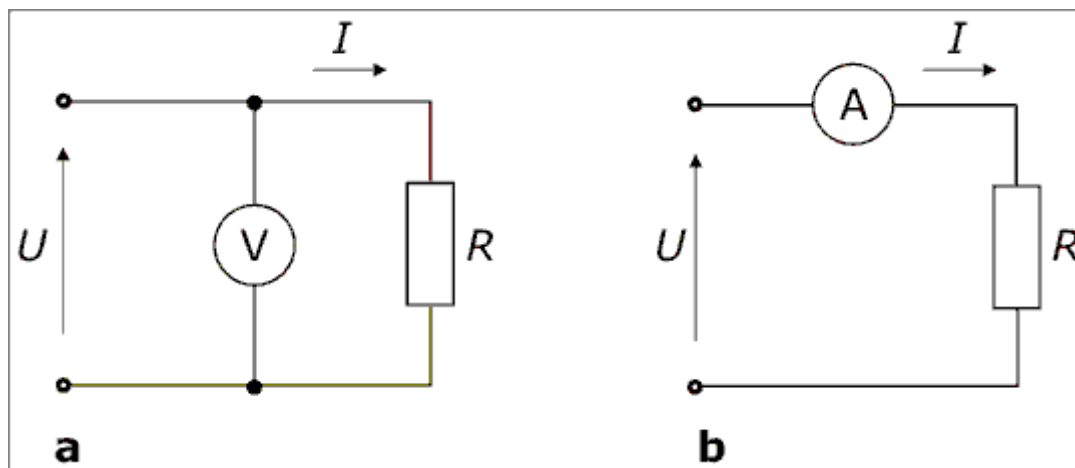


Obr. č. 5: Princip laboratorního DMM

Zapojení DMM

Aby měřená veličina měla vliv na měřicí přístroj, musí se stát měřicí přístroj přímo součástí elektrického obvodu, nebo alespoň součástí elektromagnetického pole, který je v okolí měřeného obvodu (při užití klešťové sondy). Voltmetr se připojuje na svorky prvku, na kterém je potřebné měřit napětí nebo na uzly obvodu, mezi kterými je nutné měřit napětí. Ideální voltmetr má nekonečný vnitřní odpor, takže se vzhledem k vnějšímu obvodu chová jako rozpojený obvod.

Při měření proudu je nutné ampérmetr vložit do měřené větve obvodu. Obvod se tedy musí rozpojit a vložit ampérmetr. Ideální ampérmetr má nulový vnitřní odpor, aby na něm byl minimální úbytek napětí, vzhledem k vnějšímu obvodu se chová jako zkrat.



Obr. č. 6: Měření proudu a napětí voltmetrem a ampérmetrem na prvku R ,
 a) zapojení voltmetru paralelně k obvodu zátěže R ,
 b) zapojení ampérmetru v sérii se zátěží R

8 Kontrola měřidla před použitím a příprava na měření

Měřicí přístroj se připraví pro měření v souladu s technickou dokumentací nebo údaji uvedenými na přístroji. Provede se vnější prohlídka přístroje:

- kryt přístroje a kryt stupnice nejsou poškozeny,
- přístroj je vybaven všemi součástkami a příslušenstvím potřebným k měření,
- všechny technické údaje o přístroji uvedené na stupnici, přepínači rozsahů, svorkách a krytu přístroje jsou zřetelné.

Dále se provede kontrola provozuschopnosti:

- přípojovací svorky jsou spolehlivě upevněné a nepoškozené,
- přepínače měřicích rozsahů jsou funkční a mají správnou aretaci odpovídající zvolenému měřicímu rozsahu,
- zjistí se, zda všechny ovládací prvky mechanicky správně pracují,
- zjistí se, zda přístroj na všech jeho kalibrovaných funkcích elektricky správně pracuje,
- zjistí se, zda je možné nastavit nulový údaj, případně dovolenou odchylku od nuly, na všech měřicích rozsazích a ve všech kalibrovaných funkcích přístroje.

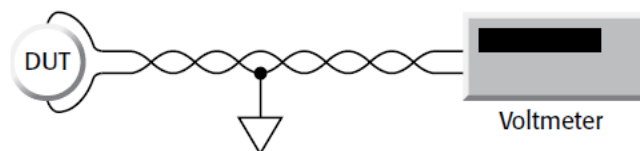
Na digitálních a elektronických přístrojích se nastavení nuly provádí pouze přístrojů s vyšší rozlišovací schopností podle návodu výrobce.

Některé elektronické přístroje (multimetry s vyšším rozlišením, osciloskopy) jsou vybaveny funkcí autokalibrace, která by se měla provádět v intervalech doporučených výrobcem.

U přístrojů vybavených vnějšími kalibračními regulačními prvky se zjistí, zda je lze nastavit ve stanovených mezích.

Pokud je to možné, u digitálních přístrojů je vhodné před vlastním měřením vyzkoušet zda svítí všechny segmenty displeje (při poruše sedmi segmentového displeje může snadno dojít k záměně číslic 0 a 8 nebo 5 a 6.

Použití DMM v odborné praxi, 3,5 až 6,5 místné DMM



Obr. č. 7: Vstupní přívody nesmí tvořit smyčku s velkou plochou (DUT je označen měřený objekt)

Doba měření

U digitálních přístrojů, které to umožňují / napájené ze sítě), je důležité nastavení tzv. doby integrace, což je údaj vyjadřující počet odměrů za jednotku času. Pro signály, které jsou stabilní, a hodnota se mění minimálně, je vhodné volit dobu integrace dlouhou (NPLC = 10 nebo 100, kde NPLC znamená počet cyklů napětí sítě, tedy při frekvenci síťového napětí 50 Hz bude počet odměrů 5 s^{-1} pro NPLC = (10 nebo 0,5) s^{-1} pro NPLC = 100).

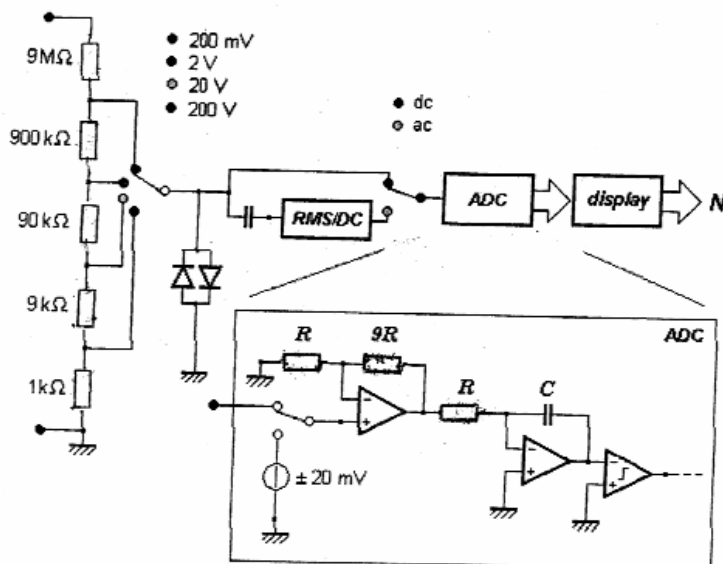
9 Postupy měření

Postup měření má pro dílčí veličiny určitá specifika proto je popisován pro jednotlivé funkce

Měření napětí

DC V

Elektrické napětí se měří přístrojem, který se připojuje paralelně k měřenému obvodu. Pro co největší přesnost měření je nutné zajistit, aby měřicí přístroj nezatěžoval měřený obvod, tedy aby jím procházel co nejmenší proud. Vnitřní odpor měřicího přístroje musí být co největší, protože je připojen paralelně k měřenému obvodu.



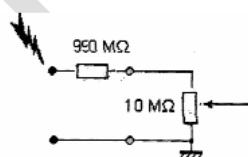
Obr. č. 8: Měření DC U multimetrem

Blokové zapojení multimetru při měření DC U

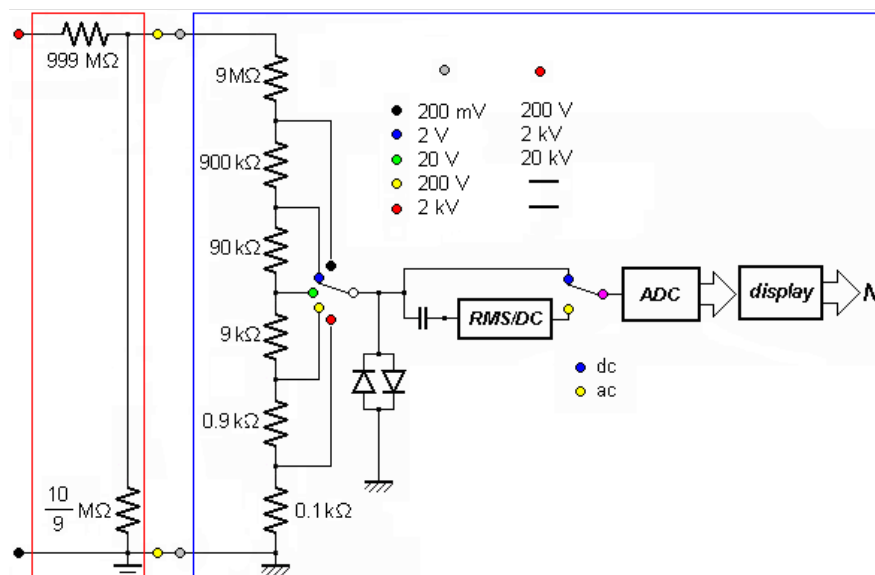
Vnější vzhled a vnitřní funkce a základní principiální zapojení digitálního multimetru ve funkci měření stejnosměrného napětí DC U ukazují obr. č. 8 a obr. č. 9.

Měření vysokého napětí

Měření vysokého napětí nad 1 000 V není s běžným digitálním multimetrem možné, protože z hlediska bezpečnostních požadavků není vhodné řešit konstrukci pro tato vysoká napětí. Používají se k tomu jednoduché odporové děliče, vestavěné do sondy, konstruované pro vysoké napětí z hlediska elektrických i bezpečnostních požadavků.



Obr. č. 9: Příklad zapojení VN sondy



Obr. č. 10: Ukázka připojení VN sondy k multimetru

Měření proudu

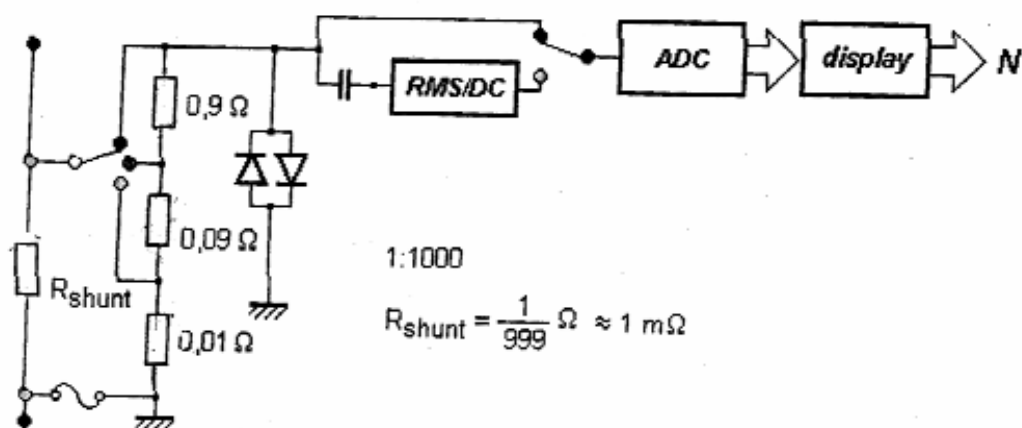
DC I

Zapojuje se sériově do měřeného obvodu. Je nutné zajistit, aby měřicí přístroj nezatěžoval měřený obvod, tedy aby úbytek napětí na měřicím přístroji byl co nejmenší. Vnitřní odpor měřicího přístroje musí být co nejmenší, protože je připojen do série k měřenému obvodu a mohl by tak podmínky v měřeném obvodu ovlivnit.

Příklad: měření proudu 1,0 A protékáním odporovou součástkou s odporem 100 Ω, při měření proudu digitálním multimetrem se vstupním odporem 1,0 Ω vzniká na ampérmetru úbytek napětí 1,0 V, celkové napětí sériové kombinace ampérmetru a odporové součástky je 101,0 V a chyba měřeného obvodu je 1,0 % vlivem připojení DMM. Při odporu součástky 10 Ω by chyba byla 10 %.

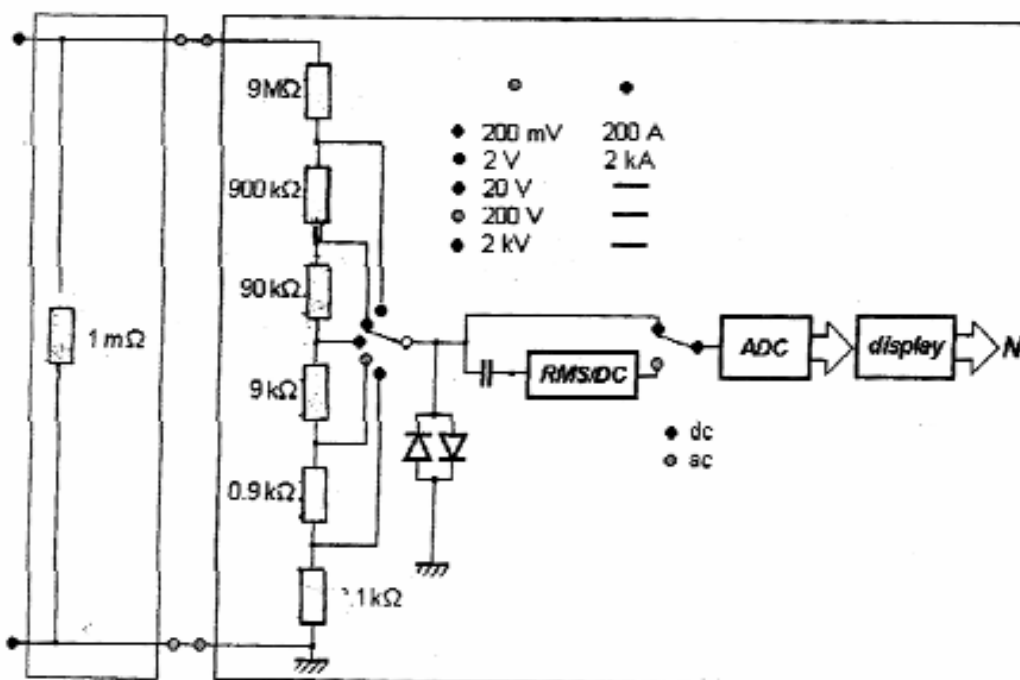
Měření DC I multimetrem

Měření proudu v DMM je vlastně měření napětí na známém odporu podle Ohmova zákona. Odpory vestavěných bočníků jsou obvykle voleny pro měření na základním nejcitlivějším rozsahu měření napětí.



Obr. č. 11: Blokové zapojení multimetru při měření DC I Měření velkých proudů

Pro měření větších proudů není možné dimenzovat bočník tak, aby jeho ohřev nebyl příliš velký a proto se volí externí bočníky, viz obr. 10 a 11.



Obr. č. 12: Externí bočníky neohřívají vnitřek přístroje

Je-li potřeba změřit větší proud, než pro který je měřicí přístroj určen, může se k němu paralelně zapojit tzv. bočník RB takové velikosti, aby se měřený proud I rozdělil ve vhodném poměru na proud protékající bočníkem IB a proud protékající ampérmetrem IA . Přitom platí, že $I = IB + IA$.

Odpor bočníku pak musí mít velikost podle vztahu:

$$RB = RA / (n - 1),$$

kde: R_B je odpor bočnicku,

R_A je vstupní odpor ampérmetru,

n je násobek zvýšení rozsahu měřicího přístroje.

Pokud jsou měřeny proudy vyvolávající nezanedbatelný ohřev bočnicku, je vhodné bočník chladit. Přesné olejové lázně pro uložení a stabilizaci teploty bočnicku má málo laboratoří, ale v některých případech postačí i nucené větrání ventilátorem, podobně jako se používá v počítačích.

Změna rozsahu u měřicích přístrojů při měření střídavého proudu je také možná tzv. měřícím transformátorem proudu, kde celkový rozsah je součin převodu transformátoru a rozsahu měřicího přístroje.



Obr. č. 13: Provedení externích bočníků pro laboratorní DMM

AC I

Vše, co bylo uvedeno pro měření DC I platí i pro AC I ale je podstatně obtížnější zajistit kalibraci bočníků v širším rozsahu frekvence.

Pro velké proudy bývají v příslušenství DMM klešťové sondy, s halovými sondami pro stejnosměrný i střídavý proud nebo s proudovými transformátory pro střídavý proud



Obr. č. 14: Klešťová sonda umožní měřit proud bez rozpojení obvodu

Pokud jsou proudové kleště na principu transformátoru, umožňují měřit jen střídavý proud. Kleště, využívající Hallůvu sondu jsou vhodné pro DC i AC signál, ale obvykle mají nižší přesnost.

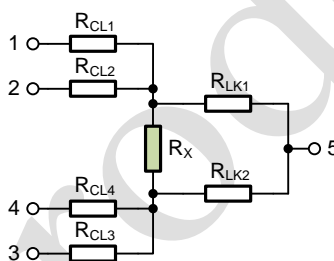
Kleště umožní rozšířit rozsah měření směrem velkým proudům, které by se s pomocí bočníků měřily (a měřiče kalibrovaly velmi obtížně).

Měření stejnosměrného odporu

DC R

Odpor (rezistor) je v technické praxi velmi často se vyskytující součástka. Existuje v obrovském množství provedení v rozměrech komerčních součástek od 1 x 0,5 mm (SMD 0402) až po velmi velké odpory různého provedení. I když je to dvojpól, to znamená, že má mít pouze dva vývody, v praxi má etalon odporu 2, 3, 4, nebo i 5 vývodů, podle provedení a určení.

Typická hodnota odporu přívodů vlastní součástky je kolem 3 mΩ. Chceme-li měřit odpor s přesností například 0,1%, pak při dvousvorkovém měření a provedení odporu se dvěma přívody je hodnota odporu přívodů kterou je nutné uvažovat $2 \times 3 \text{ m}\Omega = 6 \text{ m}\Omega$ a hodnota měřeného odporu musí být nad 6 Ω pro uvažovanou přesnost. Se zvyšující se přesností měřen vliv přívodů roste, například pro přesnost 0,001 % se omezí rozsah, kde je vliv parazitních odporů zanedbatelný, nad 600 Ω. Z této úvahy plyne, že rozsah hodnot, kde je možné vliv parazitních odporů pro běžné přesnosti měření při použití dvousvorkového připojení zanedbávat, je jen asi od 1 kΩ.



Obr. č. 15: Stejnoseměrné náhradní zapojení rezistoru s uvedením parazitních vlastností (odpory přívodů a paralelní svody)

Termonapětí je další významný zdroj potíží při měření odporu. Nejlepším prostředkem pro eliminaci termonapětí je kontakt stejných materiálů a hlavně stálá a stejná teplota. Nejlépe se chovají měděné zalisované spoje. Termonapětí mezi dvěma měděnými vodiči je pod $0,2 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$, ale je-li jeden z nich oxidovaný, může být až nad $1000 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$.

Měření odporu multimetrem

Měření odporu multimetry je dnes nejrozšířenější metodou používanou v praxi. Multimetr vyhodnotí odpor z úbytku napětí při jeho napájení známým proudem z vestavěného zdroje. Tento princip je ideální pro měření odporu, ale má dvě omezení. Z principu nemůže být do DMM vestavěn zdroj velkého proudu pro měření velmi malých hodnot odporů a zároveň pro měření velmi velkých odporů další zdroj vysokého napětí (při dostatečně malém vstupním proudu použitého voltmetru).

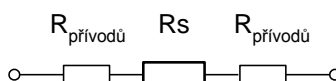
Měření stejnosměrného odporu DC R multimetrem, dvousvorkové připojení

Měření DC R multimetrem, čtyřsvorkové připojení Měření odporu je převedeno na měření napětí na odporu protékáném známým proudem. Proto mají DMM vestavěný přesný a stabilní zdroj proudu. Protože z praktických důvodů nemůže tento proud být příliš velký, jsou

měřicí schopnosti omezené pro malé hodnoty odporu (pod 1 Ω). Při dvousvorkovém měření je možné nastavit nulování u přesnějších multimetrů včetně odporu přívodů, ale přesto pro přesná měření je nutné použít čtyřsvorkové připojení.

Multimetry mohou měřit odpor dvousvorkově a čtyřsvorkově. V případě dvousvorkového měření multimetr měří odpor etalonu R_s včetně odporu přívodů R_x (typická hodnota 1 až 10 m Ω) při odporu kontaktů ($2 \times 0,3$ m Ω) je potom, bez provedení korekce nulování na odpor přívodů (short), při měření malých a středních hodnot výsledná hodnota měřeného odporu (obr. 16):

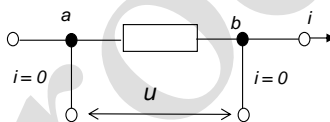
$$R_{\text{naměřené}} = R_s + 2R_{\text{přívodů}}$$



Obr. č. 16: Dvousvorkové měření dvousvorkového (odporu) rezistoru

Odpor přívodů lze potlačit korekcí short, odpor kontaktů je součástí měřeného odporu a jeho reprodukovatelnost je součástí nejistoty měření.

Při čtyřsvorkovém měření je jedním párem svorek do odporu přiváděn proud a odpor je měřen podle úbytku napětí mezi druhým párem svorek (obr. č. 17).



Obr. č. 17: Čtyřsvorkové měření odporu

U etalonů odporu velmi malých hodnot je hodnota odporu přívodů srovnatelná i větší, než odpor definovaný mezi napět'ovými svorkami. Při měření potom mohou nastat případy:

a) Měření při čtyřsvorkovém připojení rezistoru se dvěma vývody:

$$R_{\text{naměřené}} = R_s + R_{\text{přívodů}}$$

b) Měření při čtyřsvorkovém připojení rezistoru se čtyřmi vývody:

$$R_{\text{naměřené}} = R_s$$

Korekce pro přesná měření

Přesné multimetry mohou být vybaveny řadou funkcí pro zpřesnění měření:

Funkce Offset umožní, aby multimetr odečetl odpor přívodů. To má význam hlavně, pokud je odpor přívodů a připojení dostatečně stabilní.

Funkce Autozero je určena k změření a potlačení (odečtením) vnitřních offsetů multimeru. Multimetr ji provede na povel proti internímu zkratu, při kterém si změří offset a dále jej od měření odečítá (týká se hlavně velmi přesných 7,5dig a 8,5 dig DMM).

Při **čtyřsvorkovém** měření funkce kompenzace offsetu (true ohm) odstraňuje vyskytující se offsety hlavně vlivem termonapětí. Multimetr je odlišný měřením s napájením odporu měřicím proudem a měřením napětí bez napájení, případně přepíná polaritu napájecího zdroje proudu a někdy i vyhodnocovacího voltmetru a offsety vypočítá.

Výše uvedené funkce pro zpřesnění měření se provádí za použití speciálních přípravků short (které imitují ideální zkrat) k tomu navržených.

Stejnoseměrná měření DC V a DC R, význam zkratu (short) při měření

Žádný elektronický měřicí přístroj se neobejde bez analogových obvodů na vstupu a přívodů, které slouží k připojení elektrické veličiny (měření napětí nebo proudu) nebo měřené součástky (měření odporů nebo impedancí). Analogové obvody na vstupech zavádějí do měření chyby vlivem svých offsetů a parazitní vlastnosti přívodů ovlivňují přesnost měření součástek.

Pro přesná měření je nutné tyto vlivy potlačit. To se děje podle druhu měření a měřené veličiny pomocí korekcí při zkratovaných (short) nebo rozpojených (open) svorkách, nebo pro oba případy.

S potřebou korekcí měřicích přístrojů při zkratu (short) na vstupu se setkáváme hlavně při přesných měřeních stejnosměrného napětí a odporu.

Pro měření velkých hodnot impedancí je potom důležité provést korekci open.

Korekce open je realizačně snazší, nebývají s ní problémy. U korekce short závisí vlastnosti značně na jeho provedení. U obou korekcí musí být zohledněn také způsob provedení připojení měřených prvků. Při zkoumání vlastností ideálního open a short je třeba kombinovat hlavně fyzikální představu s experimentem při měření.

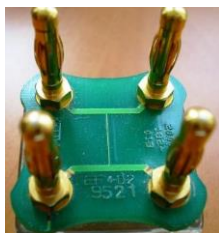
Provedení zkratu na vstupu

Ideální zkrat: Ideální zkrat mezi určitým počtem svorek nastane tehdy, když proud mezi libovolnou dvojicí svorek nevyvolá napětí mezi libovolně zvolenou dvojicí svorek. Zkrat potřebujeme při kontrole DCV a DCR.

Dvousvorkový zkrat

Dvousvorkový zkrat je spojení dvou svorek s nulovým odporem. Pokud jsou svorky v určité vzdálenosti od sebe (a to je vždy), má každý vodič mezi nimi, pokud nepracujeme v supravodivém stavu při velmi nízkých teplotách, vždy nějaký odpor a ideální dvousvorkový zkrat tedy není realizovatelný.

U přesných multimetrů je obvyklá vzdálenost svorek od sebe kolem 22 mm. U přesných multimetrů ve funkci měření napětí obvykle postačí spojení svorek vodičem s malým termonapětím (čistá měď nebo zlacená spojka), protože mezi svorkami teče zanedbatelný proud. Je třeba nezapomínat, že svorky přístrojů mají vlivem tepla vznikajícího uvnitř přístroje teplotu vyšší, než je teplota okolí a tím se vytváří podmínky pro vznik termonapětí. Teplota svorek 6,5 až 8,5 místných multimetrů bývá při okolní pokojové teplotě mezi 25 °C až 35 °C.



Obr. č. 18: Čtyřsvorkový zkrat pro DMM, provedení firmy Keithley

Čtyřsvorkový zkrat:

je takové propojení, kdy proud mezi libovolnými dvěma svorkami nevyvolá napětí mezi druhými dvěma svorkami. Čtyřsvorkový zkrat při stejnosměrném měření je zapotřebí při měření odporu. V tomto případě není nutné realizovat ideální zkrat, ale zkrat je proveden pro dané zapojení svorek, jak ukazuje obr. č. 18. Jedná se o nejběžnější provedení pro stejnosměrné měření, kdy se provede spojení proudových svorek mezi sebou, napěťových svorek mezi sebou a jejich vzájemné propojení tenkým vodičem. Tím se zajistí, že proud procházející proudovými svorkami nevytvoří žádné napětí na napěťových svorkách.

Vyjádření střídavého napětí a střídavého proudu

Usměrnění střídavého napětí a střídavého proudu

Střídavé napětí se měří po převodu střídavého napětí na stejnosměrné (detektorem) s využitím funkce stejnosměrného voltmetru. Dělení detektorů a převodníků (AC to DC converter) je možné podle toho, jak vyhodnocuje měřené napětí (nebo proud) na výstupu usměrňovače:

střední hodnoty	(average-responding),
špičkové hodnoty	(peak responding, peak-to-peak responding),
efektivní hodnoty	(root-mean-square responding),
výpočtové efektivní	(quasi-rms).

Další použitelné metody zpracování střídavého napětí jsou:

vzorkovací techniky	(sampling techniques),
techniky fázového závěsu	(phase-lock synchronous detector),
synchronní detekce	(synchronous detection) .

Každému principu odpovídá jiné řešení usměrňovače. Je velmi důležité, zda měřené napětí je čistě harmonické, to je jen s jednou převažující harmonickou složkou, nebo neharmonické, kdy jsou větší požadavky na šířku pásma i na vlastnosti usměrňovače. Převážná část metrologické praxe se týká harmonického napětí.

Například usměrňovače udávajícího (s ideální diodou) vrcholovou hodnotu je možné zapojit různě, viz obr. č. 18 až obr. č. 20.

Sériový usměrňovač musí mít stejnosměrnou vazbu přes měřený zdroj, ale má vyšší vstupní odpor než paralelní usměrňovač.

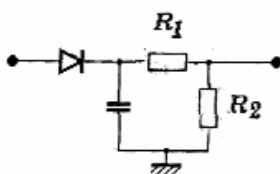
Paralelní usměrňovač nemusí mít stejnosměrnou vazbu, ale má menší vstupní odpor. Aby

výchylka digitálního multimetru se měnila dostatečně rychle při změně napětí, musí se usměrňovač v době periody částečně vybit, což ovšem způsobuje chybu usměrnění. Usměrňovač se mezi periodami částečně vybíjí, což ovlivňuje měřenou hodnotu.

Diodový usměrňovač se sběracím kondenzátorem zatěžuje zdroj jen ve špičkách měřeného napětí a proto má vliv na měřený signál, pokud neměříme zdroj s velmi malým vnitřním odporem.

Není-li vnitřní odpor zdroje dostatečně malý, vzniká v obvodu nelineární zkreslení.

Diodový usměrňovač bez sběracího kondenzátoru dává hodnotu úměrnou střední hodnotě. Nedokonalosti diod odstraňuje operační usměrňovač. Pokud je měřené napětí harmonické, je možné upravit napětí vrcholového usměrňovače, aby voltmetr ukazoval efektivní hodnotu odporovým děličem.

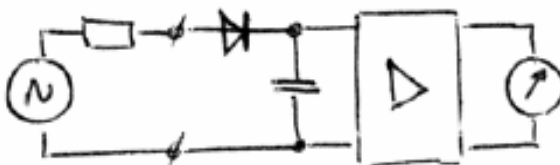


Obr. č. 19: Úprava zapojení usměrňovače pro měření efektivní hodnoty harmonického napětí špičkovým usměrňovačem

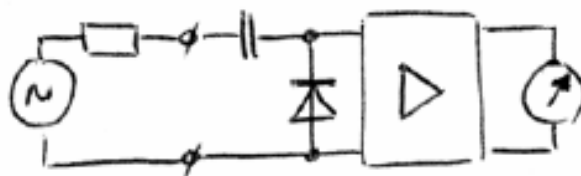
Efektivní hodnotu měří převodníky s měniči závislými na teplotě. Pokud zapojíme dva stejné takové převodníky do můstkového zapojení, získáme usměrňovač měřící efektivní hodnotu a při tom s lineární převodní charakteristikou.

Protože ale termočlánky jsou velmi drahé, pomalé a citlivé na přetížení, používají se v digitálních multimetrech elektronické převodníky, z nichž základní metodu výpočtu (typ log-antilog) ukazuje obr. 25 a byly proto použity vyvinuty specializované integrované obvody.

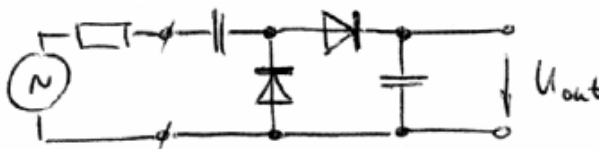
Příklad usměrňovače udávajícího (s ideální diodou) vrcholovou hodnotu je možné zapojit jako to ukazují obr. č. 20 až obr. č. 21:



Obr. č. 20: Sériový usměrňovač musí mít uzavřenu stejnosměrnou vazbu přes měřený zdroj, ale má vyšší vstupní odpor než paralelní usměrňovač.

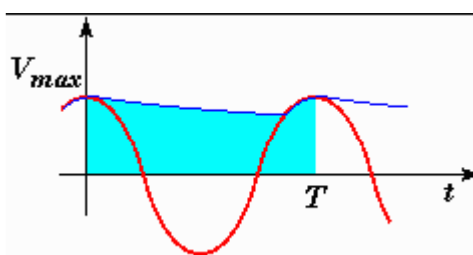


Obr. č. 21: Paralelní usměrňovač nemusí mít stejnosměrnou vazbu, ale má menší vstupní odpor



Obr. č. 22: Usměrňovač udávající mezivrcholovou hodnotu

Aby výchylka digitálního multimetru se měnila dostatečně rychle při změně napětí, musí se usměrňovač v době periody částečně vybit, což ovšem způsobuje chybu usměrnění.



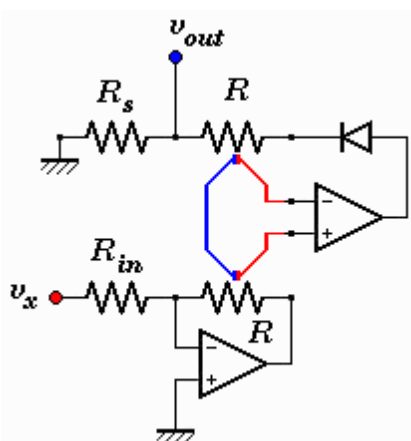
Obr. č. 23: Usměrňovač se mezi periodami částečně vybijí, což ovlivňuje měřenou hodnotu

Diodový usměrňovač se sběracím kondenzátorem zatěžuje zdroj jen ve špičkách měřeného napětí a proto má vliv na měřený signál. Není-li vnitřní odpor zdroje dostatečně malý, vzniká v obvodu nelineární zkreslení vlivem kolísavého zatížení zdroje.

Diodový usměrňovač bez sběracího kondenzátoru dává hodnotu úměrnou střední hodnotě. Nedokonalosti diod odstraňuje operační usměrňovač.

Pokud je měřené napětí harmonické, je možné upravit napětí vrcholového usměrňovače, aby voltmetr ukazoval efektivní hodnotu odporovým děličem, viz obr. 19.

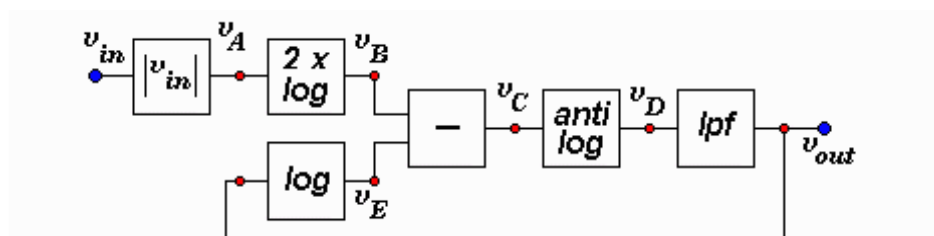
Efektivní hodnotu měří převodníky s měniči závislými na teplotě. Pokud dáme dva stejné takové převodníky do můstkového zapojení podle obr. č. 24, získáme usměrňovač měřící efektivní hodnotu a při tom s lineární převodní charakteristikou.



Obr. č. 24: Usměrňovač reagující na efektivní hodnotu s lineární převodní charakteristikou

Protože ale termočlánky jsou velmi drahé, pomalé a citlivé na přetížení, používají se v digitálních multimetrech elektronické převodníky, z nichž základní metodu výpočtu (typ log-antilog) ukazuje obr. č. 25.

Měření pravé efektivní hodnoty střídavého napětí vyžaduje poměrně složité zapojení, proto pro tyto převodníky bývají specializované integrované obvody.



Obr. č. 25: Funkce a základní principiální zapojení DMM ve funkci měření TRUE RMS AC V

AC U a Rvst

frekvence	vstupní odpor DMM
0,01 kHz	1 M Ω
1 kHz	850 k Ω
10 kHz	150 k Ω
100 kHz	16 k Ω

Obr. č. 26: Vstupní odpor DMM je značně frekvenčně závislý (příklad)

Vstupní odpor multimetru je značně kmitočtově závislý. Podobné je to při měření střídavého proudu, kde je nutné správně nastavit vstupní filtr podle frekvence měřeného proudu. Při měření střídavých napětí a proudů digitálním ampérmetrem nebo multimetrem je potřeba správně vyhodnotit měřenou aplikaci, resp. průběh (tvar) měřeného napětí. Přístroje označené jako TRMS měří tzv. pravou efektivní hodnotu, tedy efektivní hodnotu nezávislou na průběhu (tvaru měřeného střídavého proudu). U přístrojů označených RMS přístroj měří efektivní hodnotu pouze signálů sinusového průběhu, při ostatních průbězích (tvarech) může měřit s velkou chybou.

10 Stanovení nejistoty při měření na DMM

Přesnost měření s DMM

Pro DMM od 3,5 dig do 6,5 dig je velmi velký výběr DMM různých možných přesností. Nejjednodušší pro první volbu podle přesnosti je délka stupnice v DMM podle rozlišení.

Přesnost je specifikována jako dvouhodnotová specifikace:

\pm (% odečtu + % rozsahu) nebo jako (ppm) ze čtení + (ppm) rozsahu.

Čím blíže je měřené napětí k nule, tím více se uplatní rozsah specifikace, tím větší je jeho váha pro výpočet přesnosti. Čím blíže je měření k plné stupnici v rozsahu procentuálního čtení

specifikace, tím větší je váha výpočet přesnosti. Nejlepší přesnost je získaná v blízkosti celé hodnoty stupnice.

Přesnost je také běžně uvedena pod několika podmínkami včetně referenční teploty v kolísání pouze ± 1 °C, provozní teploty obvykle ± 5 °C, a jako 24 hodinová, 90 denní a jednorocní specifikace pro popsané intervaly kalibrace. Očekávaná přesnost může být zlepšené změnami teploty subjektu v prostředí a volbou častějších kalibračních intervalů. Přesnost pro oba měřiče je zadána jako $\pm (0,1 \% + 1 \text{ digit})$.

Příklad: měření odporu

Měření napětí na odporové součástce s odporem 100 k Ω , při měření napětí digitálním multimetrem se vstupním odporem 10 M Ω se výsledný odpor paralelní kombinace sníží o 1 %, při měření osciloskopem nebo měřicí kartou se vstupním odporem 1 M Ω se výsledný odpor paralelní kombinace sníží o 9,1 %. Při měření analogovými přístroji je nutné brát v úvahu i hysterezi analogového přístroje, což znamená, že přístroj měří rozdílné hodnoty při zvyšování napětí (pohybu ukazatele směrem nahoru) a při snižování napětí (pohybu ukazatele směrem dolů). Přístroj však musí splňovat podmínku, že hystereze je menší než třída přesnosti přístroje. U digitálních přístrojů, které to umožňují, pro stejnosměrné napětí je důležité nastavení tzv. doby integrace, což je údaj vyjadřující počet odměřů za jednotku času. Pro napětí, která jsou stabilní, a hodnota se mění minimálně, je vhodné volit dobu integrace dlouhou (NPLC = 10 nebo 100, kde NPLC znamená počet cyklů napětí sítě, tedy při frekvenci síťového napětí 50 Hz bude počet odměřů 5/s pro NPLC = 10 nebo 0,5/s pro NPLC = 100). Podobné je to při měření střídavého napětí, kde je nutné správně nastavit vstupní filtr podle frekvence měřeného napětí. Při měření střídavých napětí digitálním voltmetrem nebo multimetrem je potřeba správně vyhodnotit měřenou aplikaci, resp. průběh (tvar) měřeného napětí. Přístroje označené jako TRMS měří tzv. pravou efektivní hodnotu, tedy efektivní hodnotu nezávislou na průběhu (tvaru měřeného střídavého napětí). U přístrojů označených RMS přístroj měří efektivní hodnotu pouze signálů sinusového průběhu, při ostatních průbězích (tvarech) může měřit s velkou chybou. Je-li potřeba změřit větší napětí, než pro které je měřicí přístroj určen, může se k němu do série zapojit tzv. předřadný odpor R_P takové velikosti, aby se měřené napětí U rozdělilo ve vhodném poměru na napětí na předřadném odporu U_P a napětí na voltmetru U_V . Přitom platí, že:

$$U = U_P + U_V.$$

Odpor předřadného odporu pak musí mít velikost podle vztahu:

$$R_P = R_V \cdot (n - 1)$$

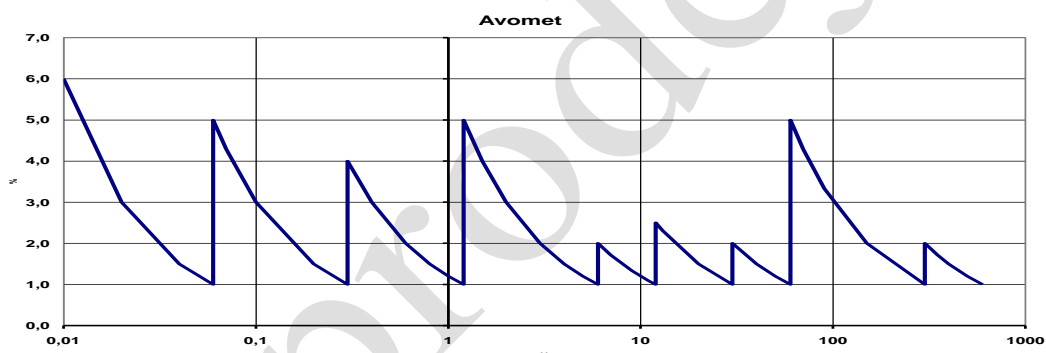
kde: R_P je odpor předřadníku, R_V je vstupní odpor voltmetru, n je násobek zvýšení rozsahu měřicího přístroje. Také je možné použít vhodný odporový dělič. Při jeho konstrukci je však nutné zohlednit vstupní odpor měřicího přístroje, viz příklad uvedený výše. Změna rozsahu u měřicích přístrojů při měření střídavého napětí je také možná tzv. měřicím transformátorem napětí, kde celkový rozsah je součin převodu transformátoru a rozsahu měřicího přístroje. Volba typu měřicího přístroje – analogový nebo digitální - závisí na měřené aplikaci. U analogových přístrojů je možné sledovat trend nebo změny měřeného napětí, samozřejmě s horší přesností odečtu, u digitálních přístrojů je změna čísla na displeji rychlá nebo příliš velká a neumožňuje odečet s výjimkou případů importu naměřených hodnot do vhodného programu, což ale nelze u přístrojů, které nemají vhodnou sběrnici. Digitální přístroje naopak

umožňují přesnější a pohodlnější odečet, přenos dat do počítače a jejich další vyhodnocení. Pro měření speciálních aplikací napětí je možné použití osciloskopů, které zobrazují průběh napětí v čase. Osciloskopy nedosahují přesnosti digitálních měřidel (multimetrů), přesnost je obvykle v jednotkách procent, ale naopak je s nimi možné měřit napětí o vysokých frekvencích – až do rozsahů GHz a dále je možné měřit napěťové pulsy, které jsou na měřeném objektu velmi krátkou dobu (řádově až pikosekundy). V takovém případě se používá spouštění časové základny SINGLE. Měřicí karty připojené k počítači jsou speciální měřidla, u kterých je možné měřit napětí ve více kanálech současně. Programové vybavení dodávané s těmito zařízeními umožňují exportovat naměřené hodnoty ve formě grafu nebo ve formátu tabulky MS Excel.

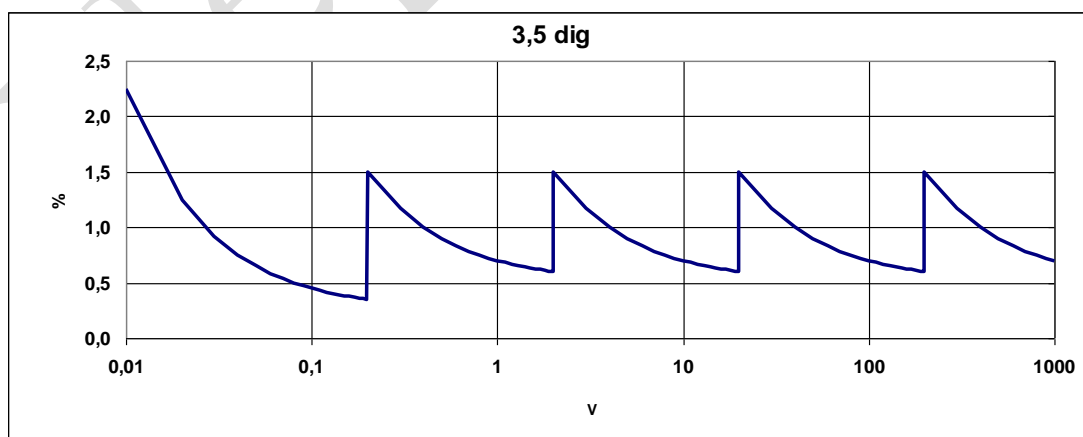
Všechny základní dokumenty uvádí příklad stanovení nejistoty při měření DMM.

Pro zajištění deklarované specifikace musí být DMM před přiměřenou dobou (kterou je obvykle nejvýše 1 rok) kalibrován a musel splnit specifikaci včetně rezervy na stárnutí a po odečtení nejistoty měření. Pokud je při kalibraci použit etalon nejméně 4x lepší než kalibrováný DMM, pak je vliv kalibrátoru na nejistotu dostatečně malý.

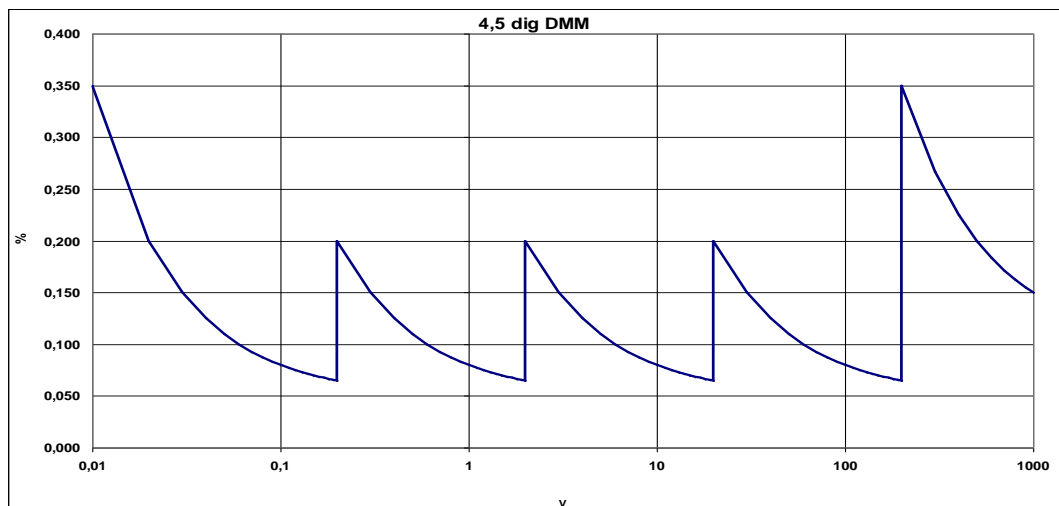
Porovnání specifikací pro funkci měření DC U



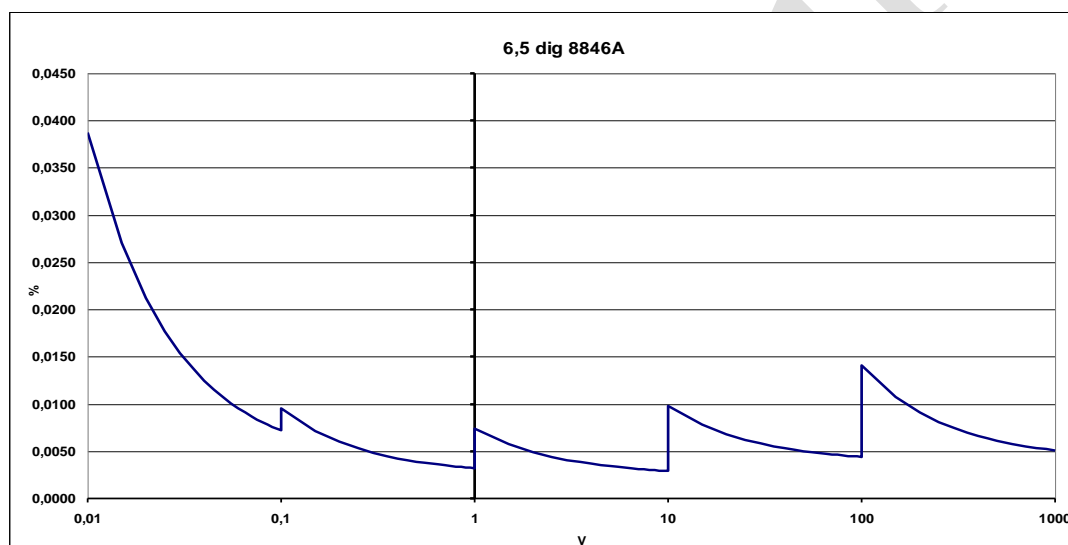
Obr. č. 27: Specifikace pro DCV, analogový DMM, Avomet Metra (aby chyba příliš nerostla, jsou ve střední oblasti použity jemně odstupňované dílčí rozsahy)



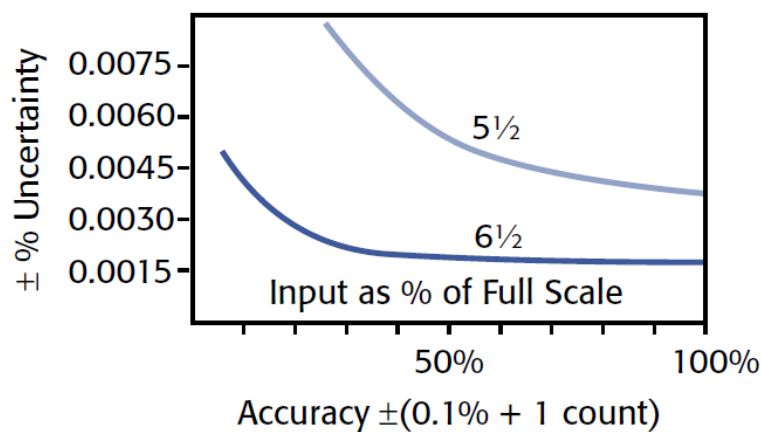
Obr. č. 28: Specifikace pro DCV pro typický číslicový 3,5 dig DMM



Obr. č. 29: Specifikace pro DCV pro typický číslicový 4,5 dig DMM



Obr. č. 30: Specifikace pro DCV pro typický číslicový 6,5 dig DMM



Obr. č. 31: Ukázka rozdílu specifikace 5,5dig a 6,5 dig DMM (vliv rozlišení)

DMM a rušivé vlivy

Rušivé vlivy při měření DC a LF signálů.

Měření s multimetry je relativně snadné a málo citlivé na různé rušivé vlivy. Při přesném měření nelze však jejich vliv zanedbat. Jedná se hlavně o termální napětí, vliv rušivých polí, zemních smyček a šumu. Pochopení mechanismu vzniku těchto rušivých vlivů pomáhá k jejich potlačení nebo odstranění.

Přehled zdrojů nejistot u elektrických kalibrací DMM.

Importovaná nejistota je nejistota přístroje přiřazená hodnotě v kalibračním listu přístroje, která dále přispívá ke složkám vyhodnocení následné nejistoty, ať se jedná o zařízení nebo o referenční etalon.

Dlouhodobá stabilita U činnosti všech přístrojů a u hodnot referenčních etalonů je nutno očekávat, že mění svoje výstupní hodnoty v průběhu času.

drift v průběhu času. U pasivních zařízení, jako etalonových rezistorů, lze očekávat drift pomalý. Vyhodnocení takových driftů musí být zkoumáno na základě hodnot obdržných z předchozích kalibrací. Nelze předpokládat, že drift bude lineární. Data je nutno po odečtení vyhodnotit v grafické formě. Křivka procesu stárnutí má významnou váhu pro každou kalibraci, nebo pro kalibrace předcházející, a může přiřadit nejpravděpodobnější prověřenou hodnotu v čase použití. Stupeň komplexnosti zpracování dané křivky je záležitost jejího vyhodnocení; v některých případech uspokojivě postačí znázornit hladkou křivku propojením zvolených bodů. Jakmile je provedena nová kalibrace, je nutno charakteristiku driftu opět přezkoumat. Korekce, která se aplikuje pro drift, je složkou nejistoty založené na rozptylu datových bodů, které drift charakterizují. Velikost driftu a náhodná nestabilita přístroje, resp. požadovaná přesnost určují potom interval mezi kalibracemi (rekalibrační).

U **elektronických zařízení** není vždy možné následovat tento postup, neboť změny stavu mohou být více náhodného charakteru v relativně dlouhé časové periodě. Dobrým startovním bodem pro přiřazení nejistoty na základě driftu přístroje může být **specifikace výrobce**, ale toto by mělo být potvrzeno analýzou systému kvality a kalibračních dat.

Okolní podmínky. Prostředí laboratoře je jednou z nejdůležitějších aspektů při provádění elektrických kalibrací. Okolní teplota je často nejdůležitějším vlivem a informace o teplotním koeficientu, např. etalonového odporu, musí známa, nebo určena. Variace okolní vlhkosti může mít efekt na nehermetizované prvky. Na některé elektrické etalony může mít rovněž velký vliv barometrický tlak. Je nutno brát na vědomí i možné efekty pracovních podmínek elektrických měření, jako vliv výkonu, harmonického zkreslení, úrovně napájecího napětí, které mohou být rozdílné při použití přístroje, nebo při jeho kalibraci. Vestavěné odporové etalony, odporové napěťové děliče a jsou příkladem zařízení ovlivněného samozahříváním a/nebo napájecím napětím. Mělo by být zajištěno, že všechna zařízení pracují v rozsahu napájecího napětí stanoveného výrobcem.

Harmonické a šumové efekty u střídavých kalibračních signálů mohou ovlivňovat vlastní hodnotu těchto signálů. Podobně by se měly brát do úvahy efekty jakýchkoli signálů obecných módů, které vznikají v měřicím systému.

Podmínky měření. Značně podceňovanou oblastí je nastavení podmínek měření. Týká se nejen prostředí, a propojení, ale i správného nastavení před měřením. Nejtypičtějším příkladem je nastavení nuly, které provází měření elektrických veličin od nastavení nuly u analogových přístrojů přes nastavení nuly u číslicových voltmetrů až po nastavení zkratu (short) při měření prvků. Je třeba si uvědomit, že není zkrat jako zkrat a celé měření menších hodnot impedance prvků je vztaženo k tomu, jak byl definován a nastaven zkrat.

Interpolace kalibračních dat Pokud je kalibrován přístroj s širokým rozsahem schopnosti měření, (multifunkční a multirozsahové) potom vznikají praktické a ekonomické vlivy z omezení počtu kalibračních bodů. Hodnota veličiny, kterou je nutno změřit a/nebo její frekvence, může být často rozdílná od hodnot kalibrovaných bodů. Pokud hodnota veličiny leží mezi dvěma kalibrovanými body, je potřebná úvaha ke zjištění systematické chyby, která vznikne např. z nelinearity stupnice. Pokud měřená frekvence leží mezi dvěma kalibračními frekvencemi, bude rovněž nutné vyšetřit dodatečnou nejistotou, která zde může vzniknout ve vztahu k interpolaci. Toto je možné vykonat s dostatečnou věrohodností, pokud je známa teorie činnosti přístroje, ze které je možno předvídat frekvenční charakteristiku, a/nebo jsou k dispozici další kalibrační data jiných vzorků stejného přístroje, nebo pokud je to smysluplné, je činnost aktuálně použitého přístroje přezkoumána frekvenčním měřicím systémem, pro ověření absence rezonančních efektů nebo odchylek ve vztahu k provozním, nebo konstrukčním limitům přístroje.

Rozlišení. Limit schopnosti přístroje indikovat malé změny měřené veličiny, označené jako rozlišení, nebo „digitální chyba zaokrouhlení“, se vztahuje k systematické komponentě nejistoty. Mnoho přístrojů s digitálním displejem používá analogově-digitální převodník (ADC) pro konvertování vyšetřovaného analogového signálu do formy, která může být znázorněna numerickými znaky. Poslední zobrazený digit (dílek) je zaokrouhlená reprezentace dále již potlačeného analogového signálu. Vznikající chyba tímto postupem je v rozsahu od $-0,5$ digitu (jinak by byl poslední digit o jeden menší) do $+0,5$ digitu (jinak by byl poslední digit o jeden větší). Je proto uvedena kvantifikace této chyby jako $\pm 0,5$ digitu. Protože zde není možnost zjištění, kde v tomto rozmezí skutečná potlačená hodnota leží, výsledná chyba se předpokládá nulová s mezemi $\pm 0,5$ digitu.

U analogových přístrojů je efekt rozlišení určen praktickou schopností odečtení pozice ukazatele na stupnici. V takovém případě je aktuálně odečtený poslední dílek zdrojem nejistoty nejméně $\pm 0,5$ dílku. Existence elektrického šumu, který způsobuje fluktuace u odečtu, obvykle určuje použitelné rozlišení, přesto je možno učinit uspokojivý odhad střední pozice pohybujícího se ukazatele okem.

Připojení přístroje Fyzické nastavení jedné položky zařízení ve vztahu k jiné a jejich propojení vůči zemi může být důležité u některých měření. Odlišné nastavení v průběhu kalibrace a při následném používání přístroje může být zdrojem systematických chyb. Hlavními efekty jsou: únikové zemnicí proudy, interferenční proudové smyčky a zbytková elektromagnetická pole. Při měření indukčnosti je nutno definovat konfiguraci spojovacích vedení a je nutno mít na vědomí efekty uzemnění, resp. souvisejících feromagnetických materiálů. Efekt **vzájemného ohřevu** mezi přístroji může být také zdrojem problémů.

Termoelektrické napětí Pokud prochází elektrický vodič teplotním gradientem, je v tomto gradientu generován potenciální rozdíl. Toto je známo jako Seebeckův jev a toto nechtěné

parazitní napětí může v některých systémech měření způsobit chyby – speciálně tam, kde jsou měřeny malé hodnoty stejnosměrného napětí. Tyto chyby mohou být minimalizovány způsobem zapojení, které je teplotně symetrické. To znamená, že Seebeckovo napětí v jednom vodiči je eliminováno opačným identickým napětím ve vodiči jiném. V některých situacích, např. při ac/dc (střídavých/stejnosměrných) přechodových měřeních, je polarita stejnosměrného napájecího napětí změněna a za výsledek se vezme aritmetický průměr dvou sad stejnosměrného měření. Obecně se předpokládá u existence teplotní elektromotorické síly vyhodnocení komponenty nejistoty jako Typu B. Termonapětí je nejčastější zdroj chyb při měření stejnosměrného napětí malé úrovně. Toto napětí vzniká na styku dvou různých materiálů s různými teplotami. Jeho velikost závisí na druhu spojených materiálů a na rozdílu teplot obou stran těchto spojů v uzavřeném proudovém obvodu.

Nejčastěji jsou používány měděné vodiče. Spoj dvou měděných vodičů má termonapětí menší než $0,2 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$. Je-li jeden z vodičů zoxidován, stoupne toto termonapětí až na neúnosně velkých $1\ 400 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$. Proto musí být, tam kde je to možné, učiněna vhodná opatření, například termonapětí mědi proti stříbru nebo zlatu je $0,3 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$, mědi proti cínové pájce 1 až $3 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$. Pájené spoje postačí pro nižší nároky, postříbřené kontakty mají nevýhodu, že mohou oxidovat, zlacené vyhoví ve většině případů. Problémy jsou v pouzdření citlivých polovodičových obvodů, protože termonapětí mědi proti kovu je 40 až $75 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ a mědi proti křemíku $400 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$. V tomto případě je jediná možnost, dobrá teplotní vazba minimalizující teplotní rozdíly. Ta není problémem u vodivých materiálů, problematická je u izolátorů, které obvykle izolují elektricky i tepelně. Dobrou tepelnou vodivost mají z elektrických izolátorů elox na hliníku a berilliumoxid.

Zatížení a impedance kabelů Vstupní impedance voltmetrů, osciloskopů a jiných napěťově citlivých přístrojů mohou tak zatížit měřený okruh, do kterého jsou zapojeny, že to může být zdrojem významné systematické chyby. Pokud jsou impedance známy, je možno použít korekci. Je třeba také uvažovat, že některé multifunkční kalibrátory mají induktivní výstupní impedance. To znamená, že při kapacitní zátěži může výsledná rezonance způsobit zvýšení výstupního napětí, v závislosti na hodnotě Q proudového okruhu. Impedance a konečná délka propojovacích vodičů nebo kabelů mohou rovněž ovlivnit systematické chyby při měření napětí při jakékoli frekvenci. Použití čtyřvodičového zapojení při některých měřeních minimalizuje takové chyby.

Magnetické vazby

Uzavřený obvod tvořený na příklad zemními spoji a síťovým zemněním působí jako rámová anténa. Indukují se do ní malá napětí, avšak působí jako zdroj s malým vnitřním odporem. Jejich vliv se omezuje zmenšením plochy antény, to znamená, že užíváme zkroucené nebo koaxiální vodiče. Citlivé obvody uvnitř přístrojů mohou být stíněny uzavřenými kryty z magneticky měkkého materiálu. Možnost vzniku smyček ze zemnicích vodičů se snažíme omezit zemněním do jednoho centrálního zemního bodu a užitím, tam kde je to možné, izolovaných napájecích zdrojů nebo baterií.

Bílý šum

Každý elektrický odpor je zdrojem šumu. Jeho velikost závisí na hodnotě odporu, teplotě a šířce pásma. Proto se snažíme omezovat šířku pásma na nezbytně nutnou a nízkosumové obvody jsou obvykle nízkaimpedanční. Snížení šumu snížením teploty se dosahuje jen ve velmi speciálních a velmi drahých případech.

Při pokojové teplotě je špičková hodnota špičkového napětí dána vztahem:

$$E_{PP} = 6,5 \times 10^{-10} \sqrt{R\Delta f} ,$$

Omezuje se tedy hlavně snížením Δf nebo R , pokud je to možné.

Rušivé proudy

Při citlivých měřeních se mohou uplatnit rušivé proudy vlivem triboelektrického, piezoelektrického jevu, elektrochemických jevů a svodů. Triboelektrický proud vzniká vlivem nábojů vytvářených při mechanickém namáhání izolátorů, například při ohýbání koaxiálního kabelu. Piezoelektrický proud vzniká mechanickým namáháním některých izolačních materiálů. Elektrochemické jevy vznikají nejčastěji na nedostatečně čistých deskách plošných spojů, ty je nutno po pájení pečlivě očistit, v jednodušších případech methylalkoholem. Hodnota rušivého proudu špatně očištěného plošného spoje může být až 10 nA, při pečlivém očištění může klesnout až na řádově 0,1 pA. U koaxiálního kabelu se může pohybovat od 10 nA až po jednotky fA, podle provedení čistoty a mechanického namáhání kabelu. Kvalitní materiály jsou teflon a keramika, jejichž proudy jsou pod 1 pA.

Integrační čas a rozlišení

Integrační čas se volí u přístrojů napájených ze sítě v násobcích period sítě (NPLC). Pro NPLC nad 10 roste přesnost již málo a často DMM pro NPLC nad 10 vyhodnotí měření jako průměr ze skupiny měření pro NPLC 10, například pro NPLC 50 je to průměr z 5 měření při NPLC 10.

11 Záznamy o měření

Pokud má organizace stanoveny konkrétní záznamy o měření, využijí se. Úroveň záznamu je dána důležitostí měřicí operace a jeho rozsah stanoví odpovědný pracovník subjektu (technolog, metrolog atd.)

Tyto záznamy mohou obsahovat například:

- a) identifikace pracoviště provádějícího měření,
- b) pořadové číslo záznamu, očíslování jednotlivých stran, celkový počet stran,
- c) informace o měřidle,
- d) veličiny ovlivňující měření v okamžiku měření a způsob jejich kompenzace,
- e) název výrobní operace,
- f) datum měření, (případně i čas),
- g) označení použité metodiky měření (v našem případě např. MPM 4.1.2/03/18)
- h) měřidla použitá při měření,
- i) obecné vyjádření o návaznosti výsledků měření,
- j) výsledky měření a s nimi spjatou rozšířenou nejistotu měření a/nebo prohlášení o shodě s danou technologickou tolerancí,
- k) jméno pracovníka, provádějícího měření, jméno a podpis odpovědného (vedoucího) pracovníka, razítko pracoviště.

12 Péče o metodický postup

Originál metodického postupu je uložen u jeho zpracovatele, další vyhotovení jsou předána příslušným pracovníkům podle rozdělovníku (viz čl. 13.1 tohoto postupu).

Změny, popř. revize metodického postupu provádí jeho zpracovatel. Změny schvaluje vedoucí zpracovatele nebo metrolog organizace.

13 Rozdělovník, úprava a schválení, revize

Uvedený příklad je pouze orientační a subjekt si může tuto dokumentaci upravit podle interních předpisů o řízení dokumentů.

13.1 Rozdělovník

Metodický postup		Převzal		
Výtisk číslo	Obdrží útvar	Jméno	Podpis	Datum

13.2 Úprava a schválení

Metodický postup	Jméno	Podpis	Datum
Upravil			
Úpravu schválil			

13.3 Revize

Strana	Popis změny	Zpracoval	Schválil	Datum

Upozornění

Tento metodický postup je třeba považovat za vzorový. Doporučuje se, aby jej organizace přizpůsobila svým požadavkům s ohledem na své metrologické vybavení a konkrétní podmínky.

16 Přílohy --- pouze pro informaci

Obecný úvod

Digitální multimetr (DMM) je extrémně všestranný nástroj pro řešení problémů s elektrickými systémy v laboratoři, dílně i v domácnosti a pro diagnostiku, mají kombinaci funkcí mnoha elektrických měřicích přístrojů spojených do jednoho přístroje. Digitální multimetry mohou měřit napětí, elektrický odpor, kontinuitu, proud nebo zkušební diody buď stejnosměrným proudem (DC) nebo střídavým proudem (AC) pouze otočením knoflíku u nejlevnějších DMM, nebo s automatickou volbou rozsahu u dražších typů. Mají možnost měřit přesně na 2, 3, 4 nebo více desetinných míst. V domácích a automobilových aplikacích mohou testovat, do jaké míry vedou správně elektřinu vodiče, spínače, pojistky, relé a motory.

Před DMM se technici spoléhali na analogové měřiče, které používaly poměrně nepřesný a choulostivý měřicí systém. DMM poskytují digitální čtení, které je mnohokrát přesnější než analogové čtení. Většina malých DMM má ovládání otočným přepínačem, které uživateli umožňuje vybrat, co se měří (napětí, zesilovače, odpor atd.), a co je ještě důležitější, umožnit uživateli vybrat "rozsah" měření. Jednoduše řečeno, rozsah je definován jako nejvyšší hodnota, kterou multimetr zaznamená s číselníkem v této pozici. Například při měření voltů může DMM dovolit uživateli nastavit číselník na 2 V, 20 V, 200 V nebo 600 V. Pokud uživatel zná přibližnou očekávanou hodnotu, měla by být pro nejpřesnější výsledek vybrána nejbližší oblast.

Zatímco moderní multimetry mohou provádět desítky funkcí, pokryjeme i nejjednodušším DMM čtyři běžné testy pro kontrolu automobilu a ostatní potřeby v domácnosti: napětí, kontinuita, proud a testování diod. U DMM s více dostupnými rozsahy je nejvhodnější volbou pro automobilovou práci rozsah 20 V.

Digitální přístroje, které nutně obsahují zesilovače, používají stejné zásady jako pro rozsahy analogových přístrojů. Pro měření odporu, je obvykle generován malý konstantní proud a digitální multimetr načte výsledný pokles napětí na měřeném odporu. Automatické přepínání rozsahu u digitálního multimetru může automaticky nastavit měřítka tak, aby měření používalo plnou přesnost A/D převodníku. Ve všech typech multimetrů je kvalita spínacích prvků rozhodující pro stabilní a přesné měření. Stabilita odporů je limitujícím faktorem při udržení dlouhodobé přesnosti přístroje. Současné multimetry mohou měřit mnoho veličin. Společné jsou: Napětí, střídavé i stejnosměrné, ve voltech, proud, střídavý i stejnosměrný, v ampérech. Frekvenční rozsah, pro který AC měření jsou přesná, musí být určen. Odpor v ohmech. Kromě toho, měří některé multimetry: Kapacita ve faradech. Vodivost v siemensích. Decibely. Provozní zátěž v procentech. Frekvence v Hz. Indukčnost v Henry je výjimečná funkce, protože je náročnější a zapojení i na použití. Teplota ve stupních Celsia nebo Fahrenheita, s odpovídajícím údajem teplotě zkušební sondy, často termočlánek. Digitální multimetry může také obsahovat obvody pro kontinuitu - pípá, když je obvod vodivý. Diody (měření úbytku dopředného napětí) a tranzistory (měří se proudový zisk a další parametry). Baterie, kontrola jednoduchého článku 1,5 voltu i kontrola složených, například 9 V baterií. To je měření, jak je aktuální nabitá napětím. Kontrola baterie (ignoruje vnitřní odpor, který se zvyšuje, když je baterie vybitá), je méně přesná při použití jen měření stejnosměrného napětí. Různé senzory mohou být připojeny k multimetru pro měření, jako například: úroveň světla, kyselost/zásaditost (*pH*), rychlost větru, relativní vlhkost vzduchu

atd. Všechny i nejlevnější multimetry mají pojistku, která bude přístroj chránit, aby někdy nedošlo k poškození multimetru vlivem proudového přetížení na nejvyšším proudu. Častou chybou při práci s multimetrem je, když z neznalosti nebo omylem nastavíte měřicí přístroj pro měření odporu nebo proudu a připojíte jej přímo do nízké impedance zdroje napětí. Pojistky používané v metrech umožní provádět měření maximálního proudu přístroje, ale jsou určeny k jasnému vypnutí, pokud chyba obsluhy vystavuje multimetr s nízkou impedancí přetížení A/D převodník určuje základní přesnost měření, nelze jít nad tuto přesnost. Vzhledem k tomu, že samotný A/D převodník potřebuje k funkci ještě vstupní obvody aj., je výsledná nejistota měření horší než vlastní přesnost A/D převodníku. A/D převodník může být buď samostatný IC obvod, nebo sestaven z více součástek a to jak diskretních polovodičů, tak IC obvodů nebo různých kombinací s pasivními součástkami. A/D převodník, který je složen s více IC obvodů různých funkcí, bývá přesnější a dosahuje lepší linearitu, takto sestavený A/D převodník se používá v stolních a laboratorních DMM.

A/D převodník, jako samostatný obvod, se používá cca do $4\frac{3}{4}$ digitů zobrazení. K ovládání u jednodušších ručních a starších multimetrů, které nemají procesorovou jednotku, je využit pro přepínání měřených veličin otočný přepínač, nebo tlačítkové přepínače. Řízení dnes ve většině případů mimo nejjednodušší přístroje zastává mikroprocesorová jednotka, která zajišťuje kompletní obsluhu vnitřních obvodů, obvody styku s PC nebo řízení vstupních obvodů. Tato CPU umí tyto obvody i otestovat pomocí vnitřních autotestů. Proto také může uživatel DMM jednodušším způsobem přijít na skrytou závadu DMM např. větší měřicí chyby přístroje. Dnes se také objevují přístroje, které samy o sobě nemají žádné ovládací prvky, a slouží pro styk výhradně s PC. Uvnitř těchto měřidel je vlastně samostatný „počítač“. Obsahují obvody vstupu, A/D převodník a CPU, která komunikuje PC.

Digitální nebo analogové DMM?

U analogových přístrojů je možné sledovat trend, nebo změny měřeného proudu, samozřejmě s horší přesností odečtu, u digitálních přístrojů je změna čísla na displeji rychlá nebo příliš velká a neumožňuje odečet s výjimkou případů importu naměřených hodnot do vhodné paměti. Věčnou debatu, pokud jde o multimetry je otázka, zda měřit analogově nebo digitálně. Digitální je nejběžnější typ multimetru, ale analogový měřič stále ještě existuje. Zřejmá výhoda chodu analogového signálu je, že nepotřebujete baterie a tyto VOM (jiný název pro analogový multimetr) měří v milliampéru, ohmmetru a voltmetru (jejichž iniciály naznačují jeho alternativní název). U VOM můžete lépe sledovat trendy s měnící se hodnotou. Mezitím digitální měřiče, obdobně jako digitální hodinky, jsou přesnější a přesnější a až na poslední číslici. Můžete dokonce číst více věcí pomocí digitálního multimetru, od teplot až po stejnoměrné napětí, stejně jako mikroA. Můžete také využít obojí, abyste mohli využívat to nejlepší z obou světů. Je to všechno dobré. Digitální multimetr: Téměř všechny funkce analogového multimetru jsou k dispozici v digitálním multimetru. Tyto kapesní DMM poskytují další funkce, než jejich analogové ekvivalenty. Jsou poháněny vlastními bateriemi a mají nejmenší vliv na testovaný obvod. I velmi levný DMM, který je snadno použitelný, je levnější než analogový multimetr a poskytuje přesnější výsledky. Existují stovky výrobců, kteří prodávají vlastní verzi DMM, od několika dolarů až po tisíce dolarů. Jakmile pochopíte, jak DMM fungují, je mnohem jednodušší je používat. Všechny dostupné verze pracují zhruba stejným způsobem.

Malé DMM do 4,5 digitů slouží převážně k provozním a orientačním měřením a jejich vznik umožnil až vývoj integrovaných obvodů, v tomto případě obvodu ICL 7106 kolem roku 1970.

Historie DMM

Analogové multimetry byly vynalezeny v roce 1920. Vynález první multimetru je přičítán britskému inženýru Post Office, Donald Macadie, který byl nespokojený s tím, že musel nést mnoho jednotlivých přístrojů potřebných pro údržbu telekomunikačních okruhů. Macadie vynalezl přístroj, který může měřit proud A, napětí V a ohmů, takže tento multifunkční přístroj byl pak jmenován Avometer. Macadie předal nápad Coil Winder Company (ACWEEC, která byla založena v ~ roce 1923). První AVO byly uvedeny do prodeje v roce 1923, a ačkoli to bylo zpočátku jen DC, mnoho z jeho rysů zůstala téměř beze změny až do posledního modelu 8. Zajímavé je, že byl v roce 1923 patentován tento přístroj i v Československu Kapesní hodinkový metrů styl byl v širokém užití již v roce 1920, za mnohem nižší cenu než Avometer. Kovové pouzdro bylo normálně připojeno k zápornému připojení a to bylo uspořádání, která způsobilo četné elektrické šoky. Technické specifikace těchto zařízení byly často hrubé, například jeden z nich má odpor pouhých 33 ohmů na volt a nelineární stupnici bez možnosti nastavení nuly.



Obr. č. 32: Avometr a hodinkový typ DMM z roku 1920

DMM Digitální multimetr (DMM) je v současné době nejrozšířenější elektronický měřicí přístroj. Je to dáno jeho univerzálností a dostupností. Multimetry se nyní vyrábí ve velmi velkém množství a širokém rozsahu cen i přesností. DMM lze koupit za 50 Kč, ale i za 500 000 Kč. To je dáno obrovským rozsahem dosahovaných parametrů a jejich přesností. Levné DMM měří a zobrazují výsledek na 3,5 míst, přesné až na 8,5. S tím souvisí i velké rozdíly v udávané přesnosti, na DC U od řádově 1 % až po méně než 0,001 %. Analogové multimetry velmi rychle vytlačily malé digitální multimetry. Analogové přístroje značně zatěžovaly měřený obvod. Vstupní odpor Avometu I z Metra Blansko byl pouze 1 k Ω /V, u Avometu II se podařilo zvýšit tento odpor až na 50 k Ω /V, ale tím už možnosti končí. Proto byla vždy snaha, zvýšit vstupní odpor pomocí předzesilovače. Vynecháme-li speciální konstrukce s fozesilovač, zbývala pro oddělovací zesilovač už jen možnost použití

elektronek (anodový nebo katodový můstek). Tak vznikly poměrně rozšířené elektronkové voltmetry.



Obr. č. 33: Tesla Brno BM289 a BM388 Elektronické multimetry Tesla Brno BM289 a BM388

U nás to byly postupně analogové elektronické multimetry:

- **Tesla Brno BM289** - elektronický voltmetr, ohmmetr ss vstupní napětí 0,1 mV - 300V, nejmenší rozsah 1V ss napětí, přesnost 3 %, napěťová sonda 15kV, stř. vstupní napětí 0,3mV - 300V, nejmenší rozsah 3 V - 20 Hz - 50 MHz, přesnost 5 % (10 %), odpor 10 Ω - 200 MΩ, přesnost 5 %, váha 6 kg, rozměry 280 x 195 x 150 mm,
- **Tesla BM388** - střídavý elektronický voltmetr, ohmetr, vstupní napětí 10mV - 100V, nejmenší rozsah 0,1 V, 15 Hz - 10 MHz, přesnost 10 %, odpor 1Ω - 1000 MΩ, váha 7kg, rozměry 305 x 230 x 182 mm,
- **Tesla BM 518** - stolní analogový multimetr, napětí - 0 - 300 V pro 50 Hz - 1 MHz i nesinusové průběhy.

Metra Blansko vyráběla klasické multimetry.



Obr. č. 34: Přístroje a multimetry z Metra Blansko

U analogových multimetrů se měří stejnosměrné napětí s odporem připojeným mezi vstup metru hnutí a obvod pod testem. Sada spínačů musí být vložena u vyšších napěťových rozsahů. První Avomet Metra měl měřidlo 1 mA, takže zatěžoval měřený obvod. Pozdější modely měly odběr jen 50 μA . V padesátých letech minulého století začal národní podnik **Metra Blansko** vyrábět dnes již legendární snadno přenosný universální přístroj **AVOMET**. Sdružoval v sobě stejnosměrný i střídavý voltmetr a stejnosměrný i střídavý ampérmetr. Pojem „multimetr“ se tehdy nepoužíval. Pro měření v elektronice je důležitý parametr voltmetru jeho vstupní odpor, kterým zatěžuje měřený obvod. AVOMET měl pouze 1k Ω /V, což je dost málo. Zdokonalená druhá verze Avometu se jmenovala nejprve **AVOMET II**, **později DU10**. Ten měl vstupní odpor 50 k Ω /V, a to je parametr velmi dobrý. Navíc byl vybaven funkcí dvourosahového ohmmetru s napájením 1,5 V z rozpůlené třívoltové baterie, která je dnes hůře dostupná. Na DU10 navazuje DU20, jenž se však kvůli větším rozměrům řadí spíše do kategorie stolních laboratorních přístrojů. V sedmdesátých letech Metra vyráběla měřicí přístroje řady PU..., které byly lehce přenosné, ale méně odolné hrubšímu zacházení. Pro měření v elektronických obvodech byl určen přístroj PU120, který kromě měření hlavních elektrických hodnot měl i funkci pro měření základních parametrů tranzistorů. Ale vstupní odpor ss voltmetru měl pouze 20 k Ω /V, tedy dvaapůlkrát horší než předchozí DU10. V uvedeném období až do 80. let byl v naší zemi velký nedostatek univerzálních měřicích přístrojů (jako ostatně téměř všeho). Proto byl v rámci tehdejší RVHP nedostatek měřicích přístrojů v ČSSR řešen dovozem přístrojů z NDR - přístroje značky UNI..., z SSSR – přístroje řady C..., z Polska – přístroje řady UM... Později koncem 80. a začátkem 90. let vyráběla Metra přístroje řady **PU500** a začala s výrobou i **prvních digitálních**, ale oblibu u uživatelů si tyto přístroje nezískaly. Z hlediska oblíbenosti univerzálních měřicích přístrojů suverénně vede opravdu legendární AVOMET II (DU10). Chceme-li ho ale i dnes používat, je nanejvýš vhodné zkontrolovat si jeho vlastnosti. Záměrně se vyhneme pojmu „kalibrace“, protože to je velmi diskutabilní téma vymykající se tematickému zaměření tohoto článku. Porovnáme-li si tedy jednoduchými testy jeho údaje s druhým ověřeným přístrojem, většinou zjistíme, že hodnoty změřené Avometem jsou značně nepřesné. Největší chyby měření budou na střídavých rozsazích. Odchylky u půl století starého přístroje jsou způsobeny řadou nevratných změn jakou je hlavně změna magnetického obvodu deprezského systému, únava torzního závěsu, stárnutí předřadných odporů a stárnutí kuproxidových (starý typ polovodičového usměrňovače) usměrňovačů. To jsou změny, které jsou prakticky nenapravitelné a vývojoví konstruktéři Avometu s tak dlouhou životností přístroje ani nepočítali

Specifikace přesnosti DMM

Digitální multimetry obecně umožní provádět měření s přesností vyšší, než jejich analogové protějšky. Standardní analogové multimetry měří s přesností typicky tři procenta, když jsou vyrobené některé speciální i s vyšší přesností. Standardní přenosné digitální multimetry jsou s přesností typicky 0,5 % na napěťových rozsazích stejnosměrných. Stolní multimetry jsou k dispozici s přesností lepší než $\pm 0,01$ %. Laboratorní přesné DMM mohou mít přesnosti několika ppm. Přesnost údajů je třeba interpretovat opatrně. Přesnost analogového signálu obvykle se uvádí z plné výchylky na rozsahu. U digitálních multimetrů je obvyklé určit přesnost v procentech čtení plus procento z hodnoty plné stupnice, někdy vyjádřená v počtech spíše než procentuálně. Vyšší rozsahy DC napětí, proud, odporu, AC a další rozsahy obvykle mají nižší přesnost než základní rozsahy DCV. AC měření může splnit zadanou přesnost pouze ve stanoveném rozsahu frekvencí. Specifikace přesnosti u DMM není sjednocena a záleží vždy na výrobci. Většinou je specifikace nadepsána **accuracy**. V mnoha případech však není možné dostat od výrobce žádnou bližší informaci, co je pod pojmem

accuracy ve specifikaci míněno, ale způsobem zápisu je prakticky vždy specifikace DMM udána dvěma složkami. Například pro konkrétní DMM s rozlišením $5\frac{1}{2}$ digitů je udána specifikace $\pm (0,016 \% \text{ ze čtení} + 3 \text{ digity})$. Co to znamená? První část $0,016 \% \text{ ze čtení}$ (někdy psané MH, to je z měřené hodnoty) je složka nejistoty nebo chyby, která je úměrná k naměřené hodnotě. (Je tvořena například nepřesností zesílení nebo dělivosti vstupních děličů). V tomto případě to znamená, že hodnota bude zobrazena v rozmezí $\pm 0,016$ procent od skutečné hodnoty. Jestli přístroj zobrazí čtení $1,00000 \text{ V}$, skutečné napětí může být kdekoliv mezi $0,99984 \text{ V}$ do $1,00016 \text{ V}$. Druhá část specifikace, $\pm 3 \text{ digity}$ (někdy psané v relativních jednotkách jako MR, to je z měřeného rozsahu), počítá s nejméně významnou číslicí a různými nepotlačenými ofsety. Je v rámci rozsahu nezávislá na měřené hodnotě. V našem příkladně nebude větší, než $\pm 0,00003 \text{ V}$. Kombinací obou složek nám dává skutečnou toleranci měření od $0,99981 \text{ V}$ do $1,00019 \text{ V}$.

Specifika pro 5,5 a 6,5 místné DMM

6,5 místné DMM se již dávno nepoužívají pouze pro laboratorní účely, ale jsou díky své relativně nízké ceně, rychlé dostupnosti a poměrně široké škále modelů se širokým spektrem vlastností a technických vymožeností, nasazovány v mnoha průmyslových aplikacích,

Díky rychlejším i výkonnějším procesorům se navíc přímo do vybavení DMM přesouvá i řada možností dalšího zpracování měřených dat - jejich analýza, filtrování, korekce či interní převod na požadované výstupní údaje - standardně již DMM umožňují počítání klouzavého či opakovaného průměru z vybraného počtu měření, indikaci maximálních a minimálních hodnot v souborech měření. Některé modely využívají zobrazení měřených hodnot nejen v textové podobě, ale i v jednoduché grafické podobě, umožňující sledovat trend, případně počítají i základní statistické parametry kolem souboru naměřených dat (průměr, směrodatnou odchylku, apod.).

Průměrný představitel těchto DMM obvykle nabízí asi následující spektrum vlastností:

- stabilita, rychlost a přesnost,
- vysoký výkon: např. 2000 měření/s,
- mnohavstupový skener,
- obvykle okolo 20 samostatných funkcí,
- měření s 6,5 místným rozlišením (7,5 míst po datové sběrnici),
- měření teploty v mnoha konfiguracích,
- přehledný několikařádkový či grafický display s vícebarevnými informacemi pro lepší orientaci,
- vysokou odolnost proti rušení a šumu,
- jednoduché & zdarma poskytované drivery nebo aplikace pro PC,
- řadu volitelného příslušenství pro širokou škálu aplikací.

U většiny moderních DMM lze počítat s velice dobrou stabilitou parametrů, velkou rychlostí měření a přesností postačující i pro poměrně náročné aplikace. Toto je obvykle založeno na faktu, že současné 6,5 místné multimetry jsou obvykle navrženy s obvody se 7,5 místnou technologií, což garantuje uživateli stabilní, rychlá a přesná měření. Větší rozlišení bývá k dispozici po datové sběrnici, s využitím spíše pro sledování trendů či rychlé vzorkování, metrologická přesnost je omezena kalibrací na 6,5 míst. Vnitřní obvody moderních DMM jsou navrženy tak, aby jak rychlost vzorkování, tak rychlost datových přenosů umožnila dosažení např. výrobcem specifikovaných 2000 měření/s. Vynikající vlastnosti jejich A/D

převodníků, které jsou základem i pro vysokou odolnost proti rušení a šumu při zachování rychlosti a linearity. Některé modely DMM navíc pro kritické aplikace využívající stíněné měřicí vodiče poskytují na čelním panelu dodatečné zemnicí svorky, nebo adaptéry, umožňující pracovat s kabely s BNC konektory. U řady modelů též použití kvalitních měděných svorek a propojek vstupů a nízký samoohřev přístroje snižuje nežádoucí rušivá termonapětí a umožňuje dosáhnout výborných nejistot měření i ve ztížených průmyslových podmínkách.

Z pohledu využití DMM v automatizovaných aplikacích lze říci, že většina dostupných modelů nabízí standardně rozhraní USB a (někdy volitelně) GPIB, která slouží k jednoduché konfiguraci a komunikaci pro automatizovaná měření. K multimetrům jsou obvykle k dispozici knihovny pro přenos dat do Excelu a Wordu, jakož i ovládače pro MatLab® či LabView®. V řadě případů jsou zdarma poskytovány i jednoduché aplikace pro přímou komunikaci mezi PC a multimetrem.

Multimetry nabízí velice široký výběr měřících a matematických funkcí - například: DCI, DCV, ACI, ACV, 2 W ohm, 4 W ohm, frekvence, perioda, test diod, vodivost, teplota, limity, poměrové měření, MX+B, %, dB, dBm, Min/Max, nulování a další. Kromě těchto jsou k dispozici systémové funkce definující spouštění měření (Trigger) a paměťové funkce. Další modely přidávají např. měření kapacity, více statistických funkcí a systém má někdy už naprogramované charakteristiky sedmi typů termočlánků: J, K, T, E, N, S a R (dle referenčních tabulek z monografie NIST 175). Pro odporové teploměry bývá možnost vybrat přepočty podle ITS-90, IEC751 a Callendar-Van Dusen. Také lze definovat i uživatelem zadanou charakteristiku čidla. Při využití mnohavstupového skeneru se DMM změní v měřicí ústřednu, umožňující monitorování velkého množství samostatných teplotních bodů (např. až 10 kanálů x 2 W pro měření s termočlánky a matematických funkcí, kompenzaci srovnávacího konce pro termočlánky, atd.

Základem každého digitálního multimetru je analogově - číslicový převodník. Používá se už převážně převodník s dvojitou integrací, kdy jednu část periody se integruje napětí referenčního zdroje a druhou část periody měřené napětí. Z poměru délek obou intervalů se stanoví hodnota měřeného napětí. Tento základní princip byl při konstrukci digitálních multimetrů mnohokrát zdokonalován podle různých požadavků.

Pro nejlepší využití parametrů každého digitálního multimetru je třeba měřit na rozsahu, který umožní čtení co nejbližší plnému rozsahu a pokud je to možné, používat digitální multimetr pro poměrová měření proti přesnější referenční hodnotě raději než pro přímá měření.

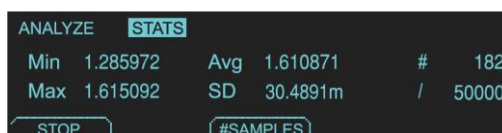
Základní funkce digitálních multimetrů jsou vždy:

- DC U měření stejnosměrného napětí,
- DC I měření stejnosměrného proudu,
- AC U měření střídavého napětí,
- AC I měření střídavého proudu,
- DC R měření stejnosměrného odporu.

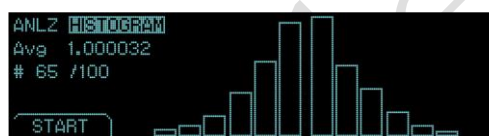
Mimo to mají digitální multimetry většinou řadu dalších doplňkových funkcí, vycházejících většinou z výše uvedených funkcí. Digitální přístroje umožňují přesnější a pohodlnější odečet, přenos dat do počítače a jejich další vyhodnocení. Pro měření speciálních aplikací

proudu je možné použití osciloskopů s proudovými sondami, které zobrazují průběh proudu v čase. Osciloskopy i měřicí sondy nedosahují přesnosti digitálních měřidel (multimetrů), přesnost je obvykle v jednotkách procent, ale naopak je s nimi možné měřit proudy o vysokých frekvencích – až do rozsahů MHz a dále je možné měřit proudové pulsy, které jsou na měřeném objektu velmi krátkou dobu (řádově až mikrosekundy). V takovém případě se používá spouštění časové základny SINGLE. Měřicí karty připojené k počítači jsou speciální měřidla, u kterých je možné měřit proud ve více kanálech současně. Programové vybavení dodávané s těmito zařízeními umožňují exportovat naměřené hodnoty

6,5 dig. DMM mají i další přednosti, zlepšující a usnadňující vyhodnocení měření



Obr. č. 35: Zobrazení min. a max. mezí a rozptylu usnadní vyhodnocení měření



Obr. č. 36: Zobrazení rozložení výsledků opakovaných měření také usnadní vyhodnocení měření. Jakákoliv odchylka od rozložení podobného normálnímu ukazuje na možný problém



Obr. č. 37: Zobrazení časového průběhu opakovaných měření pomůže k nalezení neustáleného procesu měření