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

Neprodejné

Kalibrační postup

KP 4.1.5/01/16

NÍZKOFREKVENČNÍ GENERÁTOR

Praha

Říjen 2016

Neprodejné

Vzorový kalibrační postup byl zpracován a financován ÚNMZ v rámci Plánu standardizace – Program rozvoje metrologie 2016.
Číslo úkolu: VII/2/16.

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

Řešitel: Česká metrologická společnost.

Revidoval: Doc. Ing. Jiří Horský, CSc.

© ÚNMZ, ČMS.

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

Neprodejné

1 Předmět kalibrace

Tento kalibrační postup se vztahuje na kalibraci měřicích nízkofrekvenčních generátorů sinusového průběhu napětí s kalibrovanou frekvencí a kalibrovaným výstupním napětím a zaručovaným činitelem harmonického zkreslení (dále jen generátor).
Frekvence může být udávána digitálně, odečítána ze stupnice nebo jiným způsobem. Výstupní napětí může být udáváno digitálně, pomocí analogového měřicího přístroje, kalibrovaného atenuátoru nebo jiným způsobem.
Frekvenční rozsah uvažovaných generátorů se obvykle pohybuje v rozmezí 10 Hz až 50 kHz, výstupní napětí 0 V až 10 V.
Přehled typů signálových generátorů:

Postup je určen pro:

- analogový RC nf generátor signálu.

Postup je použitelný dále i pro:

- analogové funkční generátory,
- digitální funkční generátory,
- digitální generátor v podstatě libovolného tvaru křivky (arbitrary),
- obdélníkové pulsní generátory.

Postup se netýká:

- Generátorů signálu vektorového typu,
- Vf generátorů.

2 Související normy a metrologické předpisy

TNI 010115	Mezinárodní metrologický slovník - Základní a obecné pojmy a přidružené termíny (VIM)	[1]
ČSN IEC 60050-300 (slovník IEV)	Mezinárodní elektrotechnický slovník - Elektrická a elektronická měření a měřicí přístroje - Část 311: Všeobecné termíny měření - Část 312: Všeobecné termíny elektrického měření - Část 313: Typy elektrických měřicích přístrojů - Část 314: Zvláštní termíny podle typu přístroje	[2]
ČSN EN 60359	Elektrická a elektronická měřicí zařízení - Vyjadřování vlastností	[3]
ČSN EN ISO 10012	Systémy managementu měření - Požadavky na procesy měření a měřicí vybavení	[4]
ČSN EN ISO/IEC 17025	Posuzování shody - Všeobecné požadavky na způsobilost zkušebních a kalibračních laboratoří	[5]
ČSN EN 61010-1	Bezpečnostní požadavky na elektrická měřicí, řídicí a laboratorní zařízení - Část 1: Všeobecné požadavky	[6]
EA-4/02	Vyjadřování nejistot při kalibracích	[7]
EURAMET cg-15, dříve (EA-10/15)	Pokyny ke kalibraci číslicových multimetrů	[8]
KP 6.1.3/01/05/N	Č í t a č, metodika ČMS	[9]
Lannes S. Purnell, FLUKE.	SIGNAL GENERATORS and OSCILLOSCOPE CALIBRATION	[10]

3 Kvalifikace pracovníků provádějících kalibraci

Kvalifikace pracovníků provádějících kalibraci měřidel je dána příslušným předpisem organizace. Tito pracovníci se seznámí s kalibračním postupem a souvisejícími předpisy. Proces udržování a rozvoje kvalifikace má být soustavný a dokumentovaný, jak to předepisuje ČSN EN ISO/IEC 17025:2005 bod 5.2.2 i revize CD2 ISO/IEC 17025.

Doporučuje se potvrzení odborné způsobilosti těchto pracovníků prokázat vhodným způsobem například osvědčením o odborné způsobilosti, osobním certifikátem apod. Pracovníci provádějící kalibraci elektrických měřidel musí být osobami znalými s vyšší kvalifikací ve smyslu ČSN EN 50110-1 a vyhlášky ČÚBP č. 50/78Sb., popřípadě předpisů, které je nahradí.

Neprodejné

4 Názvosloví, definice

Názvosloví a definice jsou obsaženy v příslušných normách, zejména ve slovníku VIM (TNI 01 0115) a v publikacích věnovaných metrologické terminologii (slovník IEV).

Hlavní použité pojmy:

THD
Podle IEV ref. 551-17-06 (slovník IEV) je THD poměr efektivní hodnoty vyšších složek signálu k efektivní hodnotě základní harmonické

$$THD = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + \ldots}}{U_1}.$$

THD může nabývat hodnot od nuly do nekonečna, obvykle se vyjadřuje v %.

THF
Podle IEV ref 551-17-05 (slovník IEV) je THF poměr efektivní hodnoty vyšších složek signálu k efektivní hodnotě celého měřeného signálu

$$THF = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + \ldots}}{\sqrt{U_1^2 + U_2^2 + \ldots}}.$$

THF může nabývat hodnot od nuly do jedné, obvykle se vyjadřuje v %, to je od 0% až do 100%.
Analyzátor zkreslení je označení přístroje, který neměří efektivní, ale střední hodnotu signálu po odfiltrování základní harmonické.

5 Prostředky potřebné pro kalibraci

Pozn.: Všechna použitá měřidla a měřicí prostředky musí být navázány na vhodný etalon a mít platnou dobu kalibrace. (obvyklá doba je 1 rok).

Specifikace použitých etalonů nemá způsobit složku nejistoty měření větší než je 1/4 dovolené hodnoty podle specifikace kalibrovaného přístroje.

5.1 Při kalibraci lze použít některý z následujících etalonů a pracovních měřidel:

5.1.1 **Číslicový multimetr** s rozsahy AC U v provedení true RMS s minimálním frekvenčním rozsahem 10 Hz až 50 kHz a s minimálním napěťovým rozsahem (0 až 10)V a vysokou vstupní impedancí, nejméně 1 MΩ.

5.1.2 **Čítač** s minimálním rozsahem do 100 MHz a vysokou vstupní impedancí.

5.1.3 **Měřič harmonického zkreslení** s měřicím rozsahem od 0,01 % do 10 %, frekvenčním rozsahem pro základní harmonickou 20 Hz do 0,1 MHz a pro vyšší harmonické minimálně od 20 Hz do 0,3 MHz a s vysokou vstupní impedancí.

5.1.4 **Frekvenční analyzátor** s frekvenčním rozsahem minimálně od 10 Hz do 1MHz.

Neprodejné

5.1.**5 Zatěžovací rezistor** o charakteristické impedanci kalibrovaného generátoru.

5.1.**6 Osciloskop** s šíří pásma nejméně 100 MHz.

V závislosti na dovolených základních chybách a rozsazích kalibrovaných veličin lze použít etalonových měřidel zvolených podle rozsahů, jiných než je výše uvedeno.
Největší dovolená základní chyba etalonového měřidla musí být v každém prověřovaném bodě minimálně 4x, výjimečně 3x menší, než je základní dovolená chyba měřeného parametru.
Etalonové měřidlo musí mít takovou rozlišovací schopnost (nebo takový počet číslic), aby umožňovalo odečítání údajů s rozlišením minimálně 0,1 dovolené chyby měřeného parametru.
Krátkodobá stabilita etalonových měřidel musí být taková, aby během dvou minut nepřesáhla 0,1 dovolené chyby měřeného parametru kalibrovaného generátoru.

Doporučené typy:

- číslicový multimetr šesti, pěti nebo vícemístný,
- čítač, nejméně šestimístný,
- měřič zkreslení,
- spektrální analyzátor nízkofrekvenční.

Poznámka: při použití analyzátoru zkreslení se podstatně zvýší nejistota měření (analyzátor zkreslení je měřič zkreslení, který měří střední hodnotu signálu.

5.2 Ke kalibraci jsou dále potřebné následující pomůcky:
5.2.1 Teploměr, s rozlišením min. 0,1 ºC, kalibrovaný pro rozsah 20°C až 25°C,
5.2.2 Vlhkoměr s měřicím rozsahem (0 až 100) % *RH*,
5.2.3 K čistění je nutno použít vhodné čisticí prostředky.
5.2.4 Pomůcky uvedené v čl. 5.1 a 5.2 musí mít platnou kalibraci.

6 Obecné podmínky kalibrace

Kalibrace generátoru se provádí za následujících referenčních podmínek:

- teplota prostředí 23 ^{o}C ± 2 ^{o}C,
- relativní vlhkost vzduchu 30 % *RH* až 60 % *RH*,
- napájecí napětí kalibrovaného generátoru po dobu zkoušky má mít:
    - jmenovitou hodnotu ±5 %,
    - sinusový průběh s činitelem harmonického zkreslení menším než 5 %.

Referenční podmínky je nutné před zahájením kalibrace, v jejím průběhu a po skončení kontrolovat.
Stav napájecí sítě se kontroluje v rámci systému, cca jednou ročně.
Kontrola okolní teploty se provádí teploměry s rozlišením alespoň 0,1 ºC.
Pro kontrolu vlhkosti se použije vlhkoměr pro měření relativní vlhkosti s rozsahem (0 až 100) % *RH*.

Neprodejné

7 Rozsah kalibrace

Rozsah kalibrace je nutné předem odsouhlasit se zákazníkem, viz norma ISO/IEC 17025: 2005 část 4.4 Přezkoumání poptávek, nabídek a smluv nebo předpokládaná revize ISO/IEC 17025: 2018 (část 7.1.1.). v návrhu CD2 ISO/IEC 17025.

V rámci kalibrace generátoru je třeba postupovat následovně:

- provést kalibraci nf generátoru podle článku 7.1 až 7.5 tohoto kalibračního postupu,
- na základě výsledku výše uvedené kalibrace rozhodnout, zda je zapotřebí provést justování generátoru a v případě potřeby je vykonat, pokud je možné, podle justovacího postupu nebo dokumentace výrobce generátoru,
- po justování provést novou kalibraci podle článku 7.1 až 7.5 tohoto kalibračního postupu,
- zaznamenávat výsledky každé provedené kalibrace.

Tento kalibrační postup pojednává jen o kalibraci generátoru a nezabývá se jeho justováním, které je závislé na konkrétním typu přístroje.

Při kalibraci generátoru se provádějí následující zkoušky:

Postup pro **analogový RC nf generátor signálu** zahrnuje:

7.1 Vnější prohlídka (metodika čl. 9.2).

7.2 Kontrola provozuschopnosti (metodika čl. 9.3).

7.3 Kontrola výstupní úrovně a frekvenční charakteristiky (metodika čl. 9.4).

7.4 Kontrola frekvence výstupního napětí (metodika čl. 9.5).

7.5 Kontrola činitele harmonického zkreslení výstupního napětí (metodika čl. 9.6) nebo obsahu vyšších harmonických (metodika čl. 9.7).

Postup pro **analogové funkční generátory** zahrnuje:

7.1 Vnější prohlídka (metodika čl. 9.2).

7.2 Kontrola provozuschopnosti (metodika čl. 9.3).

7.3 Kontrola výstupní úrovně a frekvenční charakteristiky (metodika čl. 9.4).

7.4 Kontrola frekvence výstupního napětí (metodika čl. 9.5).

Podle dohody se zákazníkem může být zahrnuto i

7.5 Kontrola činitele harmonického zkreslení výstupního napětí (metodika čl. 9.6) nebo obsahu vyšších harmonických (metodika čl. 9.7).

Postup pro **digitální funkční generátory a pro digitální generátor v podstatě libovolného tvaru křivky (arbitrary) a pro obdélníkové pulsní generátory** zahrnuje:

7.1 Vnější prohlídka (metodika čl. 9.2).

7.2 Kontrola provozuschopnosti (metodika čl. 9.3).

Neprodejné

7.3 Kontrola výstupní úrovně a frekvenční charakteristiky (metodika čl. 9.4.2) s tím rozdílem, že místo multimetru se použije osciloskop.

7.4 Kontrola frekvence výstupního napětí (metodika čl. 9.5.2) s tím rozdílem, že na jednom (základním) rozsahu se změří i náběh frekvence (pro časy od asi 10 minut do 1 hodiny po zapnutí) a na ostatních se měří frekvence jen ve středu rozsahu a na krajních rozsazích se měří i nejmenší a největší nastavitelná frekvence.

8 Kontrola dodávky a příprava ke kalibraci

8.1 Kontrola dodávky

Zakázka na kalibraci se při přebírání přezkoumává podle ČSN EN ISO/IEC 17025, odst. 4.4.
Přezkoumání má potvrdit, že laboratoř má nezbytné fyzické, lidské a informační zdroje, a že pracovníci laboratoře mají dovednosti a odborné znalosti potřebné k provádění příslušných kalibrací. Laboratoř musí vytvořit a udržovat postupy pro přezkoumávání poptávek, nabídek a smluv. Jakékoli rozdíly mezi poptávkou nebo nabídkou a smlouvou musí být dořešeny před zahájením prací. Každá smlouva musí být přijatelná jak pro laboratoř, tak zákazníka. Při přebírání přístroje ke kalibraci je třeba zjistit, zda typ, výrobní číslo a příslušenství dodaného generátoru odpovídá údajům uvedeným v objednávce nebo dodacím listu. Současně se provede jeho předběžná kontrola, spočívající ve vnější prohlídce a kontrole provozuschopnosti přístroje. Kontroluje se je-li přístroj nastaven na napájení 230V a dále mechanická nepoškozenost připojovacích konektorů a jejich čistota (v případě potřeby se vyčistí).

8.2 Čištění a předběžná kontrola

Při přebírání generátoru ke kalibraci je třeba, aby odpovědný pracovník kalibrační laboratoře posoudil, zda typ, výrobní číslo a příslušenství dodaného generátoru odpovídá údajům uvedeným na objednávce nebo dodacím listu. Současně se provede přezkoumání smlouvy z pohledu požadavků zákazníka a možností laboratoře.
Současně se provede předběžná kontrola, spočívající ve vnější prohlídce přístroje.

8.3 Příprava měřidla

Generátory nevyžadují speciální přípravná opatření. Doporučuje se uskladnit přístroj v prostředí laboratoře nejméně 1 den před začátkem kalibrace.

9 Postup kalibrace

9.1 Příprava generátoru ke kalibraci

Před započetím zkoušení se musí vykonat tyto úkony:

9.1.1 Kalibrovaný generátor se umístí do prostředí s teplotou a vlhkostí vzduchu dle čl. 6. a ponechá se v něm po dobu nejméně 8 hodin. Pak se přemístí na zkušební pracoviště.

9.1.2 Kalibrovaný generátor se připraví na zkoušení v souladu s jeho technickou dokumentací.

Neprodejné

9.1.3 Po připojení na napájení se musí generátor ustalovat při referenčních podmínkách po dobu náběhu. Není-li doba náběhu stanovena v dokumentaci dodávané s přístrojem, ustaluje se minimálně po dobu 30 minut.

9.1.4 Je-li to potřebné, provede se nastavení generátoru podle pokynů uvedených v jeho dokumentaci.

9.2 Vnější prohlídka

Při převzetí přístroje od zadavatele kalibrace se zjišťuje, zda byl dodán s potřebnou dokumentací a potřebným příslušenstvím Zjišťuje se nepoškozenost generátoru, spolehlivé upevnění připojovacích svorek, úplnost příslušenství a dokumentace dodávané s generátorem a kontroluje se, zda jsou čitelné všechny stupnice, nápisy a značky generátoru.

9.3 Kontrola provozuschopnosti

9.3.1 Zjistí se, zda všechny ovládací prvky mechanicky správně pracují.

9.3.2 Zjistí se, zda generátor na všech frekvenčních a napěťových rozsazích elektricky správně pracuje. U plynule přesaditelného analogového RC generátoru nesmí dojít k výpadku funkce ani v krajních nekalibrovaných polohách stupnice.

9.3.3 Zjistí se, zda lze na generátoru nastavit minimální a maximální hodnotu výstupního napětí na všech frekvenčních rozsazích.

9.3.4 Pokud se zjistí při vnější prohlídce nebo kontrole provozuschopnosti na generátoru závady, v kalibraci se nepokračuje, informuje se zákazník a přístroj se podle jeho pokynů vrátí nebo předá k opravě nebo vyřazení.

Následující postup je určen pro:
analogový RC nf generátor signálu.
Postup je použitelný i pro:
analogové funkční generátory, kde však nejsou obvykle velké požadavky na měření zkreslení a po dohodě se zákazníkem se toto měření (bod 9.6) může vynechat.

9.4. Kontrola výstupní úrovně a frekvenční charakteristiky

9.4.1 Na výstup zkoušeného generátoru se připojí multimetr ve funkci nízkofrekvenčního voltmetru paralelně se zatěžovacím rezistorem.

9.4.2 Na zkoušeném generátoru se nastaví frekvence 1 kHz nebo jiná nejčastěji používaná frekvence. Přepínačem rozsahů a plynulým děličem, případně jiným způsobem podle typu generátoru, se nastavuje na vestavěném měřidle výstupního napětí nebo na stupnici atenuátoru generátoru zkoušená hodnota výstupního napětí a na připojeném multimetru se odečítá její konvenční hodnota.
Na základním nebo nejčastěji používaném napěťovém rozsahu se provede měření na 5 kontrolních bodech přibližně rovnoměrně rozdělených na stupnici, z nichž jeden odpovídá nulové nebo minimální hodnotě a druhý maximální hodnotě stupnice. Na ostatních napěťových rozsazích se provede kalibrace ve dvou bodech, z nichž jeden se rovná přibližně polovině a druhý maximální hodnotě stupnice.

9.4.3 Při zjišťování frekvenční charakteristiky se přepínačem rozsahů a prvkem pro jemné nastavování frekvence, případně jiným způsobem podle typu zkoušeného generátoru, nastavuje na všech frekvenčních rozsazích postupně jejich začátek, střed a konec.

Neprodejné

Při každé z uvedených frekvencí se nastaví výstupní napětí na 1 V nebo na nejčastěji používanou hodnotu a na multimetru připojeném na výstupní svorky generátoru se odečítá konvenční hodnota výstupního napětí generátoru.

9.5 Kontrola frekvence výstupního napětí

9.5.1 Na výstup zkoušeného generátoru se připojí čítač paralelně se zatěžovacím rezistorem.
Příslušnými regulačními prvky se nastavuje frekvence generátoru a na připojeném čítači se odečítá konvenční hodnota frekvence jeho výstupního napětí.
Kontrola frekvence se provádí na třech bodech každého frekvenčního rozsahu (začátek, střed a konec), při výstupním napětí 1 V nebo jiné vhodné hodnotě.

9.5.2 Kontrolu frekvence výstupního napětí lze provádět současně s kontrolou výstupní úrovně generátoru.

9.5.3 Pokud digitální generátor obsahuje jako referenční zdroj pro frekvenci krystalový oscilátor je kalibrace frekvence provedena podrobněji a podle typu provedení oscilátoru (XO, TCXO, OCXO). Využije se při tom metodika pro kalibraci čítačů [9].

9.6 Kontrola činitele harmonického zkreslení výstupního napětí

9.6.1 Nelineární zkreslení signálu periodického průběhu můžeme zjišťovat:
9.6.1.1 měřením činitele nelineárního zkreslení - zajímá-li nás celkové harmonické zkreslení, při tom na analogovém výstupu měřiče (pokud je jím měřič vybaven) sledujeme hlavní složky zbytkového signálu a uvedeme je do poznámky v kalibračním listu. Zkreslení měříme pro nastavení plynulého regulátoru na maximální napětí a výstup naprázdno. Pak prověříme při zatížení výstupu jmenovitou zatěžovací impedancí, zda se zkreslení podstatně nezvýší. Pokud ano, toto kontrolní měření uvedeme i do kalibračního listu. Filtry měřiče nastavujeme podle dohody se zákazníkem. V obvyklém měření se používá filtr dolní zádrž pro potlačení zbytků 50 Hz až 200Hz při měření od 1kHz výše a filtr horní zádrž, obvykle 80 kHz pro měření základní složky do 20 kHz.

9.6.1.2 provedením harmonické analýzy, pokud to vybavení laboratoře umožní. V tomto případě uvedeme do protokolu relativní úroveň složek, které jsou ve zkreslení dominantní a dohodneme se zákazníkem, zda uvést i THD. Pak musí být uvedeno, pro kolik složek je THD počítáno. Obvykle postačí 2. a 3. harmonická.

9.6.2 Činitel nelineárního zkreslení měřený běžnými analogovými měřiči harmonického zkreslení je definován vztahem

$$THF = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + \ldots}}{\sqrt{U_1^2 + U_2^2 + \ldots}}.$$

Takto určený činitel harmonického zkreslení udává poměr efektivní hodnoty napětí všech vyšších harmonických složek k efektivní hodnotě napětí všech harmonických složek zkoušeného signálu (včetně celého pozadí) i neharmonických složek, jako je šum a rušení.

Doporučení: Vždy, pokud to měřič zkreslení umožňuje, sledujeme osciloskopem, co jsou dominantní složky zkreslení a udáme je do poznámky v kalibračním listu.

Neprodejné

Pokud měřič zkreslení neměří efektivní, ale střední hodnotu, započteme to do nejistoty. Zvýšení nejistoty nejde stanovit předem, protože závisí na mnoha konkrétních okolnostem, obvykle je nejistota asi 15% vyšší než u měřiče s detektorem true RMS.

Poznámka: mezi efektivní a střední hodnotou harmonického signálu je rozdíl 11%, některé typy měřičů ale používají korekci jen 5%.

9.6.3 Při použití měření jednotlivých složek spektra harmonického zkreslení může být vztah pro zkreslení definován vztahem

$$THD = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + ...}}{U_1} \quad .$$

V tomto případě udává činitel harmonického zkreslení poměr efektivní hodnoty napětí všech vyšších harmonických složek k efektivní hodnotě napětí základní harmonické složky zkoušeného signálu.
Provádíme-li harmonickou analýzu periodického signálu, můžeme pro výpočet činitele harmonického zkreslení použít tuto definici.

9.6.4 Mezi oběma hodnotami (THD a THF) platí vztah uvedený v příloze.

Pro zkreslení nepřesahující 1 procento je rozdíl mezi výsledky podle obou definic menší než nejistota měření (pozor, analogové měřiče THF měří i další složky signálu).

9.6.5 Na výstup zkoušeného generátoru se připojí měřič harmonického zkreslení naprázdno a ve druhém kroku paralelně se zatěžovacím rezistorem.

9.6.6 Frekvence generátoru se nastavuje postupně přibližně na středy jeho frekvenčních rozsahů nebo na zvolené frekvence a výstupní napětí generátoru se nastaví na jeho maximální hodnotu. Vždy měříme i na nejnižší frekvenci generátoru a na nejvyšším rozsahu frekvence také pro 50 %, 70 % a 100 % z nastavené frekvence.

9.6.7 Na měřiči harmonického zkreslení se zjišťuje hodnota činitele harmonického zkreslení výstupního napětí. Pokud je naměřené zkreslení pod 0,05 %, uvedeme i vlastní zkreslení použitého měřiče.

9.7 Kontrola obsahu vyšších harmonických

9.7.1 Na výstup zkoušeného generátoru se připojí frekvenční analyzátor paralelně se zatěžovacím rezistorem.

9.7.2 Frekvence generátoru se nastavuje postupně přibližně na středy jeho frekvenčních rozsahů nebo na zvolené frekvence a výstupní napětí generátoru se nastaví na jeho maximální hodnotu.

9.7.3 Na připojeném frekvenčním analyzátoru se zjišťuje hodnota napětí základního harmonického signálu a hodnoty napětí jemu odpovídajících vyšších harmonických signálů. Vždy měříme i na nejnižší frekvenci generátoru a na nejvyšším rozsahu frekvence pro 50 %, 70 % a 100 % z nastavené frekvence.

Neprodejné

10 Vyhodnocení kalibrace

Kalibrační list se musí vztahovat pouze k veličinám a výsledkům kalibrací a funkčních zkoušek. Jestliže bylo vypracováno vyjádření o souladu se specifikací, musí být identifikováno, které články specifikace jsou splněny a které nejsou splněny, podle ILAC-G08:03/2009 Pokyny k uvádění shody se specifikací (Guidelines on the Reporting of Compliance with Specification, 2009).
Pokud je vypracováno vyjádření o shodě se specifikací, přičemž jsou vynechány výsledky měření a s nimi spojené nejistoty, musí laboratoř tyto výsledky zaznamenat a udržovat jejich záznamy pro další možnou potřebu.
Pokud jsou vypracována vyjádření o shodě, musí být vzata v úvahu nejistota měření.
Jestliže se přístroj, který se má kalibrovat, bude justovat nebo opravovat, musí být uvedeny výsledky kalibrace získané před a po justování nebo opravě, pokud jsou k dispozici.
Kalibrační list nesmí obsahovat žádné doporučení týkající se intervalu kalibrace s výjimkou doporučení, které bylo odsouhlaseno zákazníkem.

10.1 Postup vyhodnocení

Kalibrační laboratoř vede záznamy, v nichž kromě jiného uvádí:

- konkrétní udání použitého zdroje specifikace,
- měřicí rozsahy, na nichž je kalibrace prováděna,
- frekvence a výstupní napětí nastavené na kalibrovaném generátoru,
- odpovídající konvenční hodnota napětí a frekvence tj. napětí udávané multimetrem a frekvence udávaná čítačem,
- zjištěná hodnota činitele harmonického zkreslení nebo obsahu harmonických,
- uvede se poznámka, které jsou převažující složky zkreslení (2. nebo3. harmonická, šum nebo rušení na násobcích 50 Hz),
- dovolené chyby parametrů zkoušeného generátoru v jednotlivých kontrolních bodech vyjádřené v procentech,
- zjištěné chyby parametrů zkoušeného generátoru v jednotlivých kontrolních bodech vyjádřené v procentech,
- nejistota kalibrace.

10.2 Rozhodnutí o výsledku kalibrace

V organizacích, v nichž vedoucí kalibrační laboratoře vykonává současně funkci metrologa organizace na základě vyhodnocení zkoušených bodů uvedených v kapitole 7 rozhodne vedoucí kalibrační laboratoře, zda kalibrovaný přístroj vyhovuje nebo nevyhovuje všem požadavkům na něj kladeným. Výsledek rozhodnutí je uveden v kalibračním listu.

10.3 Postup v případě neshody

V případě, že kalibrovaný generátor nevyhověl na některém měřicím rozsahu při zkoušce základní chyby požadavkům na něj kladeným o méně, než 50 % dovolené základní chyby, může jej vedoucí kalibrační laboratoře přeřadit do třídy odpovídající dvojnásobku dovolené základní chyby generátoru. Přeřazení je podmíněno tím, že kalibrační laboratoř má prověřeno, že do příští kalibrace se nezvýší základní chyba zkoušeného generátoru na více než dvojnásobek jeho dovolené základní chyby. V tom

Neprodejné

případě však musí být změna v zařazení viditelně označena, obvykle štítkem na přední části generátoru a v kalibračním listu musí být učiněn patřičný záznam.
Nejsou-li splněny výše uvedené podmínky nebo nevyhověl-li kalibrovaný generátor jiným požadavkům, předává vedoucí kalibrační laboratoře objednateli kalibrace návrh na opravu nebo na vyřazení generátoru.
Postup uváděný v bodech 10.2 a 10.3 se používá v organizacích, v nichž vedoucí kalibrační laboratoře vykonává současně funkci metrologa organizace. V jiných případech provádí příslušná rozhodnutí zástupce (obvykle metrolog) organizace, která objednala kalibraci generátoru.

11 Kalibrační list

11.1 Náležitosti kalibračního listu

Kalibrační list by měl obsahovat minimálně následující údaje:
a) název a adresu kalibrační laboratoře,
b) pořadové číslo kalibračního listu, očíslování jednotlivých stran, celkový počet stran,
c) jméno a adresu zadavatele, popř. zákazníka,
d) název, typ, výrobce a identifikační číslo kalibrovaného nízkofrekvenčního generátoru,
e) datum přijetí nízkofrekvenčního generátoru ke kalibraci, datum provedení kalibrace a datum vystavení kalibračního listu,
f) určení specifikace uplatněné při kalibraci nebo označení kalibračního postupu (v tomto případě KP 4.1.5/01/16),
g) podmínky, za nichž byla kalibrace provedena (hodnoty ovlivňujících veličin apod.),
h) měřidla použitá při kalibraci,
i) obecné vyjádření o návaznosti výsledků měření,
j) výsledky měření a s nimi spjatou nejistotu měření nebo prohlášení o shodě s určitou metrologickou specifikací,
k) jméno pracovníka, který nízkofrekvenční generátor kalibroval, jméno a podpis odpovědného (vedoucího) pracovníka, razítko kalibrační laboratoře.

Vyjádření o nejistotě měření, které podle ILAC-P14:01/2013 bod 6.3 může mít tvar
„Uvedená rozšířená nejistota měření je součinem standardní nejistoty měření a koeficientu k, který odpovídá pravděpodobnosti pokrytí přibližně 95 %.“

Kalibrační listy musí též obsahovat na každé stránce číslo stránky a celkový počet stránek.
Další doporučení:
Doporučuje se, aby laboratoře začlenily vyjádření stanovující, že kalibrační list nesmí být bez písemného souhlasu laboratoře reprodukovány jinak než celý.
Kalibrační list nesmí obsahovat žádné doporučení týkající se intervalu kalibrace s výjimkou doporučení, které bylo předem odsouhlaseno zákazníkem.

11.2 Protokolování

Originál kalibračního listu se předá zadavateli kalibrace. Kopii kalibračního listu si ponechá kalibrační laboratoř a archivuje ji po dobu nejméně pěti let nebo po dobu stanovenou zadavatelem zároveň se záznamem o kalibraci. Doporučuje se archivovat záznamy a kalibrační listy chronologicky. Výsledky interní neakreditované kalibrace

Neprodejné

se mohou v souladu s případnými podnikovými metrologickými dokumenty zanášet do kalibrační karty měřidla nebo ukládat do vhodné elektronické paměti.

11.3 Umístění kalibrační značky

Po provedení kalibrace se přístroj opatří kalibrační značkou – štítkem podle vzoru, používaného v laboratoři. Kalibrační štítek je třeba na přístroj umístit viditelně.

Na štítku je **uvedeno číslo kalibračního listu, datum provedené kalibrace podpis pracovníka,** který prováděl kalibraci **a identifikace kalibrační laboratoře**.

V případě, že je výsledek kalibrace nevyhovující, označí se měřidlo štítkem **NEVYHOVUJE.**
V případě, že je výsledek kalibrace nepokrývá měření v celém rozsahu specifikací, použije se štítek s označením **NEÚPLNÁ KALIBRACE.**
Pokud to není výslovně uvedeno v některém interním podnikovém metrologickém předpisu pro interní kalibrace nebo ve smlouvě se zákazníkem, nesmí kalibrační laboratoř uvádět na svém kalibračním štítku datum příští kalibrace. Stanovení kalibrační lhůty měřidla je právem a povinností uživatele.

11.4 Převzetí ke kalibraci a předání kalibrovaného generátoru

Převzetí generátoru ke kalibraci stvrzuje pracovník kalibrační laboratoře svým podpisem na kopii objednávky nebo na formuláři k tomu určenému.
Po skončení kalibrace generátoru stvrzuje zákazník svým podpisem na příslušném formuláři nebo do knihy zakázek jeho převzetí.
V obou případech se k podpisům připojují příslušná data.

11.5 Reklamace

V případě, že objednatel kalibrace podá stížnost na provedenou kalibraci, tuto přebírá vedoucí kalibrační laboratoře, v době nepřítomnosti jeho zástupce. Stížnost se může týkat rozsahu nebo správnosti provedené kalibrace, úplnosti nebo správnosti předaného kalibračního listu, úplnosti vráceného generátoru, případně výše fakturace za provedenou kalibraci.
Povinností vedoucího kalibrační laboratoře je analyzovat stížnost, na jejím základě učinit příslušná opatření a s nimi bez prodlení seznámit objednatele kalibrace.
Nebyly-li při analýze shledány závady, je o tom objednatel kalibrace informován také.
Pokud je stížnost oprávněná a jedná se o rozsah nebo správnost kalibrace, provede laboratoř novou, bezplatnou kalibraci a vystaví nový kalibrační list. V ostatních případech oprávněné stížnosti se provedou příslušná opatření.

11.6 Neshodné výsledky kalibrace

Pokud laboratoř zjistí, například při rekalibraci etalonu, že prováděla chybné (neshodné) kalibrace, je její povinnost provést nápravná opatření a informovat také zákazníka, pro kterého mohly být neshodné práce provedeny, viz také ČSN EN ISO/IEC 17025 bod 4.9 a 4.11.

12 Péče o kalibrační postup

Originál kalibračního postupu je uložen u jeho zpracovatele, další vyhotovení jsou předána příslušným pracovníkům podle rozdělovníku.

Neprodejné

Změny, popř. revize kalibračního postupu je oprávněn provádět jeho zpracovatel, změny schvaluje vedoucí zpracovatele (vedoucí kalibrační laboratoře nebo metrolog organizace, Technický vedoucí, signátor).

13 Rozdělovník, úprava a schválení, revize

13.1 Rozdělovník

Kalibrační postup		převzal		
Výtisk číslo	Obdrží útvar	Jméno	Podpis	Datum

13.2 Úprava a schválení

Kalibrační postup	Jméno	Podpis	Datum
Upravil			
Schválil			

13.3 Revize

Strana	Popis změny	Zpracoval	Schválil	Datum

14 Stanovení nejistoty měření (příklad výpočtu)

14.1 Výpočet nejistoty měření pro stanovení frekvence generátoru

Stanovení nejistot měření je zpracováno v souladu s dokumentem EA 4/02. Jedná se o přímé měření frekvence. Nejistota měření představuje odhad té části vyjadřovaných výsledků měření, která charakterizuje rozmezí hodnot, v němž leží skutečná hodnota měřené veličiny s danou pravděpodobností.
Příklad:

Příklad výpočtu nejistoty pro měření frekvence generátoru AGILENT 33220A,

Nastaveno:
Generátor: AGILENT 33220A,
Frekvence: 50 kHz,
výstupní napětí: 1V.

Neprodejné

Jako etalonový čítač je použit čítač AGILENT 53131A, nezavěšený ne přijímač GPS.

Při přímém měření frekvence generátoru například při 50 kHz byla při měrném intervalu t = 10 s na displeji čítače odečtena frekvence 50 000,15 Hz.

Z kalibračního listu je známo, že frekvence časové základny čítače má relativní chybu $-2{,}2.10^{-6}$.

Nejistota kalibrace čítače je podle kalibračního listu pro hodnotu 50 kHz rovna 0,0022 Hz pro k = 2.

Ostatní vlivy ovlivňující přesnost čítače (stabilita časové základny, chyba spouštění atd.) jsou zahrnuty v nejistotě kalibrace čítače.

Nejistota typu A:

Vzhledem k tomu, že údaj na displeji čítače je stabilní a všechny odměry mají stejnou hodnotu, je nejistota typu A nulová.

Nejistota typ B:

Vliv odečítání hodnoty (rozlišitelnost čítače) u_{B1}:

Každý měřicí přístroj má konečnou rozlišovací schopnost, jejíž vliv se podílí na výsledné celkové nejistotě. Standardní nejistota u_1 má rovnoměrné pravděpodobnostní rozdělení a je určena vztahem:

$$u_{B1} = \frac{b}{\sqrt{3}} = \frac{0{,}005}{\sqrt{3}} = 0{,}0029\,\text{Hz},$$

b = ½ poslední platné číslice displeje u číslicového měřidla.

Vliv nejistoty kalibrace čítače:
Etalonový čítač má v kalibračním listu, pro daný rozsah měření a danou měřenou hodnotu, uvedenou rozšířenou nejistotu pro koeficient rozšíření k = 2. Standardní nejistota u_2 má normální pravděpodobnostní rozdělení a její velikost určíme pomocí vztahu:

$$u_{B2} = \frac{U}{2} = 0{,}0011 \text{ Hz}.$$

Ostatní vlivy, které ovlivňují celkovou nejistotu kalibrace (teplota okolí atd.) lze zanedbat.

Standardní nejistota kalibrace bude:

$$u = \pm\sqrt{u_{B1}^2 + u_{B2}^2} = \pm\sqrt{0{,}0029^2 + 0{,}0011^2} = \pm 0{,}031 \text{ Hz}.$$

Rozšířená nejistota měření U se stanoví vynásobením celkové standardní nejistoty koeficientem rozšíření k:

$$\boldsymbol{U} = k \cdot u(U).$$

V případě, kdy lze usuzovat na normální (Gaussovo) rozdělení měřené veličiny a kdy celková standardní nejistota je stanovena s dostatečnou spolehlivostí, je třeba použít

Nerodejné

standardní koeficient rozšíření k = 2. Takto stanovená rozšířená nejistota odpovídá pravděpodobnosti pokrytí asi 95%.

Rozšířená nejistota kalibrace bude:

$$\boldsymbol{U} = 2 \,.\, 0{,}0031 = 0{,}0062 \text{ Hz}.$$

Změřená frekvence tedy bude:

$$f = 50\,000{,}152.\,(1 - 2{,}2 \,.\, 10^{-6}) = 50\,000{,}042 \text{ Hz}.$$

Změřená frekvence s vyjádřením nejistoty tedy bude:

$$\boldsymbol{f = (50\,000{,}042 \pm 0{,}006) \text{ Hz}}$$

Stejným způsobem je možno pokračovat ve stanovení nejistot při dalších kalibrovaných frekvencích.

15 Validace

Kalibrační metody podléhají validaci v souladu s normou ČSN EN ISO/IEC 17 025 čl. 5.4.

Změny proti předchozímu vydání

Tento kalibrační postup byl revidován s přihlédnutím k novým metrologickým předpisům a normám a podle připomínek uživatelů. Dále byl doplněn o příklad stanovení nejistoty měření při kalibraci a údaj o validaci použité metody.

Upozornění

Tento kalibrační postup byl zpracován, revidován a posouzen v rámci úkolu rozvoje metrologie, řešeném pro Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví pod číslem VII/2/16. Nesmí být rozmnožován ani předáván jiným organizacím a subjektům bez souhlasu ÚNMZ a ČMS.

Kalibrační postup je třeba považovat za vzorový. Doporučuje se, aby jej organizace přizpůsobila svým požadavkům s ohledem na své metrologické vybavení a konkrétní podmínky. V tomto případě je třeba kalibrační postup znovu validovat.

Neprodejné

16 Přílohy

Přílohy jsou uvedeny pouze pro informaci a k doplnění znalostí v rámci vzdělávání.

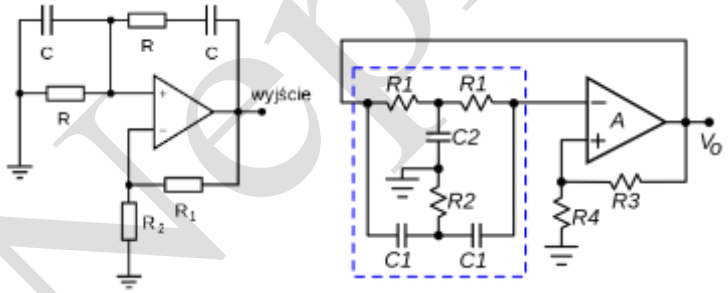
Nízkofrekvenční signální generátory

Existuje několik různých typů generátoru signálu. I když všechny vytvářejí elektronické signály a křivky, různé typy signálních generátorů jsou používány pro různé aplikace. Různé typy generátoru signálu mají také velmi různé zapojení, Výsledkem je, že různé typy generátoru signálu mají velmi odlišné úrovně schopnosti a funkčnost.

Přehled typů generátorů nf signálů.
Souhrny různých typů generátor signálu jsou uvedeny níže:

1. **RC nf generátor signálu,**
2. **analogové funkční generátory,**
3. **digitální funkční generátory,**
4. **digitální generátor v podstatě libovolného tvaru křivky,**
5. **pulsní generátory (obdélníkové).**

RC nf generátor signálu: Jak už název napovídá tento typ generátoru signálu se používá pro audio aplikace, typicky od asi 20 Hz do 20 kHz a více. Často se používají v audio měření frekvenční odezvy a pro měření zkreslení. V důsledku toho musí mít velmi ploché frekvenční závislosti a také velmi nízké úrovně harmonického zkreslení.
Funkční generátor: Funkce generátoru je typ generátoru signálu, který se používá ke generátoru jednoduchých opakujících se průběhů. Obvykle se tento typ signálový generátor bude produkovat průběhy nebo funkce, jako je sinusová vlna, pilovitých průběhů, obdélníkových a trojúhelníkových průběhů.
Analogové funkční generátory, které produkovaly tyto průběhy přímo (obsahovaly integrátor, komparátor a tvarovač pro úpravu trojúhelníkového na sinusový průběh.

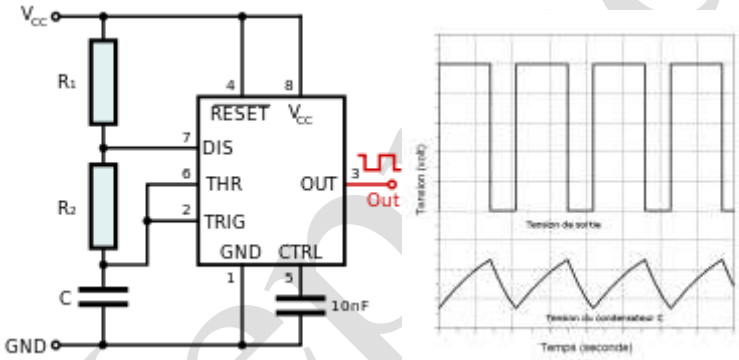


Je dobře známo, ve dvou konfiguracích. První z nich je nazýván **Wien most** oscilátor. Tento systém využívá dva RC-obvody, pořadové RC-komponentů a jeden paralelní RC-komponentů. mostní oscilátory Wien jsou často používány v audio signálů, protože může být snadno upravit dvoudílné nebo dvoudílný proměnného kondenzátoru variabilní potenciometr Druhý návrh se nazývá známý generátor **s dvojitým T mostu**, protože používá dva T-RC-obvod, který je součástí paralelně. Jeden řetěz je T-R-C-R-řetězec, který působí jako filtr, který prochází nízké frekvence. Druhý okruh je T-C-R-C-obvod, který působí jako filtr, který prochází vysoké frekvence. Společně tyto tvoří můstkové zapojení, který je konfigurován pro generování požadovaný kmitočet.
Jsou-li RC-oscilátory používá k výrobě nenarušené hospodářské sinusoidu, oni obecně vyžadují nějaký druh zařízení pro **řízení amplitudy**. Mnoho vývoj jednoduše pou-

Neprodejné

žít **žárovku nebo termistor** v začarovaném kruhu. Tyto generátory využít skutečnosti, že odpor s wolframovým vláknem se zvyšuje v poměru k jejich teplota termistoru funguje podobným způsobem. Výrazně pod proudem, při kterém vlákno svítí ve skutečnosti zvýšit amplitudu signálu zpětné vazby se zvyšuje proud, který teče do vlákna, čímž se zvýší odpor vlákna. Zvýšená odolnost k vláknu snižuje zpětnovazební signál omezením generátoru signálu k lineárnímu domény.
Sofistikovanější generátory měření výstupní úrovně a použít jej jako zpětná vazba pro řízení zisku zesilovače napětí řízeného uvnitř generátoru.

Digitální funkční generátory mohou používat digitální techniky zpracování signálu pro generování průběhů digitálně a následně je převést z digitálního na analogový formát.
Generátor libovolného tvaru vlny: je typ generátoru signálu, který vytváří velmi propracované křivky, které mohou být zadané uživatelem. Tyto křivky mohou mít téměř jakýkoliv tvar a mohou být provedeny mnoha různými způsoby.
digitální generátor v podstatě libovolného tvaru křivky lze považovat za velmi sofistikovanou funkci generátoru. Je podstatně složitější, Generátory libovolné křivky jsou dražší než generátory funkcí, a často je jejich šířka pásma omezena z důvodu požadovaných v technikách na vytváření signálů.
Generátor impulsů: Jak už název napovídá, generátor pulsu je forma generátoru signálu, který vytváří impulsy. Tyto signálové generátory mohou produkovat pulzy s variabilními zpožděními a některé dokonce nabízejí variabilní doby náběhu a poklesu impulsu.



NE555 je integrovaný obvod používaný nejčastěji jako jednoduchý generátor různých pravoúhlých signálů. Byl navržen už v roce 1970. Obvod obsahuje dva komparátory a jeden klopný obvod (KO) na výstupu. Komparační úrovně jsou odvozeny z děliče napětí sestávajícího ze tří 5 kΩ rezistorů. Přestože byl původně navržen pro časovací účely, je tak univerzální, že se dá použít na obrovské množství aplikací jako např. generátory zvuků, měřiče kmitočtů, převodníků, atd..
Astabilní klopný obvod je impulzní generátor, na jehož výstupu se nepřetržitě střídají úrovně napětí (logická nula a jedna). Zapojení využívá analogové napětí na kondenzátoru, který se periodicky nabíjí a vybíjí.

Nelineární zkreslení harmonického signálu

THD a THF.
Používají se současně dvě definice zkreslení.
THD je veličina definující zkreslení sinusového signálu. Název vychází z anglické zkratky **total harmonic distortion**, což lze přeložit jako *celkové harmonické zkreslení*
Definice podle IEC 60050 (a souběžný slovník IEV) jsou dvě různé definice zkreslení.
Problém je, že platný název a zkratka veličiny THF podle slovníku u nás není vžitý a nevyskytuje se dosud ani ve většině zahraniční odborné literatury.

THD
Podle IEV ref 551-17-06 (slovník IEV) je THD poměr efektivní hodnoty vyšších složek signálu k efektivní hodnotě základní harmonické,

$$THD = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + \ldots}}{U_1}.$$

THD může nabývat hodnot od nuly do nekonečna, obvykle se vyjadřuje v %.
Definice je vhodná hlavně pro výpočtové metody měření.
Nezahrnuje další pozadí signálu.

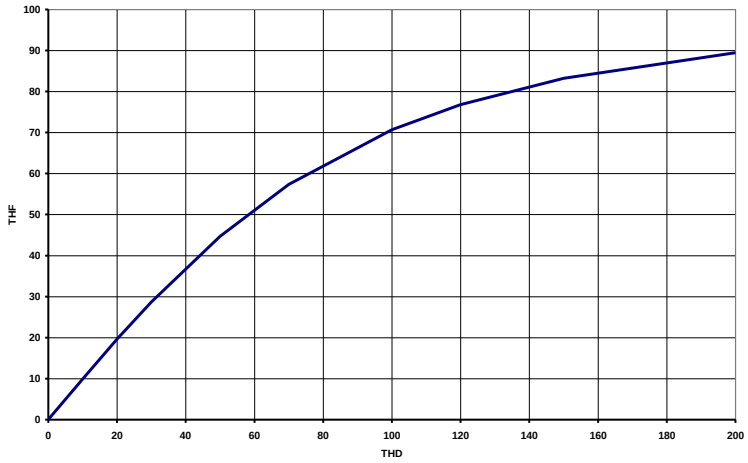
THF
Podle IEV ref 551-17-05 (slovník IEV) je THF poměr efektivní hodnoty vyšších složek signálu k efektivní hodnotě celého měřeného signálu,

$$THF = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + \ldots}}{\sqrt{U_1^2 + U_2^2 + \ldots}}.$$

THF může nabývat hodnot od nuly do jedné, obvykle se vyjadřuje v %, to je od 0% až do 100%.
Tab.1: porovnání hodnot zkreslení podle definice THD a THF

THD v %	THF v %
0,01	0,01
0,1	0,1
10	9,95
20	19,6
30	28,7
50	44,7
70	57,3
100	70,7
120	76,8
150	83,2
200	89,4

Neprodejné



Obrázek č.1: porovnání hodnot zkreslení podle definice THD a THF

Pro nízké hodnoty zkreslení se výsledek měření vyjádřený jako THD nebo THF příliš neliší.

Pro zkreslení THD < 5 % je rozdíl mezi $(THF - THD) < 0.01\%$.

Pro THD 10% je hodnota THF 9,95%. To je nejvyšší hodnota, používaná pro měření vlastností elektroakustického signálu a rozdíl mez oběma definicemi není podstatný.

V praxi nás zajímá kvalitních akustických signálů nejen zkreslení, ale i šum a brum. Měří se proto zkreslení včetně šumu

$$(THD + N) = \frac{\sqrt{\sum_{i=2}^{N} U_i^2 + U_n^2 + U_s^2}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{N} U_i^2 + U_n^2 + U_s^2}} \cdot\cdot$$

kde U_1, U_2, ... jsou první, druhá a další harmonické a U_n je napětí vlivem šumu.

Typické hodnoty THD
Podle pozorovatelné změny tvaru (neuvažujeme zkreslení vlivem úzkých pulsů):

- 0 % - ideální sinusovka,
- 3 % - zkreslení je na hranici viditelnost na osciloskopu,
- 5 % - zkreslení je na již viditelné t na osciloskopu,
- 10 % - zkreslení, pro které se udává výkon zesilovačů,
- 21 % - například signál trojúhelníkové formy,
- 43 % - například signál obdélníkového tvaru.

V audio a Hifi technice

- 10% (-20dB) - úroveň zkreslení je jasně patrná a vlastně diskvalifikuje audio zařízení,
- 1% (-40dB) - přijatelná úroveň v jednoduchých systémech pro přehrávání audio signálů, ale posluchači s vytříbeným hudebním sluchem zkreslení poznají,

Neprodejné

- 0,1% (-60dB) - úroveň všeobecně přijímaná s výjimkou high-end hi-fi systémů,
- 0,01% (-80dB) - úroveň high-end hi-fi zařízení (např. CD přehrávače), přijatelné pro audiofily,
- 0,001% (-100dB) - úroveň podstatně přesahuje obvyklé zvukové systémy, ale existuje v praxi například v kvalitních rozhlasových přijímačích,
- 0,0001% (-120dB) - úroveň blízko nejnižších úrovní možné hodnoty pro audio výstup a pro měření za nejvýhodnějších podmínek.

Význam zkreslení v akustice, hlavně pro Hifi

V praxi není zajímavé měřit velké hodnoty nelineárního zkreslení, ale velmi často potřebujeme měřit malé zkreslení (např. CD přehrávače s 16 bitovými D/A převodníky mají zkreslení kolem 0,003 %). Pro akustiku je nejvýhodnější měřit zkreslení THF + šum.

U pasivních součástek se předpokládá lineární závislost volt-ampérové charakteristiky. Reálné součástky ale vykazují měřitelnou odchylku od této lineární závislosti. Nelinearita je úměrná třetí mocnině proudové hustoty. Mírou zkreslení je amplituda třetí harmonické složky. Využití nelinearity je možné použít jako indikátoru kvality a spolehlivosti pasivních součástek. Z tohoto důvodu může být účinná kontrola kvality provedena měřením zkreslení čistého sinusového průběhu proudu přivedeného na součástku. Například je přivedeno harmonické napětí o frekvenci 10 kHz a snímáme velikost napětí o frekvenci 30 kHz. Na tomto principu je možné provést velmi rychlé vyhledání potenciálně méně spolehlivých součástek.

U pasivních součástek se předpokládá lineární závislost volt-ampérové charakteristiky. Reálné součástky ale vykazují měřitelnou odchylku od této lineární závislosti. Nelinearita je úměrná třetí mocnině proudové hustoty. Mírou zkreslení je amplituda třetí harmonické složky. Využití nelinearity je možné použít jako indikátoru kvality a spolehlivosti pasivních součástek. Z tohoto důvodu může být účinná kontrola kvality provedena měřením zkreslení čistého sinusového průběhu proudu přivedeného na součástku. Například je přivedeno harmonické napětí o frekvenci 10 kHz a snímáme velikost napětí o frekvenci 30 kHz. Na tomto principu je možné provést velmi rychlé vyhledání potenciálně méně spolehlivých součástek.

Měřiče nelineárního zkreslení jsou obvykle univerzální přístroje, které lze mimo měření nelineárního zkreslení použít jako nf milivoltmetry, případně i nf měřiče výkonu, poměru dvou napětí, čítače apod.

Z aplikací vyplývají požadavky na vlastnosti měřiče. Přesnost naměřené hodnoty obvykle není vysoká, kmitočtový rozsah často vystačí pro akustiku od 20 Hz do 20 kHz, pro energetiku stačí 50 Hz (a měření cca do 100harmonické, to je do 5 kHz). Pro univerzální měřiče je vhodný rozsah l0Hz až l00kHz. Zkreslení pro signály s kmitočtem nad l00kHz je výhodné vyhodnocovat pomocí analyzátorů spektra. Důležitou vlastností pro měření akustických signálů je nejmenší naměřitelná hodnota nelineárního zkreslení. Ta je omezena citlivostí, vlastním zkreslením a šumy měřiče. Špičková akustická zařízení vyžadují měření velmi malých zkreslení, řádu 0,00l %. Pro energetiku je naopak potřebné měřit i velké hodnoty zkreslení.

K nejdůležitějším vlastnostem měřiče patří obvody usnadňující a zkracující měření, které je u klasických analogových měřičů velmi zdlouhavé. Je to zejména obvod pro

Neprodejné

poloautomatické nebo automatické odlaďování základní harmonické složky a obvod pro automatické udržování úrovně l00 %. Čím je měřené zkreslení menší, tím je měření obtížnější. Při měření malých hodnot nelineárního zkreslení je vhodné, aby měřič měl symetrický vstup umožňující propojení s měřeným objektem bez zemní smyčky. Filtr typu horní propusti s mezním kmitočtem asi 400 Hz umožní potlačit vliv rušení násobky síťového kmitočtu při měření na frekvenci nad l kHz. Filtr typu dolní propusti s mezním kmitočtem kolem 80 kHz umožní potlačit u širokopásmových měřičů vliv šumu při měření v akustickém rozsahu kmitočtů.

Při měření zkreslení pomocí A D převodníků s následnou fourierovou analýzou signálu je mimo jiné, hlavně pro měření pro energetiku, sledovat, že žádná složka zkreslení nepřekročí dynamický rozsah měřiče.

U pasivních součástek se předpokládá lineární závislost volt-ampérové charakteristiky. Reálné součástky ale vykazují měřitelnou odchylku od této lineární závislosti. Nelinearita je úměrná třetí mocnině proudové hustoty. Mírou zkreslení je amplituda třetí harmonické složky. Využití nelinearity je možné použít jako indikátoru kvality a spolehlivosti pasivních součástek. Z tohoto důvodu může být účinná kontrola kvality provedena měřením zkreslení čistého sinusového průběhu proudu přivedeného na součástku. Například je přivedeno harmonické napětí o frekvenci 10 kHz a snímáme velikost napětí o frekvenci 30 kHz. Na tomto principu je možné provést velmi rychlé vyhledání potenciálně méně spolehlivých součástek.

Neprodejné