



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./04/17

**METODIKA PROVOZNÍHO MĚŘENÍ
ELEKTRONICKÝMI PŘÍSTROJI S KOAXIÁLNÍMI KONEKTORY**

Praha
říjen 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

Metodika se týká měření s přístroji s koaxiálními konektory, kde je propojení při měření provedeno koaxiálními kabely.

Běžné typy přesných konektorů a nejčastěji celosvětově používaných konektorů pro všeobecné použití jsou typy BNC; N; 3,5 mm; K; 7/16; TNC; SMA. Tyto konektory se používají pro propojení součástek a kabelů ve vojenství, kosmu, průmyslu a i v domácích aplikacích.

Většina konektorů, zejména pro všeobecné použití, je konstruována pro spojení typu kuliček/dutinka (Jeníček/Mařenka, male/female).

Výběr typu konektoru musí vyhovovat s hlediska navrhované funkce a parametrů součástky nebo měřicího systému. K nejdůležitějším a nejžádanějším parametrům patří dlouhá životnost konektorů s minimálním vlivem na parametry zařízení a dobrá reprodukovatelnost spoje.

Správné používání koaxiálních konektorů je důležité nejen v oblasti vf. a mikrovlnných kmitočtů, ale i u nízkých a ss kmitočtů. U různých kalibračních systémů může požadavek na „návaznost na státní etalon“ záviset na tom, zda všechny systémy „vidí“ stejné hodnoty parametrů na koaxiálním konektoru přístroje.

Týká se zejména nejčastěji se v praxi vyskytujících přístrojů s konektory N a BMC. Pro ostatní typy konektorů se řídíme upřesněním a doporučeními [2].

Je velmi důležité si uvědomit, že kdykoliv při běžném používání můžeme jediným neopatrným a nevhodným spojením a rozpojením konektor (a tím často i drahý přístroj) mechanicky zničit a měření znehodnotit.

Konektory (jakékoliv kvality), používané v měřicích přístrojích a zařízeních se musí uchovávat v čistých podmínkách, aby byla zajištěna správná funkce zařízení. Reprodukovatelnost kvality spojení konektorů je klíčový příspěvek k dosažení dobré funkce měřicího systému.

Reprodukovatelnost konektorů může být vážně ohrožena nedbalým spojením, pokusem o vyosený spoj, přílišným utažením, nevhodnou manipulací, špatným uložením nebo prací mimo čisté prostory. Všechny tyto vlivy mohou v extrémních případech způsobit trvalé poškození konektorů a následně i poškození dobrých konektorů, se kterými jsou spojeny.

Během spojení a rozpojení se konektory nesmí otáčet proti sobě. Zvláštní zřetel je nutné věnovat zabránění vzájemné rotace dosedacích ploch konektorů.

2 Související normy a metrologické předpisy

ČSN EN ISO/IEC 17025:2018	Všeobecné požadavky na kompetenci zkušebních a kalibračních laboratoří	[L1]
ANAMET	Connector Guide dostupný na www.npl.co.uk	[L2]
Fluke	Application Note “RF Calibration Best Practices Guide: Coaxial Connectors”, dostupný na www.flukecal.com	[L3]
IEEE Standard 287	for Precision Coaxial Connectors (DC to 110GHz), version 2007. Mario A. Maury, Microwave Coaxial Connector Technology: A continuing Evolution, Maury Microwave Corporation 13 December 2005. Maury Connector guide. PDF	[L4]
	IEC INTERNATIONAL STANDARD CEIIEC169 – Radio - frequency connectors Part 1:General requirements and measuring methods	[L5]

3 Kvalifikace pracovníků provádějících měření

Všichni pracovníci, interní nebo externí, kteří by mohli mít vliv na měřicí činnosti, musí jednat nestranně, být kompetentní a pracovat v souladu se systémem managementu laboratoře. Laboratoř musí dokumentovat požadavky na kompetenci pro každou funkci mající vliv na výsledky měřicí činnosti, včetně požadavků na vzdělání, kvalifikaci, výcvik, technické znalosti, dovednosti a zkušenosti. Pracoviště provádějící měření musí zajistit, aby pracovníci měli kompetenci pro provádění daných činností, za které odpovídají a musí vyhodnotit dosah odchylek. Vedení pracoviště musí informovat pracovníky o jejich povinnostech, odpovědnostech a pravomocích. Laboratoř musí mít postup (postupy) a uchovávat záznamy o stanovení požadavků na kompetenci, výběru pracovníků, výcviku pracovníků, dohledu nad pracovníky, pravomocech pracovníků.

Kvalifikace pracovníků provádějících měření je dána příslušným předpisem organizace. Tito pracovníci se seznámí s metodickým postupem upraveným na konkrétní podmínky daného pracoviště provádějícího měření a případnými dalšími (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.

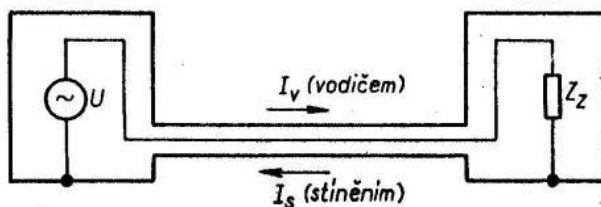
Doporučení tohoto postupu ale platí obecně, i pro amatérské aplikace.

4 Názvosloví, definice

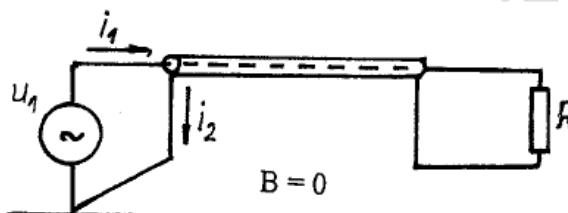
Základní pojmy pro propojení dvou přístrojů

Propojení koaxiálním kabelem

signál se vede oběma vodiči kabelu, koaxiální kabel má připojené koaxiální konektory na obou stranách.



Obr. č. 1: Vedeme-li signál od zdroje U k zátěži Z_Z souosým kabelem, nevzniká vlivem procházejícího proudu žádné rušivé pole vně kabelu



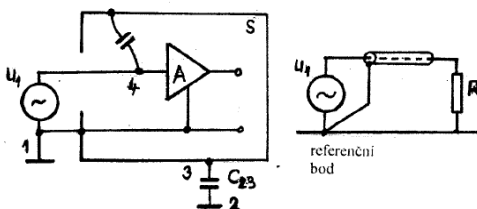
Obr. č. 2: Při správném propojení dvou zařízení koaxiálním kabelem, není země připojena ve více bodech

Propojení se stíněným kabelem

signál se vede vnitřním vodičem kabelu, použitý koaxiální kabel má připojeny oba vodiče na koaxiální konektor jen na jedné straně, na druhé není vnější vodič na konektor připojen. Zpětný vodič signálu je mimo koaxiální kabel.

Elektrostatické stínění

Elektricky vodivé, obvykle vnější opředení použitého propojovacího kabelu.



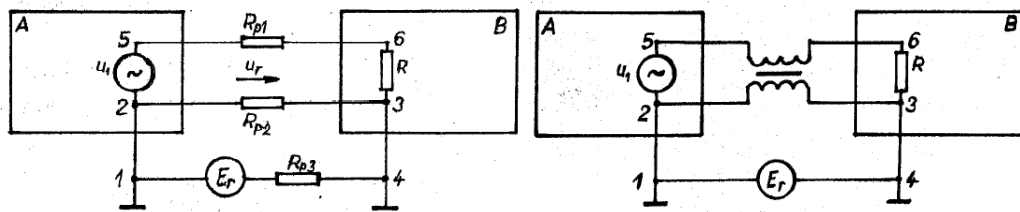
Obr. č. 3: Stínění má být uzemněno jen na jednom konci. Stínící vodič nemá být používán současně jako vodič signálový

Užití tlumivky – choke

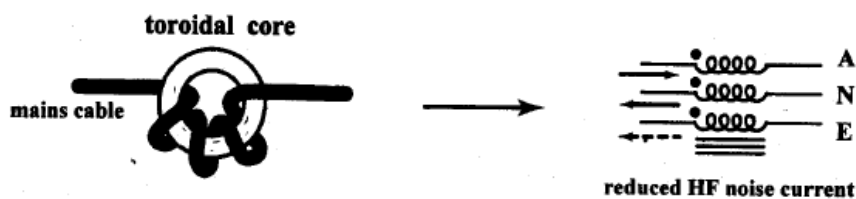
Na obr. č. 4 je ukázáno spojení mezi přístroji A a B.

Při propojení koaxiálním kabelem můžeme protažením tohoto kabelu magnetickým jádrem potlačit možné nežádoucí parazitní cesty signálu.

Spojením síťovými šňůrami 1-2 a 3-4 se síť a vzájemným propojením 2-3 se vytváří zemní smyčka, v níž se na odporu přívodů R_{p2} může projevit rušivý signál



Obr. č. 4: Zařazením sousé tlumivky vřadíme do smyčky 1-2-3-4 impedanci, omezující velikost nežádoucího rušivého proudu, přičemž pro proud tekoucí smyčkou 2-3-6-5 se vliv tlumivky neprojeví a neovlivní signálový obvod



Obr. č. 5: Ukázka provedení zařazení sousé tlumivky do přívodu napájení

Měření konektorů.

Konektor se musí měřit před prvním použitím a potom vždy, když dotýchnou součástku používal někdo jiný. Pokud bude konektor použit s jinou částí zařízení, konektor na tomto zařízení by měl být také testován.

Při spojování konektorů se nikdy nesmí použít hrubá síla. Použití nadměrné síly vždy ukazuje na nekorektnosti a neslučitelnosti. Např. mnohé šroubovací konektory zřídka vyžadují k dotažení větší sílu, než lze vyvodit rukou. Většina konektorových spojů funguje s hlediska elektrické kalibrace dobře a poskytuje reprodukovatelné výsledky, pokud nejsou konektory mechanicky poškozeny.

S hlediska mechanické integrity a elektrických parametrů konektoru jsou některé rozměry kritické. Pro většinu typů konektorů existují konektorové měřky, ale je také možné vyrobit si jednoduché a laciné přípravky k indikátoru (nebo k jinému přístroji) na měření důležitých rozměrů.

Měření mechanických rozměrů koaxiálních konektorů může odhalit a předcházet následující problémy:

Stykové rozměry

Nejdůležitější u měření s koaxiálními svorkami a kabely je, aby jejich konektory nepoškodily konektory v kalibračních zařízeních. Špatný stav mnoha koaxiálních součástek a kabelů je často způsoben chybnou konstrukcí a nevyhovujícími mechanickými specifikacemi konektorů. Měření mechanických rozměrů konektorů je základní požadavek pro udržení jejich dobrého stavu a parametrů. To znamená, že rozměry všech koaxiálních konektorů na všech zařízeních, kabelech, koncavkách atd. by se měly rutinně kontrolovat

(měřit), aby byly včas zjištěny mimotolerantní rozměry, způsobující zhoršení elektrických parametrů.

Vysunutí (vyosení) středního vodiče.

Vysunutí středního vodiče způsobí vznik axiální síly a to může mít za následek zborcení středního vodiče nebo zničení vnitřní struktury konektoru.

Je zcela jasné, že toto vysunutí závisí na způsobu používání konektoru, na okolních podmínkách a na péči, jakou věnujeme spojování konektorů. Těleso konektoru (např. u typu N) je vyrobeno z nerezavějící oceli, je robustnější, má nadprůměrné mechanické vlastnosti a delší užitečnou životnost. Vnitřní vodič je choulostivější a je obvykle zlacený pro dosažení lepších elektrických vlastností.

Výrobci specifikují pro většinu typů konektorů počet opakovaných spojení/rozpojení. Deklarovaný počet spojení může být > 5000, ale musíme počítat s ideálními pracovními podmínkami a správným používáním.

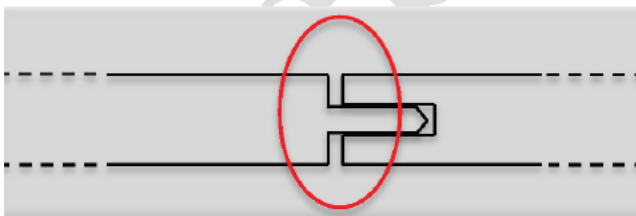
Konektory SMA byly vyvinuty pro propojování uvnitř přístrojů a jejich životnost z hlediska počtu opakovaných spojení je relativně krátká.

Při dodržování zásad, uváděných v tomto dokumentu je možné prodloužit dobu života laboratorních konektorů.

Recese konektorů

Ideální konektorový pár je konstruován takovým způsobem, aby se eliminovaly všechny nespojitosti koaxiálního vedení. Vzhledem k mechanickým tolerancím konektorů bude v praxi téměř vždy malá mezera mezi kolíčkem a dutinkou. Tato malá mezera se nazývá „recese“. Je proto pravděpodobné, že se u obou konektorů v dvojici projeví recese a vznikne krátký úsek vedení o jiné charakteristické impedanci - nespojitost.

Ve specifikacích konektoru jsou uvedeny mezní hodnoty recese propojeného kolíčku s dutinkou. Vliv recese je významný zejména při měření na analyzátořech obvodů.



Obr. č. 6: Recese vnitřního vodiče zavádí do vedení úsek s jinou impedancí

Poznámka:

Výrobci malých koaxiálních konektorů se dohodli, že mechanické rozměry konektorů musí umožnit jejich nedestruktivní spojení. To dalo vznik termínu „mechanicky slučitelný“. Protože obě strany spoje mají charakteristickou impedanci 50Ω , často se předpokládá, že „mechanicky slučitelný“ se rovná i elektricky slučitelný.

Opakovatelnost spojení RF konektorů

Nedostatečná opakovatelnost vnitřních ztrát koaxiálních párových konektorů a nižších

rozsahů koeficientů odrazu napětí je problém při kalibraci zařízení v měřicím systému s koaxiálním propojením a následně při použití v systému jiném. Ačkoli je možno při připojování a odpojování zařízení vyhodnotit opakovatelnost daných párů koaxiálních konektorů (koncovek), tyto jsou pouze vzorky z celého souboru. Získání změřených reprezentativních dat pro různé typy používaných konektorů je obecně mimo možnosti většiny kalibračních laboratoří.

Reprodukovatelnost vložného útlumu konektorového páru

Hodnoty reprodukovatelnosti vložného útlumu (dB) jsou stálé jen za předpokladu, že konektory jsou čisté a v dobrém mechanickém stavu. Další podmínkou je, že na konektorový pár nepůsobí přídavné mechanické napětí, způsobené vyosením nebo příčnou zátěží. Při započítávání nejistoty nereprodukovatelnosti konektorů jakéhokoliv měřicího procesu se použijí stejné jednotky jako výstupní veličina. Např. při měření kalibračního faktoru výkonových čidel se reprodukovatelnost měří v procentech.

Hodnoty reprodukovatelnosti vložného útlumu spojení jsou řádově 0,001 dB pro kvalitní a čisté konektory (neplatí pro BNC). Reprodukovatelnost vložného útlumu konektorového páru udávají hodnoty reprodukovatelnosti vložného útlumu (dB) za předpokladu, že konektory jsou čisté a v dobrém mechanickém stavu. Další podmínkou je, že na konektorový pár nepůsobí přídavné mechanické napětí, způsobené vyosením nebo příčnou zátěží. Při započítávání nejistoty nereprodukovatelnosti konektorů jakéhokoliv měřicího procesu se použijí stejné jednotky jako výstupní veličina. Např. při měření kalibračního faktoru výkonových čidel se reprodukovatelnost měří v procentech. Typické hodnoty ukazující reprodukovatelnost měření kalibračního faktoru skupiny čidel jsou pod 0,5 % pro všechny používané konektory čidel.

Tyto typické hodnoty mohou sloužit dvěma účelům:

- 1) Pokud nemáme o konektorech žádné další informace, ukazují meze reprodukovatelnosti konektorů při normálním používání. Hodnoty se mohou použít při výpočtu nejistoty měření.
- 2) Poskytují vodítko, se kterým můžeme porovnávat „skutečné“ hodnoty reprodukovatelnosti.

Reprodukovatelnost konektorů je ve skutečnosti důležitý příspěvek k nejistotě měření. Z tohoto důvodu je žádoucí reprodukovatelnost zjišťovat během ověřování měřicího systému nebo pečlivým vyhodnocením výsledků měření. Můžeme pak získat lepší hodnoty než je obvyklá reprodukovatelnost vložného útlumu u N konektorů 0,001 dB (ss až 1 GHz) a pro SMA 3,5mm 0,002dB (ss až 1 GHz).

Opotřebovaný konektor může způsobit zvětšení směrodatné odchylky kalibračního faktoru. Opotřebování konektoru závisí na jeho věku a způsobu používání. Rovněž stojí za povšimnutí, že funkce kvality spojení se zhoršuje směrem k vyšším kmitočtům.

Ohodnocení reprodukovatelnosti konektorů

Vyhodnocení reprodukovatelnosti koaxiálního spoje se provádí opakovaným měřením po rozpojení a opětném připojení součástky. Nezbytnou podmínkou je, že všechny ostatní parametry, které mohou ovlivnit vlastnosti spoje, udržujeme co nejpečlivěji konstantní. Někdy je důležité zachovat úhlovou polohu konektorů během cyklů opakovaného spojování.

Jindy je nejlepším řešením provádět rotaci jedním konektorem ze spojované dvojice. Např. kalibrace čidel s N-konektory (výkonová čidla nebo zeslabovače) se většinou provádí pro tři, čtyři nebo 5 poloh konektorů (pootočení přibližně o 120°, 90° nebo 72°). Samozřejmě, rotaci konektoru provedeme před spojením.

Reprodukovatelnost vložného útlumu koaxiálních konektorů tvoří hlavní příspěvek k nejistotě typu A při charakterizování měřicího procesu. Pokud je měření, zahrnující konektory několikrát opakováno, můžeme z výsledků usuzovat na příspěvek k nejistotě typu A, za předpokladu úplného rozpojení a opětného spojení při každém opakování.

Příspěvek k nejistotě typu A, způsobený (ne)reprodukovatelností konektorů se projeví (a započítává) i při pouze jednom spojení.

Zkušenost ukazuje, že u nových konektorů prakticky není žádný rozdíl v reprodukovatelnosti přesných a obyčejných typů. S množstvím uskutečněných spojení se rozdíl mezi oběma typy zvyšuje ve prospěch přesných konektorů.

Adaptory (oddělovací konektory)

Na kvalitních přístrojích můžeme použít „nárazníkové přechody“ nebo „spořiče konektorů“ (*buffer adaptors or 'connector savers'*), abychom zmenšili riziko možného poškození konektorů na přístroji (generátorech a podobně). Ať tak nebo onak, musíme vzít v úvahu, že použití zmíněných adapterů může mít nepříznivý vliv na parametry měřicího systému a může vést k podstatnému zvětšení příspěvku ve výpočtu nejistoty.

Adaptory se většinou používají pro zmenšení opotřebení drahých a obtížně vyměnitelných konektorů u přístrojů, kde lze tolerovat zhoršení parametrů. Mnohdy je nejlepší pro oddělení nebo i změnu impedance používat odporové členy s minimálním útlumem.

5 Měřidla a pomocná měřicí zařízení

Seznam pomůcek a postup při měření, utahování a čištění konektorů je v následujících odstavcích:

Čištění

- Stlačený vzduch (bez olejů a rozpouštědel) nebo sprej se stlačeným plynem,
- bavlněná vata (tampon) nebo jiný komerční čistící tampon,
- látka, která nepouští chlupy (z mikrovlákn),
- Isopropanol,
- hodinářská lupa nebo lupa s osvětlením (větší zvětšení je nežádoucí),
- párátko nebo naostřená špejle z měkkého dřeva,
- bavlněné rukavice,
- uzemňovací náramek pro staticky citlivé součásti.

Momentové klíče k utahování konektorů

(platí hlavně pro typy 3,5 mm a menší).

Existuje celá řada typů momentových klíčů, vhodných pro použití s koaxiálními konektory. Některé momentové klíče jsou nastavitelné, zatímco jiné jsou přednastavené

výrobce. Používané momentové klíče by se měly pravidelně kalibrovat a justovat. Důležité je i jasné a jednoznačné označení.

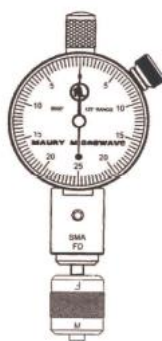


Obr. č. 7: Momentový klíč

Indikátory (indikátorové hodinky) pro měření mechanických rozměrů konektorů se dají rozdělit na dva hlavní typy:

Nástrčný typ se používá při měření konektorů pro všeobecné použití. U konektorů s vyjádřeným sexem se obvykle používají dvě etalonové měrky (pro dutinku a pro kolíček) nebo jedna dvojítá. Základ měřidla tvoří indikátorové hodinky.

Šroubovací typy se většinou používají (s výjimkou konektorů GR 900) v kalibračních kitech analyzátorů obvodů a reflektometrů u konektorů 7 mm. U konektorů typu dutinka/kolíček se používají samostatné etalonové měrky pro dutinku i pro kolíček. Šroubovací typ indikátoru se konstrukčně podobá protějšku měřeného konektoru. Vlastní indikátor může být mechanický (hodinky) nebo číslicový.



Obr. č. 8: Nástrčný indikátor s kalibrační měrkou

Měrky

Každé indikátorové hodinky používají za normálních podmínek kalibrační etalonovou měrku k nastavení počátku stupnice (nula, přednastavená hodnota). Je dobrá praxe kalibrovat etalonové měrky současně s kalibrací indikátoru.



Obr. č. 9: Kalibrační etalonová měrka pro N-konektory

Kalibrace indikátorů a etalonových měrek.

Pro měření rozměrů konektorů se používá mnoho typů indikátorů a etalonových měrek. Indikátory i měrky vyžadují pravidelnou kalibraci, aby byla zajištěna jejich správná funkce.

6 Obecné podmínky měření – veličiny ovlivňující výsledky měření

K propojení na pracovišti často slouží koaxiální kabely s konektory.

Pro tyto konektory na kabelu platí pokyny z tohoto MPM.

Každému měření předchází kontrola koaxiálních konektorů.

V tomto případě platí zásady:

- Každému novému měření předchází kontrola použitých koaxiálních konektorů.
- Konektor slouží jen k propojení, nesmí být použit jako nosný prvek, na kterém visí například sonda. Konektory nesmí být použity k zavěšení připojených sond.
- Koaxiální konektory musí být před použitím k měření očištěny.
- Před novým zapojením se kontrolují mechanické rozměry konektorů.
- Pokud je použit cizí přístroj, kontrola konektorů předchází měření.
- Konektory se utahují momentovými klíči (jen UHF a N konektor jsou dostatečně robustní a dostatečně velké, takže kvalifikovaná obsluha je dokáže správně spojit jen utahením rukou).
- Při propojení nesmí dojít k pootočení spojovaných konektorů proti sobě.

Ke stanovení nejistot při přesném měření opakujeme měření po pootočení konektorů (obvykle postačí 3 polohy vzájemně po 120°). Toto pootáčení se dělá převážně u metrologických aplikací.

Běžný koaxiální kabel jen s drátovým opředěním nemá 100% pokrytí.

Pro lepší vf. izolaci použijeme kabely s folií.

Pro nejpřesnější a stabilní propojení je možné použít polotuhé (semirigid) kabely.

Rozlišovací schopnost indikátorů.

Měření mechanických rozměrů konektorů není snadné. Zdrojem nejistot jsou individuální vlivy konkrétní osoby provádějící měření a rozlišovací schopnost indikátoru (velikost malého dílku stupnice). Špína a jiná kontaminace mohou způsobit rozdíly až 0,003 mm. Způsob, jakým je indikátor používán může toto číslo ještě zvýšit. Doporučený postup při měření mechanických rozměrů konektorů je následující:

- Před měřením konektor pečlivě prohlédněte, a pokud je to nutné konektor vyčistěte,
- stejně prohlédněte a případně vyčistěte indikátor a etalonovou měrku,
- pomocí etalonové měrky pečlivě vynulujte indikátor,
- odstraňte etalonovou měrku,
- proveďte měření konektoru a poznamenejte si výsledek,
- opakujte měření podle potřeby, nejméně dvakrát.

Při použití koaxiálních konektorů na nf nejsou požadavky na přesnost provedení z hlediska odrazů důležité, ale zůstává platný požadavek poskytovat stabilní, reprodukovatelné spojení s malým a stálým přechodovým odporem. Kontrola konektorů by se měla provádět pravidelně, podle četnosti použití, obvykle v kvartálních intervalech.

Pro nf použití většinou postačí zjednodušená kontrola, sestávající z:

- vizuální kontroly čistoty a stavu kontaktů,
- vizuální kontroly stavu pružin zdírek a stavu kontaktních kolíků,
- přečištění kontaktů,
- kontroly přechodového DC odporu,
- u konektorů na kabelu při měření kabel v oblasti konektoru namáháme na přiměřený tah a na ohyb kabelu.

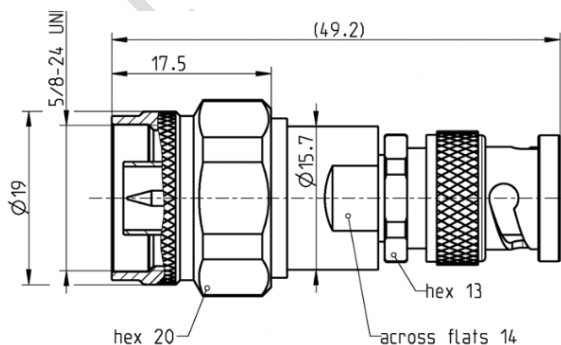
Pro konektory, které mohou být zapojeny i do nf i vf trasy, postupujeme jako u konektorů pro vf použití. Znamená to navíc kontrolu mechanických rozměrů.

7 Metrologické meze a využití metody měření

Uveden je jen příklad pro nejčastěji používané typy konektorů.

BNC konektory a adaptory

nejdou určeny pro přesná měření. Například osciloskop má na svém vstupním portu obvykle konektor BNC. Pokud chceme přístroj s BNC konektorem lépe kontrolovat, použijeme přechod, jak ukazuje obr. č. 10. Na připojení k N-konektoru musí být vložen přechod BNC-N. Relativní ztráty napětí způsobené těmito adaptéry musí být považovány za příspěvek nejistoty.



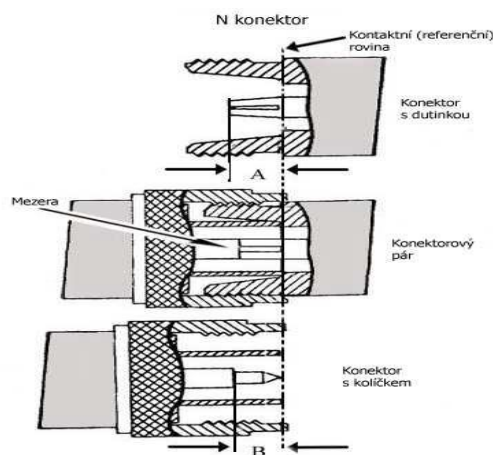
Obr. č. 10: Příklad adaptéru N-BNC

Obvyklé parametry přechodu:

Impedance	50 Ω
Rozsah použití	0 až 4 GHz
Vložný útlum v dB	$0,05 \cdot \sqrt{f(\text{GHz})}$ v dB

N konektor

je odolný typ konektoru, univerzálně používaný a často používaný i v přenosných a vojenských zařízeních. Důvody jsou jeho robustní konstrukce a velikost. Konektor byl navržen s cílem získat odolnost proti neúmyslnému poškození vyosením konektorů při spojování (za předpokladu, že nakonec se konektory správně propojí). N konektor se vyrábí v provedení 50 Ω a 75 Ω . Oba typy se běžně používají. Dají se použít pro široký rozsah pracovní frekvence, běžně od DC do 10 GHz.



Obr. č. 11: N konektor a referenční rovina

V N konektoru se používají dva hlavní typy dutinek, rozříznutá (pružná kleština) a nerozříznutá (s vnitřní kleštinou). České názvosloví není ustálené. Rozříznutá kleština (rovnoběžně s osou) mívá 4 nebo 6 ramen. Průměr kleštiny a následně i charakteristická impedance jsou určeny průměrem kontaktního kolíčku. Je snadné poškodit nebo jenom ohnout kleštinu a způsobit vznik nespojitosti ve vedení. Kompenzace takto vzniklé nespojitosti není jednoduchá. Rozříznutá kleština se proto používá jen u konektorů pro všeobecné použití.

Referenční rovina N konektoru je v rovině styku vnějších vodičů. Na rozdíl od některých jiných konektorů typu dutinka/kolíček je místo styku vnitřních (středních) vodičů posunuto o 5,258mm (0,207 in) od referenční roviny. Zvolené posunutí zmenšuje možnost mechanického poškození kleštiny vlivem vyosení při spojování konektorů. Konstrukční řešení N konektoru a požadavky na mechanické měřky jsou vidět na obrázku obr. č. 11. Hodnota posunutí se může měnit a používané hodnoty závisí na konkrétní normě, podle které byl konektor vyroben. Aby byly splněny požadavky normy MIL-STD-348A, minimální recese středního vodiče musí být 5,283 mm (0,208 in).

8 Kontrola před použitím a příprava na měření

Při spojování jakýchkoliv konektorů musíme zamezit vzájemnému otáčení těles konektorů proti sobě. Vzájemné tření kontaktních ploch způsobí jejich vážné poškození a následně výrazně zkrátí životnost konektorů. Přidržujte vnější těla konektorů lehce, ale pevně proti sobě a dotažení proveďte momentovým klíčem.

Momentový klíč používáme hlavně v metrologických aplikacích. V běžných případech postačí ruční utažení. Nikdy nepoužívejte kleště (kombinačky!).

Čistění

Starší konektory a adaptéry mají tendenci hromadit nečistoty, prach a po desítkách nebo stovkách použití obsahují na povrchu i jemné kovové částice. Špinavé konektory mohou vést ke špatnému měření způsobenému nežádoucím útlumem v konektorových spojeních. Typický špinavý konektor je pokryt vrstvou jemných kovových částic. To může způsobit nežádoucí útlum při frekvencích mikrovln. Stejný konektor po čištění isopropylalkoholem už vyhoví.

Obecně se aplikuje alkohol na špičku párátko nebo na bavlněný tampon, pak opatrně vyperte špínu a kovové částice. Nepoužívejte alkohol přímo do konektoru. Můžete také použít nejprve stlačený vzduch k vyfukování nečistot nebo větších částic. Současně byste měli pečlivě zkontrolovat, zda jsou kontaktní plochy vadné. Samčí konektory SMA jsou proslulé tím, že se jejich středový kolík ohýbá, a proto musí být pečlivě přezkoumány před připojením. Přišroubování poškozeného konektoru na dobrý konektor může způsobit poškození dobrého konektoru. Ujistěte se, že jste zlikvidovali neopravitelné adaptéry nebo konektory. Udržování konektorů čistých a bez poškození prodlouží jejich životnost a zachová přesnost měření.

Kontrolovat se musí i samostatné koaxiální díly. Zvláště je třeba věnovat pozornost odporu připojení bočního vývodu u T kusů, protože střední boční vodič je obvykle jen přiložen vinutou pružinkou k průběžnému vodiči.

Položky potřebné k čištění pro konektory obsahují zdroj nízkotlakého stlačeného vzduchu (bez rozpouštědla), bez vláken a čisticí tampony a isopropylalkohol. Osvětlovací lupy jsou velmi užitečné, a malé dřevěné špejle lze použít k odstranění malých částic. K čištění by mělo být používáno pouze malé množství isopropylalkoholu, aplikované obvykle pomocí tamponu. Konektory by neměly být ponořeny při čištění do van na čištění, protože dielektrikum může být poškozené nebo kontaminované.

Pro zajištění dlouhodobé životnosti a údržbu konektoru pro dobrý výkon, by konektory měly být pravidelně kontrolovány a před použitím vždy důkladně vyčištěny. Zuby, zvýšené okraje a škrábance na spojovacích plochách ukazují na opotřebení. Konektory, které mají opotřebením v záběru často zvednuté okraje, ukazující, že pak bude spojení s nimi méně dokonalé.

9 Postup měření

Osvědčené postupy měření **vlastností konektorů** vyžadují kontrolovat všechny koaxiální konektory. Metrologické pracoviště, vybavené všemi zařízeními, kabely a přechody by mělo být určeno jako rutinní základ pro detekci pro jakékoliv mimotoleranční mechanické rozměry, které mohou poškodit elektrický přenos nebo způsobit poškození konektoru. To je zvláště důležité při použití koaxiálních kabelů, které musí být testovány před použitím, aby se zajistilo, že připojený konektor je v souladu s příslušnými mechanickými specifikační limity. Koaxiální konektory by nikdy neměly být použity k vynucení spojení, protože to pak často způsobuje nesprávnost, poškození nebo neslučitelnost. Sady pro kontrolu mechanických rozměrů pro všechny typy konektorů jsou k dispozici od řady výrobců. Konektory typu N s vroubkovaným spojovacím systémem zřídka musí být spojovány více než prsty pro rutinní elektrické ovládání a kalibrační účely a většina z nich fungují uspokojivě a dávají přiměřené opakovatelné výsledky.

Konektor typu N má posun od referenční roviny o 0,207 palce (5,258 milimetrů). Toto je navrženo za účelem snížení mechanického zatížení poškození nebo nesouososti připojení. Konektory používané na zkušebním zařízení měření a měření je třeba zachovat v tom nejlepším přednastavení. Propojovací kabely by neměly být vystaveny stresu způsobenému ohybem nebo roztážením. Může pak kdykoli dojít k mechanickému poškození konektoru a je tak způsobena porucha v připojení a odpojení.



Obř. ř. 12: Souprava pro kontrolu mechanických rozměrů

Mechanické měření N konektoru s kolíčkem

„Plusová“ odchylka ukazatele (ve směru hodinových ručiček) při měření konektoru s kolíčkem znamená, že osazení kolíčku je vysunuto méně než 0,207 inch za referenční rovinu. To může způsobit zničení protikusu při pokusu o spojení.

Mechanické měření N konektoru s dutinkou

Opět, „plusová“ odchylka ukazatele (ve směru hodinových ručiček) při měření konektoru s dutinkou znamená, že konec dutinky vyčnívá více než 0,207 inch před referenční rovinu. To může způsobit zničení protikusu při pokusu o spojení.

Opakovatelnost spojení konektoru

Opakovatelnost spojení konektoru je základem přispívajícím k správnosti měření.

Opakovatelnost může být narušena kvůli nedbalé montáži, nesprávnému zarovnání, nesprávnému použití hodnoty točivého momentu, nebo jinému poškození konektoru. Dobrá opakovatelnost konektoru a jeho vlivu na celkové měření vyžaduje pečlivou kontrolu, měření a manipulace s rozhraním koaxiální konektory.

Krouticí moment u konektoru.

Momentové klíče, například dodávané specializovanými výrobci jsou přednastaveny na správnou hodnotu točivého momentu. Měl by být použit jen jemný hladký tlak a má být aplikován přímo přes osu, dokud se klíček "nezlomí" při správném nastavení točivého momentu. Žádný další tlak by neměl být aplikovaný. Všechny konektory jsou specifikovány na maximální bezpečnostní moment, obvykle 15 lbs-in (1,7 N-m), které by měly mít, aby nedošlo k překročení a mechanickému poškození, např. vybočení konektoru. S momentovými klíči je možné získat i podstatně nesprávný použitý točivý moment pomocí kroucení. Někdy je užitečné používat malý plochý klíč na těle konektoru, aby se zabránilo otáčení při připojení. Vždy se ujistěte, že momentový klíč je před použitím ve správném nastavení. Existují určité rozdíly pro doporučené nastavení točivého momentu použitého při vytváření trvalého připojení (v rámci propojení uvnitř přístroje), spíše než pro účely metrologie. Použité momentové klíče by měly být pravidelně kontrolovány a kalibrovány. Takový klíč, měl by být nastaven na správný točivý moment nastavení pro konkrétní připojení a jasně být označený.

75 Ω verze N-konektoru

je identická s N-konektorem 50 Ω s jedinou podstatnou výjimkou. Při stejném vnitřním průměru vnějšího vodiče má střední vodič menší průměr, aby se dosáhlo požadované charakteristické impedance 75 Ω .

Varování pro N konektor

Dutinka konektoru s impedancí 75 Ω se kolíčkem konektoru 50 Ω mechanicky zničí. Vzájemné spojení konektorů s impedancí 75 Ω a 50 Ω je nemožné!

Abychom zabránili nechtěnému zničení 75 Ω konektorů, je užitečné si na pracovišti barevně označit 75 Ω konektory, adaptéry a kabely.

Zatížení a impedance kabelů

Mezní vstupní impedance voltmetrů, osciloskopů a jiných napěťově citlivých přístrojů mohou tak zatížit proudový okruh, do kterého jsou zapojeny, že to může být zdrojem signifikantní systematické chyby. Je možno použít korekcí, pokud jsou tyto impedance známy. Partikulárně je třeba uvažovat s tím, že některé multifunkční kalibrátory disponují výstupní, téměř induktivní, impedancí. To znamená, že při aplikaci kapacitní zátěže může výsledná rezonance způsobit zvýšení výstupního napětí, v závislosti na hodnotě otevření proudového okruhu.

Impedance a konečná délka propojovacích kabelů

Impedance a konečná délka propojovacích kabelů mohou rovněž rezultovat do systematických chyb při měření napětí při jakékoli frekvenci.

Při RF a mikrovlnných frekvencích, zkreslení a vzájemné ovlivnění komponent, které

charakterizují impedanci přenosové linie měřicího systému, mohou být jedním z nejdůležitějších zdrojů chyb a systematických složek nejistot. Platí to pro měření výkonu a zeslabení. Je to proto, že obvykle nejsou známy koeficienty fázového posuvu (odrazu) napětí, a následně potom nelze aplikovat korekce.

10 Stanovení nejistoty při měření (příklad)

Hlavním cílem tohoto MPM není stanovení nejistoty, ale hlavně ochrana zařízení před poškozením. Čistota a správné mechanické rozměry jsou základní podmínkou pro správné měření. Při náročnějších aplikacích se provádí měření s několika postupně vzájemně pootočenými polohami konektoru (např. pro 0°, 120°, 240°).

Nejistotu ovlivňují i následující podmínky. U RF a mikrovlnných frekvencí, může okolní teplota např. ovlivňovat činnost attenuátorů a impedančních etalonů, které závisejí na hodnotách jejich mechanických rozměrů, resp. na jiných přesných komponentech. Zařízení, které využívají termální citlivosti, jako snímače výkonu, mohou být ovlivněny rychlými teplotními změnami, které mohou být zapříčiněny manipulací, nebo vystavením slunečnímu světlu.

Mnoho měřicích přístrojů obsahuje i elektrostatičky citlivé součástky ve vstupních nebo výstupních obvodech a proto je třeba dodržovat pravidla EMC i při práci s jejich konektory.

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.).

Podle ČSN EN ISO/IEC 17025:2018, bodu 7.8.4. Kalibrační certifikáty - specifické požadavky 7.8.4.1 kalibrační osvědčení musí obsahovat následující a v části b) podmínky (např. prostředí), při nichž byly prováděny kalibrace, které mají vliv na výsledky měření. Z hlediska konektorů je důležité popsat v kalibračním listu dostatečně podrobně provedené kontroly konektorů a jejich výsledek v části certifikátu popisujícím podmínky měření.

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 každý 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

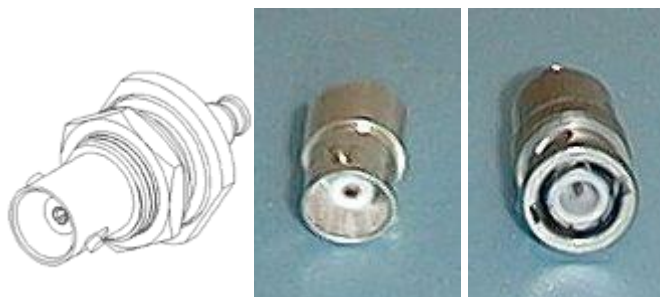
Upozornění

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.

Příloha

Vlastnosti hlavních často používaných typů konektorů

BNC



Obr. č. 13: Ukázky provedení konektorů BNC

BNC je nejrozšířenější koaxiální konektor na nf měřících přístrojích, viz obr. č. 13.

Používá se hlavně pro méně významné spoje. Pro jeho použití platí z tohoto MPM hlavně vizuální kontrola a případné čištění, pro náročnější aplikace se převede přechodovým členem na metrologicky kvalitnější konektor, jako je typ N.

Pojmenován je podle svých vynálezců, kterými byli Paul Neill z Bell Labs (vynálezce N konektoru) a vývojář od firmy Amphenol Carl Concelman. Název BNC se někdy vykládá jako "Baby Neill-Concelman", "Baby N conector", "British Naval Connector", "Bayonet Nut Connector".

BNC konektor existuje v provedení 50 Ω BNC i 75 Ω BNC

Vlastnosti:

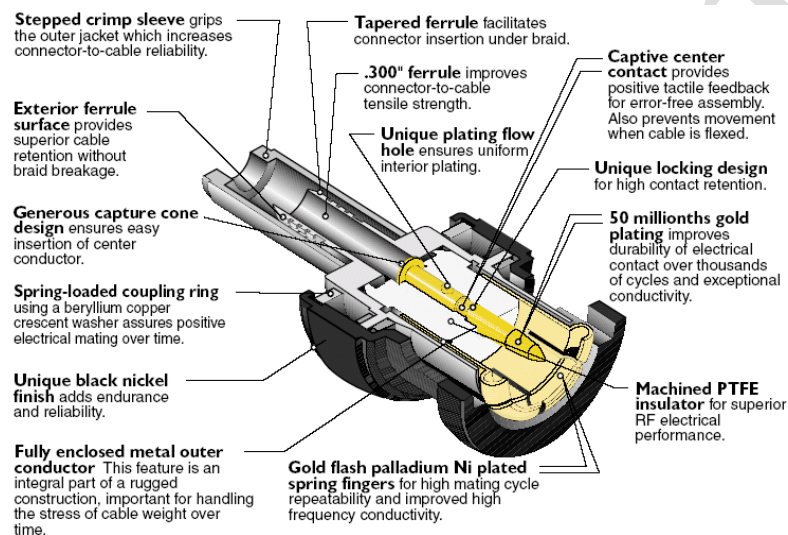
Impedance	50 Ω
Rozsah frekvence	0 až 4 GHz
Max napětí	500 V špička.

Materiál konektoru je kontaktní kolík z mosazi, zdířka beryliová měď nebo fosforbronz, stříbřená nebo zlacená, ostatní části z mosazi, niklované nebo stříbřené.



Obr. č. 14: Ukázky provedení vnějších segmentů u konektorů BNC

Prakticky všechny střídavé měřiče prvků a generátory používají konektory BNC. Tento konektor je velmi rozšířený, ukázka provedení viz obr. č. 14. Odpor vnitřního vodiče tohoto konektoru podle USA vojenské normy má být 1,5 mΩ u vnějšího 0,2 mΩ. Vnitřní kolík u lepších provedení bývá zlacená mosaz, zdiřka z beryliového bronzu, také obvykle zlaceného. To zajišťuje stabilní přechodový R, který by v průběhu životnosti konektoru neměl přesáhnout uvnitř vodiče 12 mΩ. Vnější vodič je tvořen z několika segmentů. V této oblasti výrobci u levných typů šetří a provádí tyto segmenty jako kuželové hladké nebo s malým nalisovaným proužkem bez dostatečné pružící schopnosti. Proto se levné typy konektorů pro měřicí účely nehodí. Dielektrikum konektorů je obvykle velmi kvalitní PTF nebo FEP, takže na ztráty čistý konektor vliv nemá. Konstrukci kvalitního konektoru BNC (výrobce Trompeter) ukazuje obr. č. 15. Za povšimnutí stojí hlavně provedení segmentů vnějšího vodiče.



Obr. č 15: Ukázka provedení kvalitního konektoru BNC (výrobce Trompeter)

Ukázka jiného provedení přechodu konektorů BNC na banánky

Přechody z BNC na banánky patří mezi spolehlivé přechody dlouhou životností. Pokud dojde k vadě, bývá to na spojovacích vodičích uvnitř přechodu, které jsou ale zalitím do plastu poměrně dost chráněny.



Obr. č. 16: Ukázky provedení spojek konektorů BNC

Komerční spojky typu zdírka-zdírka se časem uvolní a spojení není spolehlivé. Je třeba počítat s jejich omezenou životností a po čase je vyměnit. Je to málo stabilní prvek. Spojky kolík-kolík se většinou používají méně často a mají i delší životnost.



Obr. č. 17: Ukázky provedení T kusů konektorů BNC

T kusy jsou nezbytné hlavně při impedančních měřeních, ukázky provedení T kusů viz obr. č. 17. Je nutné je pravidelně kontrolovat, hlavně na přechodový odpor a jeho stabilitu mezi kolíkem na boční straně a ostatními kolíky. Některé T kusy jsou dělány tak, že střední vodič v podélné větvi je průchozí, ale střední vodič z boční větve mívá na sobě nasazenou pružinku, kterou se dotýká středního vodiče podélných větví. Toto spojení nemusí být stabilní. Protože T kusy jsou nerozebíratelné, je možné bez destrukce kontrolovat provedení jen měřením odporu.

Kleštiny u dutinky jsou u běžných levných provedení nekvalitní a nejlepší řešení je takové konektory cca po roce používání bez lítosti zlikvidovat.

Vnější segmenty jsou u levných variant nekvalitní a takové konektory nepatří do měření (hlavně typy s hladkým vnějším segmenty).

U T kusu se musí kontrolovat DC R od kolíčku bočního vodiče.



Obr. č. 18: Na obrázku vlevo konektor TNC se závitem, vpravo klasický BNC

Konektor TNC

je závitová verze konektoru BNC. Konektor má impedanci 50Ω a pracuje nejlépe v kmitočtovém spektru 0 - 11 GHz. Má lepší parametry než BNC konektor při mikrovlnných frekvencích,

navržený pozdní padesátá léta, výrobci různí. Obecné specifikace - Konektor TNC je opatřen závitem 7/16 " - 28, Průměr díl s kolíkem: 0,590 in (15,0 mm), díl se zdírkou: 0,378 in (9,6 mm). Závít 7/16 - 28 UNEF **75 ohm TNC**. Většina konektorů TNC má typ 50 ohmů, i když je použita s koaxiálním kabelem jiných impedancí, ale také je k dispozici i série 75 ohmů poskytující dobrý SWR přibližně do 1 GHz. Ty mohou být rozpoznány redukovaným množstvím dielektrika na spojených koncích. Jsou propojitelné se standardními typy.

Twin BNC nebo twinax, (BNO).

Konektory Twin BNC (známé také jako twinax) používají stejný bajonetový uzávěr jako obyčejný BNC konektor, ale obsahují dva nezávislé kontaktní body (jeden pro zástrčku a jeden pro zásuvku) umožňující připojení 75 ohmových nebo 95 ohmových stíněných diferenciálních párů, jako je RG - 108A. Mohou pracovat až do 100 MHz a 100 voltů. Nemohou se spojit s běžnými konektory BNC. Zkratka pro konektory twinax byla BNO (Süchner).

Triaxiální konektor BNC

Triaxiální (také známý jako triax) konektory jsou variantou na BNC, která nese signál a ochranný i zemnicí vodič. Ty se používají v citlivých elektronických měřicích systémech. Dřívější triaxiální konektory byly navrženy pouze s dalším vnitřním vodičem, ale později triaxiální konektory také obsahovaly třípásmové uspořádání, které vyloučí náhodné nucené spojení s BNC konektorem. Existují adaptéry, které umožňují některé možnosti propojení mezi triaxiálními a BNC konektory.

Vysokonapěťové konektory

Pro vyšší napětí (nad 500 V) se obvykle používají konektory MHV a SHV. Konektory MHV se snadno mylně zaměňují za typ BNC a mohou se s nimi spojit hrubou silou.

Miniaturní konektory

BNC konektory se běžně používají v elektronice, ale v některých aplikacích jsou nahrazeny miniaturními konektory LEMO 00, které umožňují výrazně vyšší hustoty v zapojení. V průmyslovém provedení se pro produkty s vyšší hustotou používají i konektory DIN 1.0 / 2.3 a HD-BNC

V SSSR byly konektory BNC zkopírovány jako konektory SR. V důsledku přepočtu mezi imperiálními a metrickými měřeními se jejich rozměry mírně liší od rozměrů BNC. Jsou však s nimi obecně zaměnitelné, někdy s použitím síly. Totéž bylo provedeno i pro konektory N.

N konektor

N konektor je nejrozšířenější v praxi a pro jeho použití platí všechna doporučení tohoto MPM.



Obr. č 19: Ukázky provedení N konektorů

Je pojmenován podle Paul Neilla z Bell Labs, který ho navrhl v roce 1940. N konektor zajišťuje spolehlivé a těsné propojení.

Vlastnosti:

Impedance	50 Ω
Rozsah frekvence	0 - 12 GHz, některé výrobky až do 20 GHz
Max napětí	1 500 V špička
Isolační odpor	5 G Ω
Kontaktní odpor spojení středního vodiče	1 m Ω
Kontaktní odpor spojení vnějšího vodiče	0,2 m Ω

Materiál kontaktní kolík z mosazi, zdírka beryliová měď nebo fosforbronz, stříbřené nebo zlacené, ostatní části mosaz, niklovaná nebo stříbřená. Nf vlastnosti spojení středního vodiče jsou srovnatelné s BNC, ale spojení u vnějšího vodiče je podstatně lepší než u BNC.

N konektor je odolný, často používaný typ konektoru. Důvody jsou jeho robustní konstrukce a velikost. Konektor byl navržen s cílem získat odolnost proti neúmyslnému poškození vyosením konektorů při spojování (za předpokladu, že nakonec se konektory správně propojí). N konektor se vyrábí v provedení 50 Ω a 75 Ω . Oba typy se běžně používají. Je snadné poškodit nebo jenom ohnout kleštinu a způsobit vznik nespojitosti ve vedení a to spojením 50 Ω a 75 Ω provedení. Kompenzace takto vzniklé nespojitosti není jednoduchá. Referenční rovina N konektoru je v rovině styku vnějších vodičů. Na rozdíl od některých jiných konektorů typu dutinka/kolíček je místo styku středních vodičů posunuto o 5,258 mm (0,207 in) od referenční roviny. Zvolené posunutí zmenšuje možnost mechanického poškození kleštiny vlivem vyosení při spojování konektorů.

Pozor!

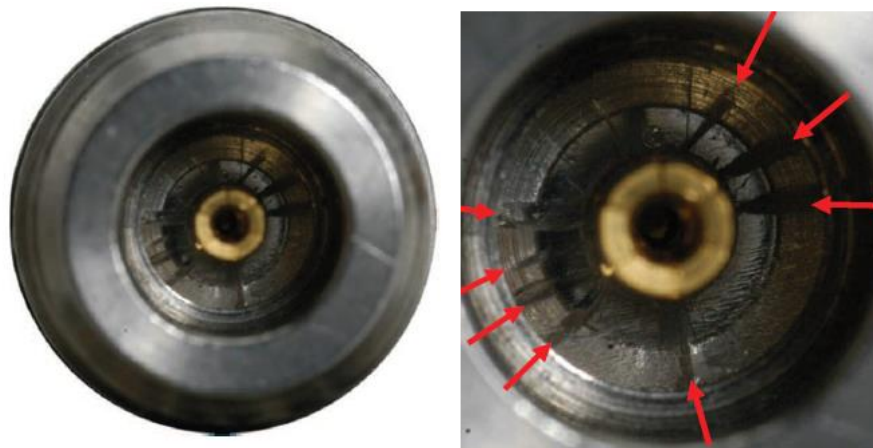
Obvykle se v laboratoři používají N konektory 50 Ω . Používají-li se v laboratoři typy 50 Ω i 75 Ω , je naprosto nezbytně nutné jednu z impedancí výrazně (barevně) označit.

Dutinka konektoru s impedancí 75 Ω se kolíčkem konektoru 50 Ω mechanicky zničí. Vzájemné spojení konektorů s impedancí 75 Ω a 50 Ω je nemožné!



Obr. č. 20: Ukázka provedení T kusu konektoru N

T kusy N konektorů je nutné pravidelně kontrolovat, hlavně na přechodový odpor a jeho stabilitu mezi kolíčkem na boční straně a ostatními kolíky. Některé T kusy i u konektorů typu N jsou dělány tak, že střední vodič v podélné větvi je průchozí, ale střední vodič z boční větve mívá na sobě nasazenou pružinku, kterou se dotýká středního vodiče podélných větví. Protože T kusy jsou nerozebíratelné, je možné bez destrukce kontrolovat provedení jen měřením odporu.



Obr. č. 21: Ukázka poškození N konektorů

Konektor APC-7

RF koaxiální konektor Výrobce původně Amphenol, pak Hewlett-Packard, pak jiní. Průměr 7 mm (0,28 in) pásmo 0-18 GHz. Konektor APC-7 (označovaný také jako **konektor o průměru 7 mm**) je **přesný koaxiální konektor** používaný v laboratorních mikrovlnných testovacích zařízeních pro frekvence do 18 GHz. Konektory APC-7 jsou výhodné, protože mají koeficient s nízkým odrazem a jsou bez pohlaví. Konektory jsou **drahé**, takže se zřídka používají mimo laboratoř, kde jejich náklady mohou být odůvodněny přesností a pohodlností. Kvůli vysokým nákladům, omezením kmitočtu do 18 GHz a novým laboratorním postupům jsou konektory nyní už neobvyklé. Moderní nízkofrekvenční mikrovlnná zařízení často používají levnější konektor 3,5 mm (26,5 GHz). Zařízení pro vyšší frekvence musí používat konektory s vyššími výkony, jako jsou konektory 2,92 mm (40 GHz), 2,4 mm (50 GHz), 1,85 mm (67 GHz) nebo 1,0 mm (110 GHz). Konektory APC-7 mají několik žádaných vlastností. Konektory jsou bez pohlaví. Tím se zabrání některým nepříjemným adaptérům nebo potřebné duplicitě laboratorních standardů. U pohlavního konektoru může laboratoř potřebovat přesné koncovky samčího pohlaví i přesné koncovky typu samice. S konektorem bez pohlaví je zapotřebí pouze jedna koncovka. Konektory mají dobře definovanou referenční rovinu. Následně konektory zjednodušují některá měření. Spojená dvojice konektorů APC-7 má nízký koeficient odrazu a poměr stojatých vln nízkého napětí (VSWR). Nízký koeficient odrazu znamená lepší přesnost měření. Typický VSWR je 1.025: 1 při 18 GHz. Spárovaný pár vytváří dobře opakovatelné spojení. Pár má opakovatelný koeficient odrazu na ± 0.001 . V důsledku toho mají laboratorní měření sníženou nejistotu.

Konektory SMA

(SubMiniature verze A) jsou polo-přesné koaxiální RF konektory vyvinuté v šedesátých letech jako minimální konektorové rozhraní pro koaxiální kabel se šroubovým spojovacím mechanismem. Konektor má impedanci 50 Ω . SMA je určen pro použití z DC do 18 GHz. Konektory SMA mohou být vizuálně zaměněny se standardním domácím 75 ohmovým konektorem typu F koaxiálního průměru [průměr: kruhový nebo hexadecimální 7/16 palce (11 mm), vnější závit 3/8 "(9,5 mm)], protože existují pouze kolem 2 mm z celkového rozdílu ve specifikacích rozměrů. Typ F nelze připojit pomocí konektorů SMA bez použití

adaptéru. Název SMA se také používá pro povrchově podobný konektor optického vlákna.



Obr. č. 22: Konektor SMA

Konektor SMB

Navrženo v 60. letech. Výrobci různí, provedení kabelové koaxiální, přenášené pásmo typicky 0 - 4 GHz. Konektory SMB jsou menší než konektory SMA. Jsou k dispozici v impedanci 50 Ω nebo 75 Ω . Nabízejí vynikající elektrický výkon od DC do 4 GHz. Konektory jsou k dispozici pro dvě velikosti kabelů.

Adaptéry

Konektory APC-7 vyžadují adaptéry, které se mění od konektorů použitých v laboratoři ke konektorům používaným na každodenních produktech. Tyto adaptéry jsou drahé přesné přístroje. Připojení na čelním panelu přístroje nemusí být opakovatelné, protože tyto spojky zůstanou při zkouškách spojeny. Moderní síťové analyzátoři se zaměřují na referenční rovinu v blízkosti zkoušeného zařízení a mají funkce jako automatizovaná kalibrace, odstraňování vlivu adaptéru. Výhody konektoru APC-7 tím byly sníženy.



Obr. č. 23: Adaptor z SO-239 na konektor [BNC](#)

Staré typy konektorů**UHF konektor****Obr. č. 24:** Konektor UHF

Výrobci různí, průměr 18 mm (typický) kabelové koaxiální. Přenášené pásmo typicky 0 - 100 MHz. Označení konektor SO-239 (zásuvka) a PL-259 (konektor). Původně konektor byl navržen tak, aby přenášel signály na frekvencích až 300 MHz, ale pozdější měření ukazují omezení nad 100 MHz. Spojka má standardní závit UNEF o průměru 5/8 palce (24 tpi). Všechny konektory z řady konektorů UHF jsou podle návrhu konstruovány tak, že používají 5/8-palcový závitový kryt 24 tpi pro připojení stínění a konektor s vnitřním vodičem o průměru 0,156 palce (4 mm). Podobné konektory s nekompatibilním metrickým závitem o průměru 16 mm a 1 mm byly vyrobeny, ale tyto nejsou podle definice standardní konektory UHF. UHF konektory mají nestálou impedanci. Z tohoto důvodu jsou UHF konektory obecně použitelné přes HF a spodní část frekvenčního rozsahu VHF. Přes jméno, UHF konektor je zřídka používán v komerčních aplikacích pro dnešní UHF frekvence, protože nekonstantní impedance vytváří měřitelné odrazy elektrického signálu už nad 100 MHz. Konektory UHF dokáží zpracovávat špičkové výkonové úrovně vysokofrekvenčního signálu nad jeden kilowatt, a to na základě jmenovitého napětí až 500 V.

Miniaturní konektor UHF

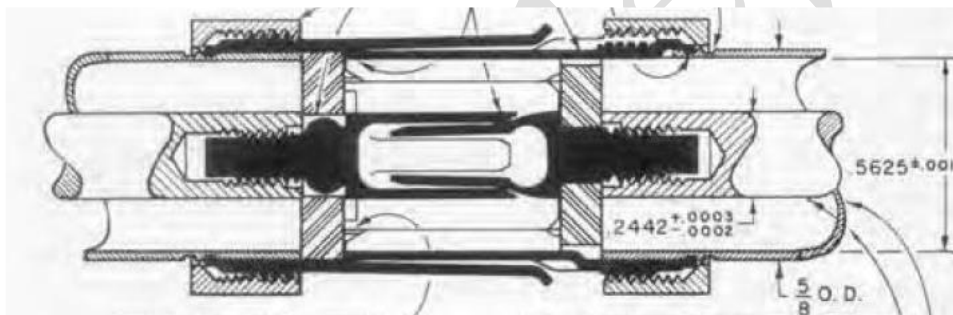
Konektory Mini-UHF jsou miniaturizované verze UHF konektorů, které jsou určeny především pro použití v mobilních telefonech a podobných aplikacích, kde velikost je důležitým faktorem. Představen v sedmdesátých letech, Mini-UHF má velikost závitu 3/8-24 a pracuje až do 2,5 GHz.

7/16 DIN konektor

Konektor 7-16 DIN nebo 7/16 (sedm a šestnáct milimetrů DIN) je 50 Ω závitový RF konektor používaný pro připojení koaxiálních kabelů. Jedná se o **jeden z nejpoužívanějších vysokofrekvenčních RF konektorů**. Původně populární v Evropě, získala rozšířené využití v USA a jinde. Nesmí být zaměňována s podobně znějícími přírubovými adaptéry EIA, které jsou označeny vnějším průměrem ve zlomcích palce. 7/16 DIN je vysokofrekvenční konektor široce používaný v anténních systémech nebo

základních stanicích, který poskytuje lepší výkony týkající se rušení a odolnosti proti intermodulaci. Vnitřní kontakt na DIN konektor 7/16 měří 7 mm, zatímco vnější kontakt na konektoru měří 16 mm. DIN je zkratka pro Deutsches Institut für Normung, která harmonizovala standard pro konektor. (Dříve 7-16 byl vyvinut jako vojenský "speciální" a vyrobil ho Spinner a další.) 7/16 je odkaz na vnitřní průměr 7 mm vnitřní zásuvky a odpovídající 16 mm vnějšího kontaktu. Vnější závit je 29 mm, rozteč 1,5 mm. Stejně jako u všech vysokofrekvenčních konektorů je bezpečná manipulace s energií určena zahříváním a následnou oxidací středového kolíku, pokud je použitý pro nepřetržitý provoz při vysokých frekvencích a porušením napětí mezi vnitřním a vnějším spodním kmitočtem nebo krátkým pulzním provozem pro spolehlivý provoz s vysokým výkonem. Konektory musí být sestaveny s důrazem na čistotu a vyrovnání kontaktních ploch. K dispozici jsou i větší konektory ve stejné skupině, 13 - 30 DIN (vnější závit 50 mm závit, 3 mm rozteč) a (vzácně) 25 - 58 DIN umožňující postupně vyšší ovládání výkonu (přibližně dvakrát až čtyřikrát), ale jako kabely, které vyhovují těmto konektorům, jsou vzácné, ani konektor nemá dosud stejnou univerzální popularitu jako 7 - 16 DIN a tyto konektory stále zůstávají neviditelné mimo oblast několika výrobců speciálních vysílacích zařízení 13 - 30DIN 25 - 58 DIN.

GR konektor



Obr. č. 25: Detail spojení konektoru GR 874



Obr. č. 26: Ukázka provedení konektoru GR 874

Typ RF koaxiální konektor. Navrženo 1947 - 1948, výrobce General radio, kabelové koaxiální. Konektor GR, oficiálně General Radio Type 874, byl typ konektoru RF používaného pro připojení koaxiálního kabelu a **byl široce používán** v elektronickém

testovacím zařízením General Radio a v některých přístrojích Tektronix, vyráběných od padesátých let do sedmdesátých let minulého století. Konektor měl několik žádaných vlastností, jako je dobrá regulace elektrické impedance v širokém rozsahu frekvencí, tedy nízké odrazivosti a spolehlivé spojení i hermafroditismus, takže neexistovaly žádné "mužské" nebo "ženské" konektory. Jakýkoliv konektor GR se může spojit s jiným konektorem GR. Tato poslední charakteristika byla dosažena tím, že oba vnitřní a vnější vodiče byly vyrobeny ze čtyř listů, z nichž dva byly lehce přemístěny směrem ven a dva z nich byly lehce přemístěny dovnitř. Tím, že otočíte jeden konektor o 90 stupňů, jeho vnitřní listy se spojují s vnějšími listy druhého konektoru a naopak. Když byly tyto konektory často spojovány, vnitřní listy byly náchylné k rozbití. V roce 1961 byl na konektor 874 přidán volitelný zajišťovací mechanismus sestávající z vnější šestihranné matice obklopující zachycený závit a tím vznikl:

Přesný konektor GR-900 o průměru 14 mm, si uchovává hermetizovaný hermafroditický mechanický anti-spin mechanismus, který chrání bezpotenciálové rozhraní RF od otáčení a otřepů při utažení uzamykacího mechanismu. Nakonec limitovaný kmitočtový rozsah 14 mm konektoru a jeho vysoké výrobní náklady překonaly jeho snadnou montáž a GR-874 byl obecně nahrazen konektorem typu N 7 mm a jeho variantami, konektorem BNC a konektorem TNC a později vyšší 3,5 mm konektory SMA. GR-900 byl následně v této zásadní pozici nahrazen úplně bezpohlavním konektorem APC-7.



Obr. č. 27: Konektor MUSA

Konektor je **starý typ** koaxiálního původně vyvinutého pro ruční přepínání rádiových signálů. Má charakteristickou impedanci 50 Ω a byla přijata pro použití v rozvíjejícím se televizním průmyslu.

Konektor Musa byl navržen tak, aby byl robustní a spolehlivý, obvykle s použitím pevných stříbrných kontaktů, a střídal stříbrnou mosaznou nebo fosforovou bronzovou základnu. Ve spotřebních výrobcích mají stejné náklady také mnohem levnější konektory, jako je koaxiální konektor Belling Lee. Použití impedance 75 Ω jako standardu pro zařízení pro přenos videa může být do značné míry způsobeno lepším širokopásmovým výkonem dosažitelným z kabelu o délce 75 Ω než 50 Ω podobné fyzické velikosti a je obecně levnější. Historická volba 75 Ω se ukázala jako výhodná díky nejnovější technologii.

Neexistuje žádný zásadní důvod, proč by nebylo možné navrhnout video konektor s podobnými vlastnostmi jako MUSA, ale s impedancí 75Ω , nicméně k tomu nedošlo, což naznačuje, že poptávka po takovém konektoru na trhu je nízká. Často se používají konektory BNC 75Ω , které však nejsou díky svému bajonetovému zámku volně připojitelné jako konektory MUSA.

Nepronodejné

**Konektory pro televizní antény- jen pro informaci a úplnost
Není předmětem tohoto MPM****Konektor pro televizní anténu**

Konektor pro televizní anténu je hovorové název konektoru používaného pro propojení koaxiálních kabelů a pozemních VHF/UHF střešních antén, anténních signálních zesilovačů, distribučních zařízení CATV, televizorů a přijímačů FM/DAB. V Evropě a Austrálii se k tomuto účelu běžně používá konektor Belling-Lee (koaxiální konektor typu IEC 61169-2 typu 9,52). V ostatních částech světa je nejčastěji používán **konektor F**.



Obr. č. 28: Konektory pro televizní přijímače

F konektor

Obr. č. 29: Konektor F

Konektor F je koaxiální konektor, navrženo počátkem padesátých let, výrobci různí, provedení kabelové koaxiální. Průměr Hex drive (samec a samice) A / F 7/16 palce (11 mm) ženský typ 3/8 "(9,5 mm) pro vnější závity mužský typ. Liší se podle velikosti kabelu. Přenášené pásmo od 0 Hz do nejméně 2,15 GHz pro kabelovou televizi a univerzálně i pro satelitní televizi a kabelové modemy, obvykle s kabelem RG-6/U nebo ve starších instalacích s kabelem RG-59/U. Konektor F byl vynalezen na počátku padesátých let, při vývoji kabelové televize. V sedmdesátých letech se stal samozřejmostí na VHF a později UHF, televizních anténách ve Spojených státech, protože koaxiální kabely

nahradily dvojité vedení. Konektor F je levný, pohlavně tvarovaný, závitový konektor pro rádiové signály. Má dobrou impedanční shodu 75Ω pro frekvence přesahující 1 GHz a má využitelnou šířku pásma až do několika GHz. Konektory se spojují pomocí 3/8 v-32 unifikovaného extra jemného závitu (UNEF). Zásuvkový konektor má zásuvku pro centrální vodič a vnější závit. Samčí konektor má centrální kolík a matici s vnitřním závitem. Konstrukce umožňuje **nízkonákladovou konstrukci**, kde kabely jsou ukončeny téměř výlučně pomocí samčích konektorů. Centrální vodič koaxiálního kabelu tvoří přímo kolík. Samotný konektor se tedy skládá pouze z těla, které je obvykle převlečeno nebo přišroubováno přes ochranný opletek kabelu a matici, ani jeden z nich nemusí mít těsné tolerance. K dispozici jsou také verze s výstupem, jako ženské konektory se většinou vyskytují na přepážkách nebo jako spojky, které jsou často zajištěny stejnými závity jako konektory. Tak může být vyroben jako jeden kus, s centrálními zásuvkami a dielektrikem, zcela v továrně, kde lze snadno regulovat tolerance. Tento návrh je podmíněn povrchovými vlastnostmi vnitřního vodiče (který musí být pevný drát) a není odolný proti korozi; proto jsou pro venkovní použití potřeba vodotěsné verze (například na anténách). Odolnost proti korozi lze zlepšit pokrytím všech holých měděných drátů silikonovým tukem. Konektor F není odolný proti povětrnostním vlivům; ani závit ani spoj mezi tělem konektoru a uzavírací maticí. Díly s kolíkem jsou však obecně zesíleny o-kroužkem (asi 7 mm) uvnitř matice; tato těsnění mezi spojovacími plochami obou konektorů zajišťují dobrou hydroizolaci proti centrálnímu vodiči. Obvody kabelové a satelitní televize (jako běžná praxe) používají kompresní provedení s konektory F v prostorách zákazníka. V Evropě zablokují satelitní signály (950-2150 MHz) z LNB a stejnosměrné napájení a bloková signalizace ze satelitních přijímačů jsou blízké výhradně přes konektory F, které jsou pravděpodobně nejvhodnější pro pozemní, kabelové a satelitní TV instalace, kde je požadována dodávka velmi dobrých vysokofrekvenčních informací. Konektory Belling-Lee (IEC 169-2, používané na evropských pozemních přijímačích) nejsou vhodné pro dálkové dodávky frekvencí nad 500 MHz.

Konektory Flex F

Push-on (aka Flex) F konektory poskytují horší stínění proti mikrovlnným signálům vysoké intenzity pole. Tento problém s netěsností je spíše artefaktem ohýbaných nebo částečně rozbitých tlačných konektorů, ale většinou se nedá pozorovat u kompresních konektorů.

Koaxiální kabely - jen pro předběžnou informaci

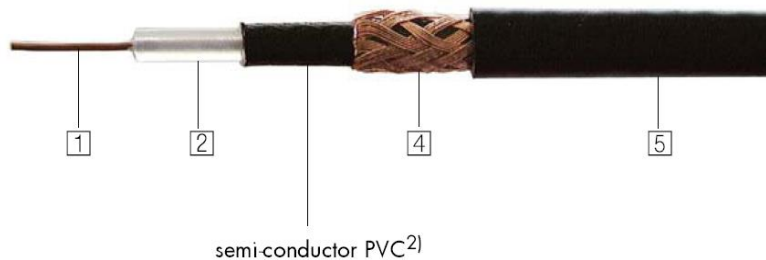
Běžné kabely

Použití koaxiálních kabelů v běžné praxi je omezeno dostupným sortimentem kabelů. Klasické 50Ω měřicí kabely používají koaxiální kabel **RG 58C/U**. Tento kabel obsahuje jako střední vodič 19 drátků o průměru 0,18 mm pocínovaných. Při impedanci 50 Ω je C na 1 m 101 pF, odpor vnitřního vodiče je 37 Ω na 1km a vnějšího 17 Ω na 1km. Stínící účinek není dokonalý, opletení je řídké s překrytím asi 95 %. Kabely pro počítačové sítě **ethernet**, mají 100 % krytí tím, že vnější vodič je tvořený Al fólií. Nevýhodou takových kabelů je to, že nejsou vhodné pro časté ohýbání, protože fólie se láme a paralelní vodič vedle fólie je velmi tenký. Při měření je ale častá manipulace s kabely nezbytná. Další možností je v některých případech použití kabelu **RG 213U**, který je velmi robustní, vnější vodič má 6,4 Ω na 1km a vnitřní 5,2 Ω na 1km. Měření bylo možné i s těmito kabely, ke kterým ale bylo nutno objednat speciální provedení BNC konektorů.

Nízkošumové kabely

Nízkošumové kabely jsou speciálně konstruovány pro potlačení triboelektrického jevu při měření velkých odporů nebo velmi malých signálů. Triboelektrický jev vzniká mechanickým namáháním izolace kabelu.

Pro běžné koaxiální kabely tímto způsobem může vzniknout proud 10^{-8} A až 10^{-12} A, pro nízkošumové je potlačen na 10^{-13} A až 10^{-15} A.



- 1 vnitřní vodič,
- 2 izolace z polyethylenu nebo teflonu,
- 3 polovodivá vrstva (s obsahem grafitu),
- 4 opletení (s pokrytím obvykle 90 % až 95 %),
- 5 vnější vrstva z PVC.

Obr. č. 30: Koaxiální nízkošumový kabel

Parametry nízkošumových kabelů jsou obvykle měřeny podle vojenské normy MIL-C-17G, §4.18.14. Měřen je kabel v délce 1,5 m a nesmí jeho pohybem vzniknout napětí nad 5 mV, viz http://www.hubersuhner.ru/products/cs/RF/Cables/RF_cables/cable_chapters/low_noise.pdf.

Kabely a konektory pro vf měření

Pro oblast frekvence cca nad 100 MHz jsou kabely a konektory hodnoceny podle jejich vložného útlumu a odrazů. Tato oblast je velmi podrobně zpracována a dokumentována a potřebné údaje i měřicí metody jsou běžně dostupné, proto je není nutné opakovat.

Kabely a konektory pro nf měření

Vlastnosti pro kabely a konektory pro nf měření jsou méně známé, proto uvedeme několik hlavních poznámek.

Vhodné by byly pro nf etalony konektory N, které mají malé přechodové odpory, pro vnitřní vodič pod $1 \text{ m}\Omega$ a pro vnější pod $0,2 \text{ m}\Omega$, bohužel ale se v této oblasti nepoužívají, a protože prakticky všechny přístroje a důležité etalony, hlavně pro širokopásmová měření, jsou opatřeny konektory BNC, nezbyvá než u těchto konektorů zůstat nebo použít adaptor. Kapacita koaxiálního kabelu je snadno měřitelná, relativně stabilní, což umožňuje ji zadat bez větších problémů kde je třeba, ke kompenzaci vlivu přívodů vodičů. Odpor koax. kabelu je také měřitelný bez větších problémů, je ale silně ovlivněný stabilitou přechodového odporu BNC konektorů, která může dosahovat až desítky % z hodnoty odporu kabelu. Vzhledem k velkému vlivu odporu na $\text{tg } \delta$ kabelu je problematické dosáhnout vyhovující kompenzace. Posledním parametrem zbývajícím pro zadání korekcí je indukčnost L kabelu. V tomto případě se nejedná o L z vlnové impedance kabelu, ale o L smyčky kabelů mezi zdrojem, objektem a druhou svorkou zdroje (například impedančního mostu). L závisí na poloze kabelů a je poměrně nestabilní. Pro většinu kabelů délky 1 m je L $1,1 \text{ }\mu\text{H}$, C je 100 pF pro kabely o impedanci $50 \text{ }\Omega$.