

Měření elektrických parametrů antén

Ing. M. Procházka, CSc.

Anténa tvoří základní součást radiokomunikačního systému a jako taková musí splňovat řadu požadavků na technické parametry, které umožňují provoz celého systému v daných podmínkách.

Parametry se kontrolují při výrobě nebo v provozu měřením, pro které byly vypracovány různé měřicí metody a mezinárodní doporučení. V dalším uvedeme přehled základních měřících metod, které se běžně používají, a v závěru nalezneme čtenář i přehled odborné literatury, včetně příslušných mezinárodních doporučení.

Rádiové komunikační systémy pokrývají v současné době velmi široké kmitočtové pásmo. Rozměry příslušných anténních systémů jsou v zásadě závislé na délce použité vlny, takže i měřicí metody budou různé (např. pro antény rozhlasových a KV vysílačů, nebo naproti tomu pro antény pro cm, mm vlny). Hlavní pozornost budeme věnovat měření antén pro kmitočtová pásma 30 MHz až 30 GHz a okrajově se zmíníme i o metodách měření na kmitočtech pod 30 MHz. Měřicí metody pro pásma nad 30 GHz se podstatně neliší od metod pro pásma kolem 30 GHz. Nároky na přesnost mechanické výroby měřících zařízení jsou však podstatně vyšší.

Předpokládáme, že čtenář je seznámen se základní terminologií oboru, nebudou tedy uváděny definice základních pojmů, jako je např. vstupní impedance antény a impedanční přízpůsobení, směrový diagram, polarizace elektromagnetické vlny, zisk antény, křížová polarizace apod.

Za základní elektrické parametry antén, které je nutné ověřovat měřením, považujeme:

- vstupní impedance;
- směrový diagram (polarizace elektromagnetického pole, zisk).

Mimo shora uvedené parametry existují též izolační vlastnosti (zemně-

ní, ochrana proti přepětím apod). Těmito parametry se zabývat nebudeme, neboť jsou součástí celkových izolačních požadavků na systém.

Protože elektromagnetické pole vyzařované nebo přijímané anténou působí „na dálku“, je přesnost měření parametrů antény závislá na poloze, vzdálenosti antény vzhledem k okolním objektům a tedy i na vzdálenosti od země. Vzdálenost se určuje délkou vlny měřícího kmitočtu. Čím je delší vlna, tím je kritičtější vliv relativně blízkých předmětů a naopak.

Měřicí metody

Impedance a koeficient odrazu

Impedanci antény měříme včetně mechanické provozní podpěry. Jestliže má anténa souměrné napájení, musíme použít symetrizační člen (pokud použité měřicí zařízení nemá pro měření souměrných zátěží vstup). Vliv určitého symetrizačního členu je třeba brát v úvahu zejména při měřeních v širším kmitočtovém pásmu. K měření impedance se dříve používaly různé můstky nebo reflektometry, případně měřicí vedení na cm vlnách. V současné době poskytuje průmysl měřících přístrojů velký výběr tzv. Network analyserů, které ve spojení s počíta-

čem vyhodnotí měřenou impedanci rovnou na grafickém záznamu, např. na Smithově diagramu. Renomovanými firmami jsou např. Hewlett Packard nebo Rohde Schwarz.

Směrový diagram

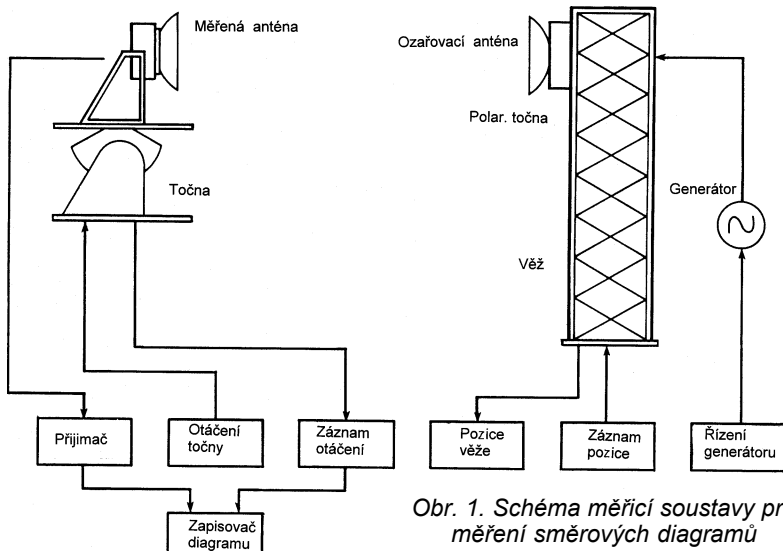
Pro měření směrového diagramu musí být měřená anténa, zapojená např. jako přijímací, umístěna do homogenního elektromagnetického pole (viz. Měření směrových diagramů a zisku) s polarizací odpovídající pracovní polarizaci antény. Pokud je měřená anténa zapojena jako vysílací, platí předešlé pro přijímací anténu indikátoru. Na základě principu reciprocity jsou směrové diagramy měřené antény zapojené jako přijímací totožné s diagramy antény zapojené jako vysílací.

Měřená anténa se zpravidla umísťuje na tzv. točnu, která je konstruována tak, že umožňuje jednak natačení antény v horizontální rovině, ve které je měřen diagram, a dále umožňuje natočení antény kolem vodorovné osy tak, aby mohly být měřeny různé řezy prostorovým diagramem. Velmi výhodné je, když anténní točna umožní naklonění antény ve vertikální rovině. Toto naklonění využijeme při měření se zvýšenou polohou měřené antény, které omezuje odraz od země (viz. Měření směrových diagramů a zisku).

Konstrukce měřicí točny by měla být z izolačního materiálu, aby kovová konstrukce neovlivňovala rozložení pole kolem měřené antény. Otáčení točny s anténou je dále přenášeno na zapisovací zařízení spojené s výstupem přijímače. Popsaná točna odpovídá maximálním požadavkům na kvalitu měření. Náklon ve vertikální rovině nelze často pro složitost konstrukce realizovat - musíme se spokojit z měřením pouze v horizontální rovině.

Přesné zaměření na ozařovací anténu je třeba dodržet vždy, zejména měříme-li antény s velmi úzkým hlavním svazkem diagramu. Požadavek celoizolační konstrukce narazí často na ekonomické problémy. Potom musíme dbát na to, aby alespoň měřená anténa byla dostatečně vzdálena od kovových součástí točny a upevněna na izolačním držáku (dobře se osvědčily bloky z pěněného polystyrénu). Vertikální osa otáčení by měla procházet fázovým středem měřené antény. Pokud to podélné rozměry antény neumožní (zejména na nižších kmitočtech pásma), je třeba polohu antény vůči ose otáčení označit na naměřených diagramech.

Ozařovací anténa je umístěna na podstavci (věži), který umožňuje nastavení výšky antény tak, aby maximum jejího záření bylo na spojnici mezi měřenou anténou a ozařovací anténou. Upevnění ozařovací antény nebo její konstrukce má umožnit natačení antény podél vodorovné osy



tak, aby se mohla měnit orientace polarizace vlnění dopadajícího na měřenou anténu. Schématické znázornění shora popsané měřicí soustavy je na obr. 1.

Přístrojové vybavení měřicího pracoviště je závislé na kmitočtovém pásmu, ve kterém se bude měřit, a na velikosti měřených antén. Zásadně jde o určení potřebného výkonu vysílače a citlivosti přijímače. Výkon na výstupu měřené přijímací antény vyvolaný vysílací anténou je dán vzorcem:

$$P_r = P_o(\lambda/4\pi R)^2 g(\Theta, \phi) g'(\theta', \phi'), \quad (1)$$

kde P_r je přijatý výkon [W],
 P_o je vstupní výkon na vysílací anténě [W],
 R je vzájemná vzdálenost mezi anténami
 λ je vlnová délka (λ i R je ve stejném měřítku),
 $g(\Theta, \phi)$ je zisk vysílací antény ve směru (Θ, ϕ) ,
 $g'(\theta', \phi')$ je zisk přijímací antény ve směru (θ', ϕ') za předpokladu, že obě antény mají stejnou polarizaci.

Tato rovnice se dá upravit pro stanovení minimální úrovně přijatého signálu a úrovně vysílacího výkonu tak, aby se určil dynamický rozsah, ve kterém se dá měřit směrový diagram.

Požadujeme-li např. dynamický rozsah měření alespoň 40 dB, který určuje nejmenší úroveň měření postranních laloků směrového diagramu, bude rovnice (1) vypadat následovně:

$$L_r = G_{\max} + G'_{\max} - 40 \text{ dB} - 20 \log(4\pi R/\lambda), \quad (2)$$

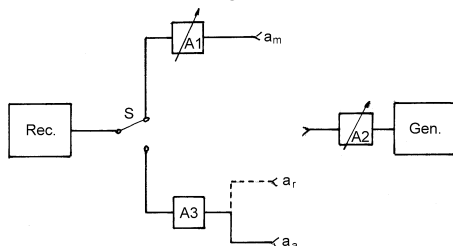
kde L_r je úroveň signálu na výstupu přijímací antény [dBm],
 G_{\max} je maximální zisk vysílací antény [dB],
 G'_{\max} je maximální zisk měřené antény [dB].

Uvedená úroveň signálu L_r přijatého měřenou anténou platí pro orientaci přijímací antény ve směru minima směrového diagramu -40 dB.

Naměřené diagramy zobrazujeme buď v ortogonálním nebo polárním zobrazení. Vysoce směrové diagramy (např. parabolické reflektory) je výhodné zobrazit vždy v ortogonálním zobrazení.

Polarizační diagram

Některé antény pracují s kruhovou nebo eliptickou polarizací. Pro měření polarizačního diagramu v daném směru



Obr. 2. Schéma měřicí soustavy pro měření substituční metodou

měřeného diagramu natočíme měřenou anténu do daného směru a otáčením vysílací antény (lineárně polarizované) ve spojení se zápisem naměřeného signálu změříme závislost úhlu natočení vysílací antény na výstupním signálu přijímače. Tento způsob použijeme i tehdy, jestliže chceme znát úroveň tzv. křížové polarizace lineárně polarizované antény.

Zisk

Substituční metoda

Pro dále popsanou metodu platí opět zákon reciprocity, takže nezáleží na tom, zdali měřená anténa je přijímací nebo vysílací.

Měřená anténa spolu s jejím nosným systémem se umístí do měřicího prostoru popsaného v kapitole „Měřicí prostředí“ a je vystavena dopadu rovinné elektromagnetické vlny, která má polarizaci odpovídající polarizaci měřené antény. Výstupní výkon antény, dopravený do specifikované zátěže, se srovnává s výkonem substituční referenční antény.

Referenční anténu je třeba substitučně umístit do stejného místa, jako byla umístěna měřená anténa. Zisk referenční antény musí být přesně znám, stejně jako její směrovost, polarizace a charakteristika křížové polarizace. Polarizace referenční antény při měření musí být totožná s polarizací antény měřené. Doporučuje se, aby se referenční anténa typem nelišila od antény měřené. Pokud je to možné, je třeba, aby fázové středy obou antén (měřené i referenční) byly při substituci ve stejné poloze.

Spojovací vedení mezi měřenou a referenční anténou a měřícím přijímačem by mělo být stejné. V opačném případě musíme znát útlum vedení pro každý měřicí kmitočet. Je třeba zajistit, aby spojovací vedení u měřené antény zaujímaloby normální provozní polohu. V případě, že není tato poloha specifikována, musí se dbát na to, aby poloha spojovacího vedení měla na měřené hodnoty co nejmenší vliv. Použije-li se nesouměrné vedení k připojení souměrně napájené antény, je třeba použít symetrizačního členu.

Při měření je třeba kontrolovat elektrickou stabilitu měřicího zařízení. Proto je při měření vhodné použít přijímací monitorovou anténu a umístit ji do polohy, kde neovlivní rozložení pole v místě měřené antény.

Stupeň impedančního nepřizpůsobení mezi měřenou anténou, vedením a měřícím zařízením nemá na obou stranách vedení přestoupit koeficient odrazu 0,1. Totéž platí pro obvody referenční antény.

Příklad zapojení měřicího přístroje a antén je na obr. 2. Zeslabovačem zařazeným do vedlejšího vedení nastavíme stejnou úroveň signálu na vstupu přijímače pro obě polohy pře-

pínače S, který připojuje na přijímač jednak monitorovou anténu a_m a jednak referenční anténu a_r . Zeslabovač A3 je zpravidla neměnný, s útlumem 3 dB a zmenšuje případný vliv impedančního nepřizpůsobení antén referenční a měřené a_a .

Zeslabovač A2 je přesný proměnný zeslabovač. Tímto zeslabovačem nastavíme stejnou výšku indikátoru přijímače jednak po připojení referenční antény a jednak po připojení měřené antény. Rozdíl mezi oběma čteními zeslabovače Ad udává rozdíl mezi ziskem referenční antény G_r a měřené antény G_a . Výsledný zisk měřené antény je dán

$$G_a = G_r + - Ad \quad (3)$$

Pozn.: znaménko - předpokládá, že zisk měřené antény je menší než zisk referenční antény. Tomuto případu se zpravidla vyhýbáme a za referenční anténu volíme anténu s větším ziskem, než je očekávaný zisk antény měřené.

Zisk měříme většinou pro několik kmitočtů v pracovním pásmu antény a několikrát měření opakujeme, vždy s kontrolou signálu monitorovací antény. Naměřené zisky sestavíme do tabulky nebo do grafu. Rozptyl naměřených údajů pro daný kmitočet ukazuje na stabilitu našich přístrojů.

Speciální měřicí přijímače pro tyto účely mají vedlejší vstup pro signál z monitorovací antény a jejich citlivost je průběžně řízena podle případné odchylky signálu vysílače.

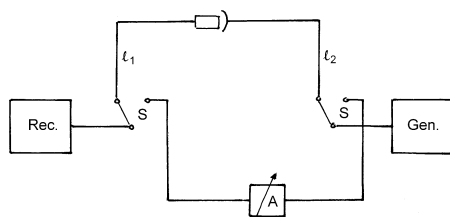
Při měření zisku rozměrných antén (např. parabolického reflektoru s průměrem $D \geq 100\lambda$) je třeba měnit, nejlépe průběžně, polohu referenční antény napříč vertikálním rozměrem měřené antény a statisticky vyhodnotit naměřené hodnoty (viz Měření směrových diagramů a zisku).

Reciproční metoda

K tomuto měření [3] potřebujeme dvě totožné antény. Jedna je použita jako přijímací a druhá jako vysílací. Každá anténa je umístěna spolu s provozní upevňovací konstrukcí na stožár (teleskopický) a jsou zaměřeny na sebe (maximem směrového diagramu). Výšku antén nad zemí je možné nastavit tak, že obě antény jsou ve stejné výšce nad zemí. Minimální výška nad zemí má být nejméně 2λ . Vzájemná vzdálenost mezi anténami R musí být známa a má být nejméně 3λ nebo $4b^2/\lambda$, kde b udává největší rozměr antény. Z obou hodnot použijeme tu větší. Vliv odrazů od země kontrolujeme současnou změnou výšky obou antén z minimální 2λ a zaznamenáme relativní změny na indikátoru přijímače. Změny by neměly přestoupit $\pm 0,5$ dB.

Za těchto podmínek zanedbatelného vlivu odrazů od země je útlum mezi oběma anténami dán:

$$A_s = [20 \log(4\pi R/\lambda) - 2G_i], \quad (4)$$



Obr. 3. Schéma měření útlumu kabelů

kde A_s je naměřený útlum [dB], G_i je zisk vůči izotropickému zářiči [dB], R je vzdálenost mezi fázovými středy obou antén, λ je vlnová délka měřicího kmitočtu (R i λ ve stejném měřítku).

V praxi můžeme vzdálenost R měřit mezi napájecími svorkami antén (s výjimkou „aperturových antén“, tj. např. antény trychtýřové, čočkové, reflektorové apod.)

Zisk antény (dB) vůči izotropickému zářiči je dán:

$$G_i = [10 \log(4\pi R/\lambda) - A_s/2], \quad (5)$$

nebo vůči půlvlnnému dipólu

$$G_d = [10 \log(4\pi R/\lambda) - A_s/2 - 2,15] \quad (6)$$

Útlum A_s mezi oběma anténami lze měřit různými způsoby podle toho, jaký měřicí přístroj použijeme. V dalším popíšeme jednu z metod měření útlumu A_s .

Přístroje zapojíme podle obr. 3 a 4. Při tom musíme dbát na to, aby impedanční přizpůsobení mezi kabely l_1 , l_2 a měřenými anténami a použitými měřicími přístroji vykazovalo maximálně koeficient odrazu 0,1.

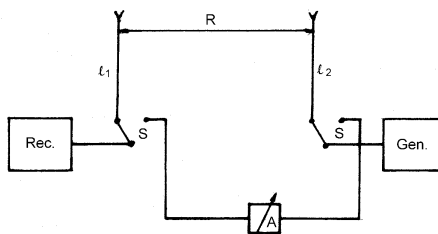
Pozn.: délky kabelů l_1 a l_2 nemusí být stejné.

Nejprve spojíme anténní konce kabelů navzájem podle obr. 3. Pro každý měřicí kmitočet nastavíme zeslabovač A tak, aby přijímač ukazoval stejnou výchylku pro obě polohy přepínačů S . Toto čtení zeslabovače označíme A_1 . Potom připojíme kabely k anténám podle obr. 4 a opět nastavíme zeslabovač A na stejnou výchylku přijímače pro obě polohy přepínačů S . Toto čtení zeslabovače označíme A_2 . Výsledný měřený útlum je:

$$A_s = (A_2 - A_1) \text{ [dB]} \quad (7)$$

Měřicí prostředí

Měřicím prostředím (measuring site, range) nazýváme blízké i vzdálené okolí měřené antény. Podle druhu antény, délky vlny a použité měřicí metody volíme měřicí prostředí. Jiné nároky jsou kladeny na prostředí při měření impedance, jiné při měření směrových diagramů a zisku. Jiné nároky jsou kladeny pro měření rozměrných antén pro cm vlny a jiné pro měření stacionárních nebo mobilních antén. V dalším uvedeme zásadní po-



Obr. 4. Schéma měření útlumu systému

žadavky a podmínky na měřicí prostředí antén pro kmitočtové pásmo 30 MHz až 30 GHz s ohledem na jejich rozměry. Zmíníme se zhruba i o podmínkách pro měření antén mimo uvedené pásmo.

Měření impedance

Aby se zmenšil vliv země a okolních předmětů schopných odrážet elektromagnetické vlny, doporučuje se, aby vzdálenost k těmto předmětům nebyla menší než asi:

$$d = C_2 \cdot W,$$

kde W je největší rozměr měřené antény a C_2 je konstanta určující požadovanou přesnost měření.

Požadovaná přesnost	C_2
10 %	0,5
5 %	0,8
3 %	1,3

Při měření antén menších rozměrů (např. ozařovače reflektorových antén) postačí zastínit blízké měřicí přístroje absorbními deskami nebo se přesvědčit pohybem rovinné kovové desky v blízkosti měřené antény, zdali a jak se mění naměřená impedance. Podle toho nastavíme pak polohu antény.

Při měření antén pro nižší kmitočty dbáme na to, aby napájecí vedení a provozní upevňovací konstrukce antény byly v provozní poloze vůči anténě. Samotná poloha napájecího vedení má často vliv na měřenou impedanci.

Měření směrových diagramů a zisku

V předešlém jsme uvedli, že měřená anténa má být umístěna v homogenním elektromagnetickém poli. Homogenní elektromagnetické pole je charakterizováno nulovou změnou intenzity a fáze pole v daném prostoru. Např. pro antény Yagi by to znamenalo prostor s rozměry pravouhlého kvádru, do kterého se dá anténa umístit, zvětšeného na každé straně o čtvrt vlny. Pro antény typu parabolického reflektoru jde o plochu ústí antény, jehož příčný rozměr je zvětšen alespoň o čtvrtinu průměru. Homogenní elektromagnetické pole shora uvedených parametrů lze v praxi těžko vytvořit. Nejlépe se tyto požadavky splní vytvořením rovinné vlny příčně polarizované (TEM vlna), šířící se podél spojnice obou antén měřené (přijímač) a vysílače (ozařovač).

Rovinná vlna TEM je v podstatě teoretický fenomén a v praxi ji nahrazujeme kulovou vlnou s velmi velkým poloměrem R . Ukázalo se, že dostatečnou přesnost měření zajistíme, povolíme-li v daném prostoru měřené antény maximální změnu fáze danou poměrem $\lambda/16$. Aby se toho dosáhlo, musí platit pro menší měřicí vzdálenosti:

$$R \geq 2(W_1^2 + W_2^2)/\lambda, \quad (9)$$

kde W_1 a W_2 jsou maximální rozměry měřené a vysílače antény nebo pro větší vzdálenosti:

$$R \geq 2 W^2/\lambda, \quad (10)$$

kde W je maximální rozměr měřené antény; $W = D$, kde D je průměr ústí např. reflektorové antény. Malé fázové odchylky způsobí malé deformace ve struktuře postranních laloků směrového diagramu. Větší odchylky způsobí podstatné chyby při měření zisku a ve struktuře postranních laloků diagramu. Shora povolená odchylka $\lambda/16$ způsobí např. u reflektorové antény chybu v naměřeném zisku 0,1 dB. Naopak u antén s velkým fázovým posuvem v ústí, jako je např. trychtýřová anténa, může vlastní fázový posuv v ústí antény způsobit značnou chybu v naměřeném zisku (0,3 až 0,8 dB).

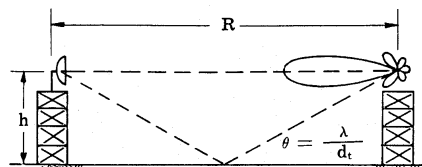
Maximální změna intenzity v tomto kvazihomogenním poli by neměla přestoupit $\pm 0,5$ dB pro kmitočty pod 300 MHz a $\pm 0,25$ dB pro kmitočty nad 300 MHz.

Výpočtem se dá stanovit, že maximální chyba na směrovém diagramu na úrovni -20 dB hlavního laloku je +3,9 dB až -7,3 dB pro změny pole $\pm 0,5$ dB a 2,2 dB až -3 dB pro změny pole $\pm 0,25$ dB.

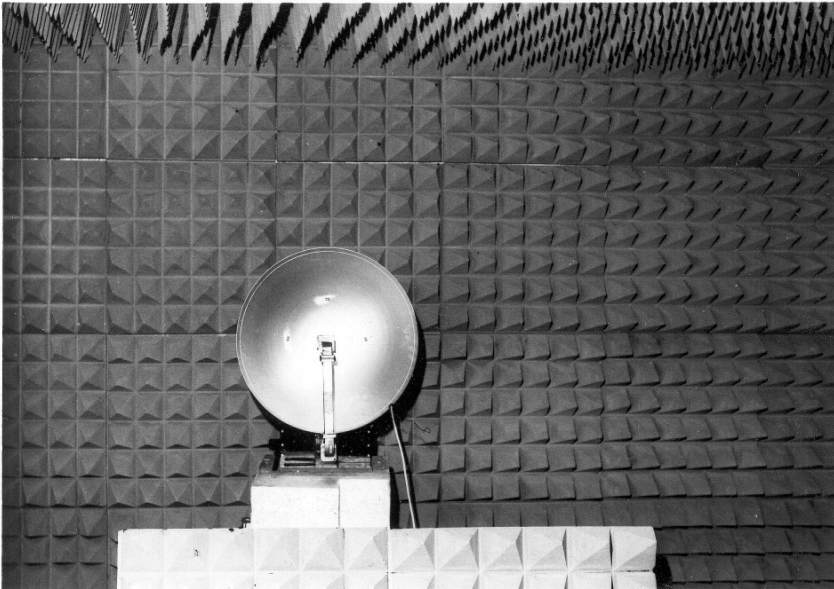
Měření těchto odchylek není jednoduchou záležitostí. K měření musíme použít sondy (dipólové nebo malou trychtýřovou anténu), které by neměly ovlivňovat svoji přítomností měřené pole a to je obtížné. Proto musíme hledat takové měřicí prostředí, které samo o sobě zajistí shora uvedené požadavky.

Fázovou podmínku $\lambda/16$ dodržíme snadno zajištěním potřebné vzdálenosti R , i když často i tato podmínka omezí velikost antén, které jsme schopni měřit.

Změny intenzity pole jsou zaviněny především odrazy elektromagnetických vln od země, případně od vzdálenějších objektů. Na obr. 5 je znázorněn základní jednoduchý případ uspořádání měřicího pracoviště (polygon). V tomto případě kontrolujeme odraz od země směrovostí diagramu vysílače antény ve vertikálním směru a dále tím, že očekáváme, že



Obr. 5. Uspořádání měřicího pracoviště (měřicí polygon)



Obr. 6. Bezodrazová komora

vlny odražené od země budou utlumeny absorpcí, případně rozptýleny na povrchu země. Vysílací a přijímací antény bývají umístěny na věžích, budovách nebo kopcích.

Ideální případ nastane, volíme-li výšku umístění antény h tak, aby první minimum směrového diagramu vysílací antény směřovalo do místa zrcadlového odrazu. Prvé minimum u reflektorových antén s průměrem Dt nastane přibližně pro úhel λ/Dt (rad.) měřený od maxima směrového diagramu, takže podle obr. 5 platí výška:

$$h \approx \lambda R/2Dt. \quad (11)$$

Situaci podle obr. 5 v praxi těžko splňujeme. Ukáže-li kontrola intenzity pole v místě měřené antény větší než povolené výchylky, můžeme v místě zrcadlového odrazu příčného ke směru šíření umístit tzv. difrakční překážky (sítě) nebo zúžit směrový diagram vysílací antény (je-li dostatečná rezerva v ozáření měřené antény).

Právě popsané měřicí prostředí není jediné a existuje celá řada dalších možností, kde měřit antény.

Na místo zvětšování vzdálenosti antén od země je možné umístit obě antény velmi nízko nad zem, zajistit velmi hladký a rovný povrch mezi anténami. Zde se využije skutečnosti, že koeficient odrazu bude roven téměř 1 a jeho fáze bude 180° . V tomto případě a za dalších předpokladů se vytvoří výhodné rozložení pole v místě měřené antény. Bližší informace o této možnosti viz [1].

Tam, kde nelze nalézt vhodný venkovní prostor nebo kde častá měření ohrožují vlivy počasí, se používají tzv. bezodrazové komory. Bezodrazová komora je místnost, jejíž velikost je dána maximální velikostí měřené antény a která má všechny stěny obloženy bezodrazovým útlumovým materiálem (obr. 6).

Moderní bezodrazové komory jsou často velmi velké a umožňují měření antén i na mobilních prostředcích, vozidlech, letadlech apod.

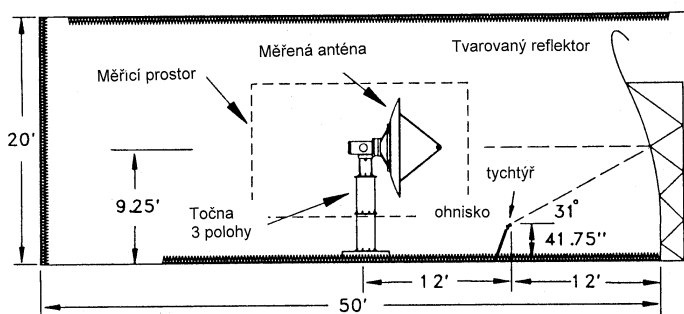
Problém s omezenou vzdáleností mezi měřenými anténami byl do určité míry vyřešen tzv. kompaktní měřicí komorou (compact range, obr. 7). Rozměrný, speciálně tvarovaný parabolický reflektor je ozařován z ofsetového ohniska. Vlnění odražené od reflektoru vytvoří rovinnou vlnu velmi se přibližující ideální vlně TEM, takže v poměrně malé vzdálenosti od reflektoru vznikne měřicí oblast s homogenním rozložením pole. Tím jsou splněny podmínky pro umístění měřené antény do velké vzdálenosti od ozařovací antény a bezodrazová komora navíc zamezí vzniku jakýchkoliv rušivých odrazů.

Další měřicí prostředí je možné vytvořit tak, že se využije existence tzv. blízkého pole antény, tj. Fresnelovy oblasti. Zmíněná oblast obsahuje ve složkách pole všechny informace, které po zpracování počítačem stanoví směrový diagram ve vzdáleném poli [2]. K měření amplitudy i fáze složek pole je však zapotřebí speciální mechanické zařízení, které umožní určit i souřadnice těchto složek. Měří se buď sférické nebo válcové souřadnice v blízkém poli antény.

Popsané měřicí prostředí lze také kombinovat podle konkrétních požadavků a typů antén.

Měření stacionárních antén

Pro kmitočty blízké dolní hranici pásma 30 MHz nebo pod touto hranicí



Obr. 7. Kompaktní měřicí bezodrazová komora

se staví také antény a anténní systémy pevně zabudované v terénu. V těchto případech je měřicím prostředím vzdálené okolí, kde zjišťujeme směrový diagram měřením intenzity pole mobilním zařízením umístěným buď ve vozidle nebo i v letadle (helikoptéra). Takto se měří např. směrové diagramy rozhlasových a televizních vysílacích antén, případně KV antén pro dálkovou komunikaci.

Závěr

V předešlém byl čtenář seznámen se základními postupy při měření elektrických parametrů antén. Podrobnější informace lze nalézt v seznamu literatury. Jednotlivé anténní laboratoře si postupně vypracovávají svoje specifické měřicí postupy, které se však v zásadě neliší od uvedených postupů. Citovaná mezinárodní doporučení jsou v publikacích IEC (International Electrotechnical Commission), které je možné studovat v Institutu pro Normalizaci v Praze, Biskupský dvůr 5.

Měřicí aparatury jsou vesměs velmi drahé. Nicméně autor varuje před snahou potřebná zařízení realizovat svépomocí. Jedině, kde lze uspět, je konstrukce točny a příslušného ovládacího a informačního zařízení. Podobně i výstavbu bezodrazové komory je možné realizovat svépomocí, až na mikrovlnné absorbéry, které je nutné dovézt ze zahraničí.

Použitá literatura

- [1] Cohen, A.; Maltose, A.W.: The Lincoln Laboratory Antenna Test Range. The Microwave J. sv. 4. č. 4. 1961.
 - [2] Schejbal, V.: Měření antén v blízké zóně. Sdělovací technika 3/1998.
 - [3] IEC Publication 60597-1,2,3,4 Aerials for the reception of sound and television broadcasting in the freq. range 30 MHz to 1 GHz.
- Další literatura vhodná ke studiu:
 Čaha-Procházk: Antény. SNTL, Praha 1956.
 Procházk, M.: VKV, UKV a cm vlny v nomogramech a grafech. AR B4 1995.
 IEEE Trans. on Antennas and Propagation sv. 39, Cumulative Index 1985-1999, 1991/12. (Antenna Measurements).
 IEC Publication 60832-2, Methodes of measurements for equipment used in digital microwave trans.system-Measurements on terrestrial radio-relay systems - section 2 Antennas.
 IEC Publication 61114, Methodes of measurements on receiving antennas for satellite broadcast transmission in the 12 GHz band.
 IEC Publication 60489-8, Methodes of measurements for radio equipment used in the mobile services. Part 8. Methodes of measurements for Antennas.