

1. ÚVOD : VÝZNAM ANTÉN A ICH ZÁKLADNÉ PARAMETRE

Anténa je významným prvkom rádiového spoja. Jej úlohou je transformovať vedenú elektromagnetickú vlnu na kvázivlnnú vlnu, šíriacu sa vo voľnom priestore (vysielacia anténa), alebo naopak (prijímacia anténa). Anténa je v podstate zariadenie prispôbujúce prenosové vedenie k voľnému priestoru.

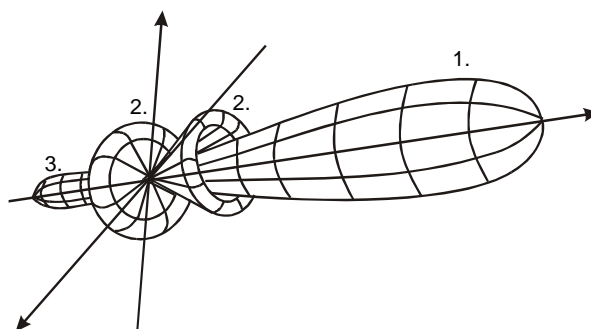
Antény možno rozdeliť do skupín podľa rôznych hľadísk, napr. podľa frekvenčného pásma (antény pre DV, SV, KV, VKV atď.), podľa šírky frekvenčného pásma, v ktorom môžu pracovať bez podstatnej zmeny parametrov (úzkopásmové, širokopásmové, extrémne širokopásmové), podľa schopnosti sústrediť vyžarovanie do určitého smeru (antény smerové, čiastočne smerové, všesmerové), podľa funkcie, ktorú antény plnia (vysielacie a prijímacie) atď. Najčastejšie sa však uplatňuje rozdelenie podľa povahy zdrojov elektromagnetického poľa v anténe na vodičové antény a plošné antény.

Vodičové antény využívajú ako zdroje elektromagnetického poľa elektrické prúdy, tečúce v relatívne tenkých vodičoch. Tieto vodiče sú najčastejšie priame, potom hovoríme o lineárnych anténach. Rozoznávame dva druhy lineárnych antén: a) antény so stojatou vlnou, v ktorých sa elektromagnetická vlna odráža od konca vodiča (vedenia) naprázdno a vytvára tak na vodiči stojaté vlnenie; b) antény s postupujúcou vlnou, ktoré sú vytvorené z nehomogénnych vedení, zakončených prispôbenou záťažou.

Plošné antény vyžarujú z plochy – apertúry. Zdrojmi elektromagnetického poľa sú vlnoplochy elektromagnetickej vlny v apertúre antény.

1.1 .SMEROVÁ CHARAKTERISTIKA

Smerová charakteristika je jedným z najdôležitejších parametrov antény, pretože popisuje priestorové rozloženie vyžarovanej energie. Smerovú charakteristiku definujeme ako rozloženie amplitúdy intenzity elektrického poľa na povrchu gule s dostatočne veľkým polomerom, ktorej stred je totožný so stredom antény. Veľkosť amplitúdy intenzity elektrického poľa na povrchu gule závisí od polomeru gule a od výkonu elektromagnetického poľa vyžarovaného anténou. Pre vylúčenie vplyvu týchto parametrov všetky veľkosti amplitúdy intenzity elektrického poľa delíme jej maximálnou hodnotou, čím získame normovanú smerovú charakteristiku. Maximálna hodnota normovanej smerovej charakteristiky je teda rovná jednotke. Vďaka tomu môžeme ľahko porovnávať smerové charakteristiky rôznych antén. Smerová charakteristika tvorí uzavretú plochu, ktorá vo všeobecnosti pozostáva z niekoľkých častí (lalokov) rôzneho tvaru (obr. 1.1). Najväčší z nich nazývame hlavným lalokom, ostatné – postrannými lalokmi.

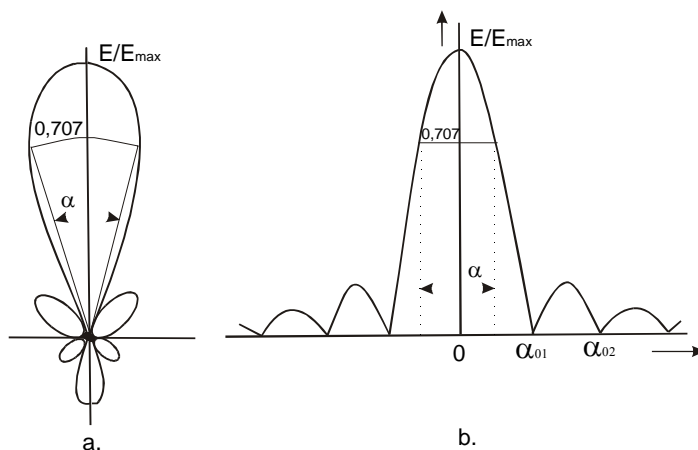


Obr. 1.1. Smerová charakteristika antény
1. hlavný lalok 2. postrané laloky 3. zadný lalok

Trojrozmerné zobrazenie smerovej charakteristiky je obtiažne, preto sa obyčajne zobrazujú jej dva navzájom kolmé rezy. Tieto rezy môžu byť zvolené ľubovoľne: v prípade antén s lineárnou polarizáciou je výhodné tieto rezy urobiť v rovine vektora intenzity elektrického poľa \vec{E} a v rovine intenzity magnetického poľa \vec{H} . Hovoríme potom o smerovej charakteristike v rovine \vec{E} a \vec{H} .

Často sa používajú termíny vertikálna a horizontálna smerová charakteristika, ktoré však má význam používať len vtedy, ak je známa priestorová orientácia antény (voči povrchu Zeme). Napr. v prípade zvislej (vertikálnej) antény napájanej vzhľadom na Zem (rozhlasová anténa) je vertikálna charakteristika v rovine \vec{E} , ale v prípade televíznej antény s horizontálnou polarizáciou je táto charakteristika charakteristikou v rovine \vec{H} .

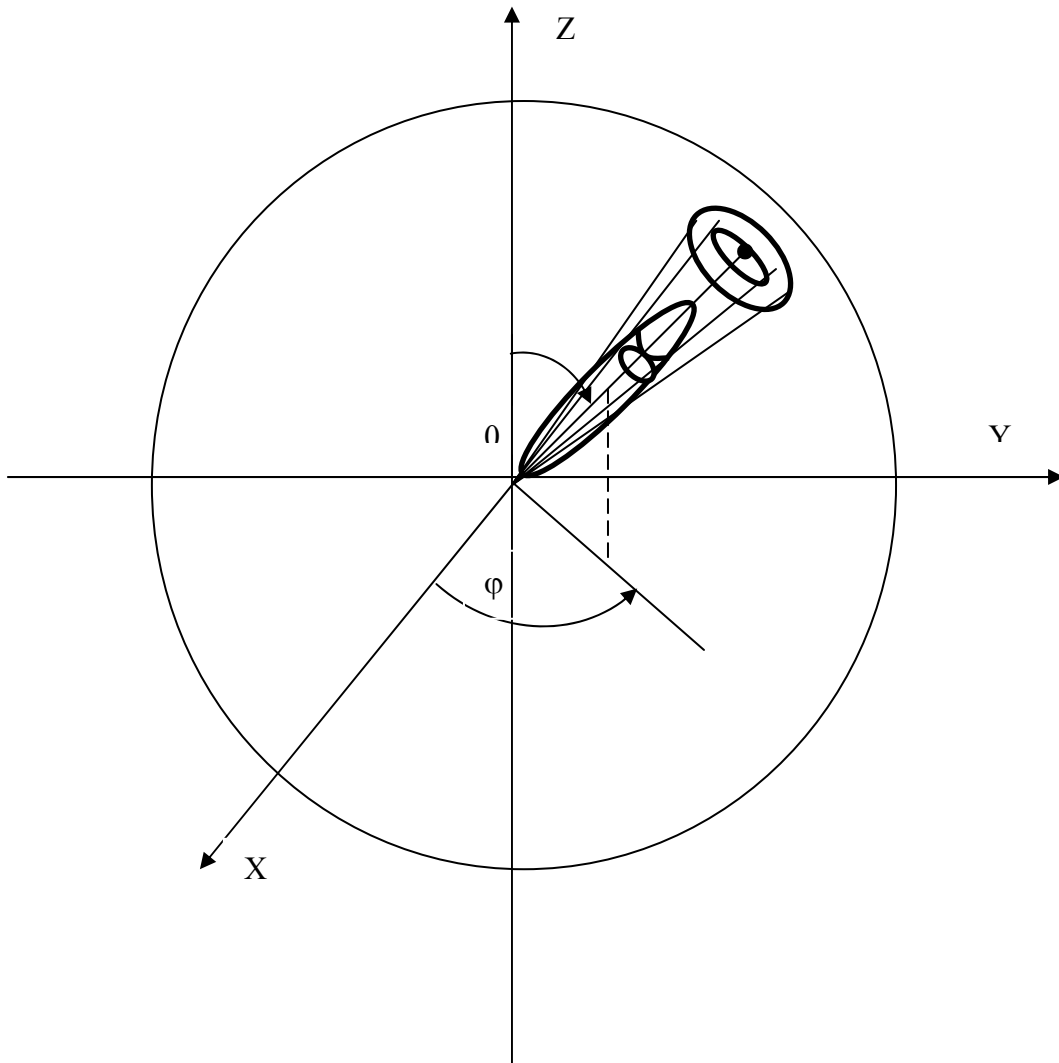
Rezy smerovej charakteristiky sa znázorňujú v polárnej alebo v pravouhlej súradnicovej sústave (obr. 1.2). V niektorých prípadoch, keď veľkosť bočných lalokov charakteristiky je malá v porovnaní s úrovňou hlavného laloka, je výhodné použiť logaritmickú stupnicu pre zvislú os.



Obr. 1.2. Smerová charakteristika antény:
a. polárnej súradnicovej sústave b. v pravouhlej súradnicovej sústave

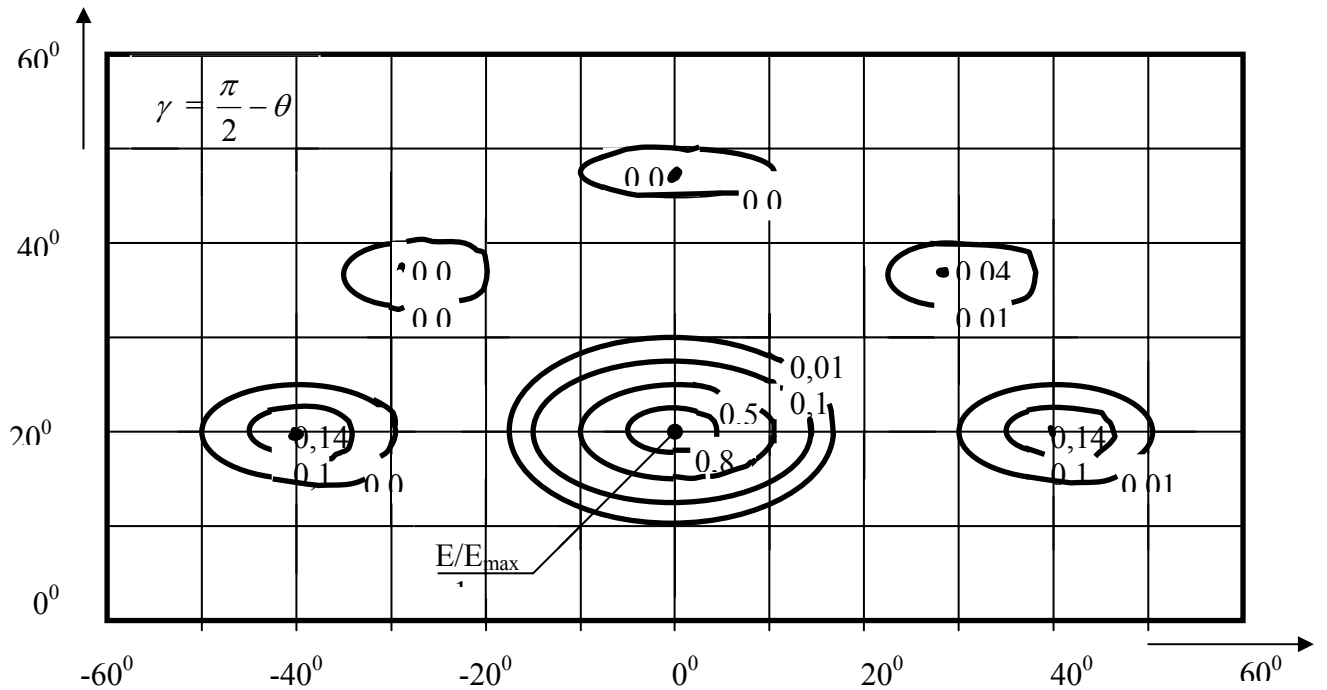
Uhol medzi smermi v hlavnom laloku , pre ktoré intenzita vyžarovania klesne o 3 dB vzhľadom na maximálnu intenzitu, sa nazýva šírkou hlavného laloka alebo uhlom polovičného výkonu. Anténu charakterizujú dve veľkosti uhla polovičného

výkonu: v rovine \vec{H} (α_H) a v rovine \vec{E} (α_E) . Uhol, pre ktorý je vyžarovanie nulové , nazývame nulovým uhlom α_0 .



Obr. 1.3. Spôsob získania kartografického zobrazenia smerovej charakteristiky antény.

Dva ortogonálne rezy nie vždy úplne popisujú priestorovú smerovú charakteristiku antény. V prípade, že potrebujeme úplnejšiu informáciu, používame kartografické zobrazenie smerovej charakteristiky, ktoré získame tak, že na povrchu gule , umiestnenej sústredne s anténou(obr.1.3), zobrazíme krivky konštantnej amplitúdy intenzity podľa(\vec{E} alebo \vec{H}). Maximálnym úrovňam jednotlivých lalokov zodpovedajú body. Krivky konštantnej amplitúdy sú uzavreté. Jednotlivé časti povrchu gule sa zobrazujú kartografickými metódami, napr .premietaním na povrch valca(ob.1.4). Kartografické zobrazenie podáva úplnú informáciu o priestorovej smerovej charakteristike antény. V prípade potreby umožňuje zostrojenie ľubovoľného rezu charakteristiky.



Obr. 1.4. Kartografické zobrazenie smerovej charakteristiky antény vo valcovom premietaní.

Vo všeobecnosti vektor intenzity elektrického poľa vo vzdialenej oblasti môže mať dve navzájom kolmé zložky. V prípade, že tieto zložky nie sú vo fáze, je nutné nakresliť smerové charakteristiky antény pre každú zložku zvlášť.

Okrem uvedených smerových charakteristík, zobrazujúcich rozloženie intenzity poľa, používajú sa tiež charakteristiky popisujúce priestorové rozloženie vyžarovaného výkonu. Výkon vyžiarený anténou do jednotkového priestorového uhla nazývame intenzitou vyžarovania a označujeme $W(\Theta, \phi)$. Pomer $W(\Theta, \phi)/W_{\max}$, kde W_{\max} je maximálna intenzita vyžarovania, je normovaná výkonová smerová charakteristika.

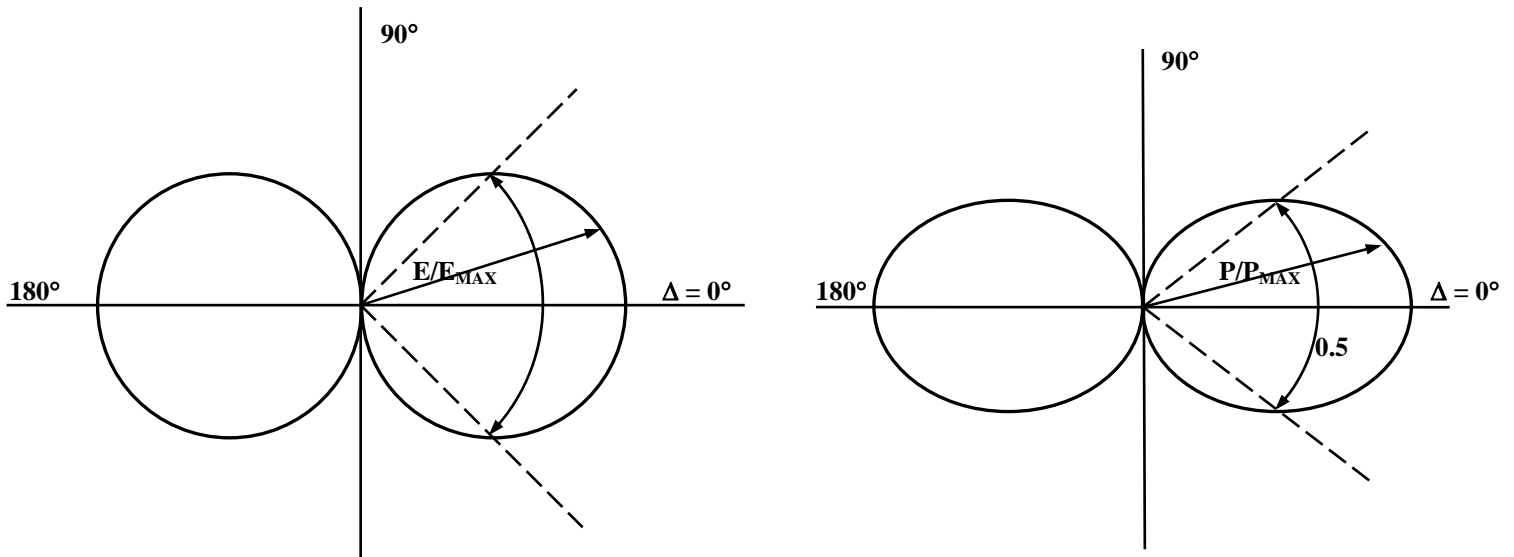
Vzájomný vzťah medzi smerovou charakteristikou (tzv. pol'ovou) a výkonovou smerovou charakteristikou je daný vzťahom pre Poyntingov – Umovov vektor. Tak napr. pre harmonicky premenné pole možno strednú hodnotu Poyntingovho – Umovovho vektora za jednu periódu v zóne žiarenia vyjadriť vzťahom

$$S_{str} = \frac{1}{2} EH = \frac{1}{2} \frac{E^2}{Z_0} \quad (1.1)$$

kde Z_0 je charakteristická impedancia prostredia. Pretože $W(\Theta, \phi) \sim S_{str}(\Theta, \phi)$, platí

$$\frac{W}{W_{\max}} = \left(\frac{E}{E_{\max}} \right)^2 \quad (1.2)$$

Vzťah (1.2) platí v prípade, že intenzity elektrického poľa vo vzdialenej zóne sú vo fáze. V opačnom prípade je výkonová smerová charakteristika úmerná súčtu kvadrátov jednotlivých zložiek intenzity elektrického poľa. Porovnanie poľovej a výkonovej smerovej charakteristiky tej istej antény (krátkeho dipólu) je na obr.1.5



Obr. 1.5. Porovnanie poľovej (a) a výkonovej (b) smerovej charakteristiky krátkeho dipólu

Zo známej smerovej charakteristiky antény možno určiť niektoré ďalšie parametre. Úroveň postranných lalokov definujeme ako pomer maximálnej amplitúdy intenzity elektrického poľa v najväčšom postrannom laloku a v hlavnom laloku.

Analogicky je definovaný činiteľ spätného vyžarovania (resp. spätného príjmu) pre zadný lalok smerovej charakteristiky. Pre zhodnotenie celkového vyžarovania do vedľajších lalokov sa definuje činiteľ rozptylu ρ_b , ktorý určuje, aká časť výkonu dodávaného do antény je vyžarovaná vedľajšími lalokmi

$$\rho_b = 1 - \frac{\int_{\Omega_{hl}} W(\Theta, \Phi) d\Omega}{\int_{4\pi} W(\Theta, \Phi) d\Omega} \quad (1.3)$$

kde Ω_{hl} je priestorový uhol, ktorý obsahuje hlavný lalok.

1.2. SMEROVOSŤ A ZISK

Pomer maximálnej intenzity vyžarovania a strednej intenzity vyžarovania charakterizuje celkové smerové vlastnosti antény a nazýva sa smerovosť

$$D = \frac{W_{\max}}{W_{str}} \quad (1.4)$$

Stredná intenzita vyžarovania sa rovná celkovému výkonu vyžarovanému anténou delenému celkovým priestorovým uhlom, preto vzťah (1.4) možno napísať v tvare

$$D = \frac{4\pi}{\int_{4\pi} W_n(\Theta, \Phi) d\Omega} \quad (1.5)$$

kde $W_n(\Theta, \Phi) = W(\Theta, \Phi) / W_{\max}$ je normovaná výkonová smerová charakteristika. Smerovosť antény je teda veličinou jednoznačne určenou jej smerovou charakteristikou.

Ak označíme (poľovú) smerovú charakteristiku antény ako $F(\Theta, \Phi)$, možno s využitím vzťahu (1.2) vzťah (1.5) napísať v tvare

$$D = \frac{4\pi}{\int_{4\pi} F^2(\Theta, \Phi) d\Omega} \quad (1.6)$$

Pretože $d\Omega = \sin \Theta \cdot d\Theta \cdot d\Phi$, platí

$$D = \frac{4\pi}{\int_{4\pi} F^2(\Theta, \Phi) \sin \Theta d\Theta d\Phi} \quad (1.7)$$

V mnohých praktických prípadoch možno priestorovú smerovú charakteristiku vyjadriť v tvare súčinu dvoch funkcií jednej premennej

$$F(\Theta, \Phi) = V(\Theta)H(\Phi) \quad (1.8)$$

kde funkcia $V(\Theta)$ charakterizuje vyžarovanie antény v rovine vertikálnej a $H(\Phi)$ v rovine horizontálnej. Vzťah pre smerovosť antény možno potom napísať v tvare

$$D = \frac{4\pi}{\int_0^{2\pi} H^2(\Phi) d\Phi \int_0^{\pi} V^2(\Theta) \sin \Theta d\Theta} \quad (1.9)$$

Smerovosť antény nezahrňuje straty výkonu v anténe. Môže však existovať anténa s veľkou smerovosťou, ale malou účinnosťou. Je potrebné preto definovať ešte jednu veličinu, ktorá charakterizuje smerové vlastnosti i účinnosť antény. Táto veličina sa nazýva zisk antény a je definovaná ako kvadrát pomeru maximálnej intenzity elektrického poľa v danom bode, vytvoreného danou anténou a maximálnej intenzity elektrického poľa v tomto bode, vytvoreného inou (referenčnou) anténou, pričom obidve antény sú napájané rovnakým výkonom. Ako referenčnú anténu možno zvoliť ľubovoľnú anténu, ale obyčajne sa používa polovlnový dipól alebo bezstratová izotropne vyžarujúca anténa. Zisk skúmanej antény vzhľadom na izotropne vyžarujúcu anténu sa označuje ako G_0 a z jeho definície vyplýva vzťah

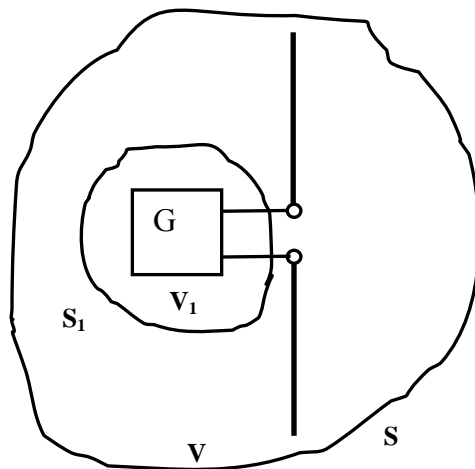
$$G_0 = \eta D \quad (1.10)$$

kde $\eta = P_0/P_i$ je účinnosť antény (pomer vyžiareného výkonu P_0 a výkonu, ktorým je napájaná anténa P_i). zisk sa často vyjadruje v decibeloch(dB)

$$G_{dB} = 10 \log G \quad (1.11)$$

1.3. VSTUPNÁ IMPEDANCIA A ODPOR VYŽAROVANIA

Pre popis podmienok súčinnosti antény s vysielacím(resp. prijímacím) zariadením je výhodné zaviesť pojem vstupnej impedancie antény. Definovať vstupnú impedanciu antény však nie je vždy jednoduché vzhľadom na problémy s definovaním vstupných svoriek antény. V niektorých prípadoch, napr. v prípade dipólovej antény napájanej dvojvodičovým vedením, vstupné svorky antény možno definovať pomerne jednoducho. V prípade mikrovlnových antén napájaných vlnovodmi však táto predstava nie je oprávnená. Zavedenie pojmu vstupnej impedancie je zaužívané z praktických dôvodov. Uvažujme anténu umiestnenú vo voľnom priestore, pre ktorú možno definovať vstupné svorky(obr.1.6).



Obr. 1.6. K definícii vstupnej impedancie antény

Nech generátor G je umiestnený v objeme V_1 obklopenom uzavretou plochou S_1 . Uvažujme objem V ohraničený plochou S , ktorý obsahuje anténu spolu s generátorom. Podľa Poyntingovej – Umovovej vety[11] platí

$$\frac{r}{2} \int_{V_1} \vec{E}_g \cdot \vec{J}^* dV = \frac{1}{2} \int_V \frac{\vec{J} \cdot \vec{J}^*}{\sigma} dV + \frac{1}{2} \oint_S \left[\left(\vec{E} \times \vec{H}^* \right) \cdot \vec{n} \right] dS + \frac{j\omega}{2} \int_V \left(\mu_0 \vec{H} \vec{H}^* - \varepsilon_0 \vec{E} \vec{E}^* \right) dV \quad (1.12)$$

kde \vec{E}_g je elektromotorická sila generátora, \vec{J} – vektor hustoty elektrického prúdu, σ – špecifická vodivosť, \vec{n} – jednotkový normálový vektor k ploche S , orientovaný von z objemu V , ω - kruhová frekvencia, \vec{E} – vektor intenzity elektrického poľa, \vec{H} – vektor intenzity magnetického poľa. Hviezdičkou(*) sú označené komplexne združené veličiny. Výraz na ľavej strane rovnice (1.12) reprezentuje výkon generátora. Rovnicu (1.12) možno považovať za analógiu vzťahu známeho z teórie obvodov

$$\frac{1}{2} UI^* = P_r + jP_i \quad (1.13)$$

kde U je napätie na svorkách dvojpoľu, I – prúd tečúci dvojpoľom, P_r – činný výkon stratený v dvojpoľe, P_i – jalový výkon. Vstupná impedancia dvojpoľu je pritom definovaná

$$Z = R + jX = \frac{U}{I} = \frac{UI^*}{II^*} = \frac{UI^*}{|I|^2} \quad (1.14)$$

S použitím vzťahov (1.12) a (1.13) možno definovať vstupnú impedanciu antény

$$Z_A = R_A + jX_A = \frac{1}{I_0^2} \int_{V_1} \vec{E}_g \cdot \vec{J}^* dV \quad (1.15)$$

kde I_0 je amplitúda prúdu tečúceho svorkami antény.

Reálna časť vstupnej impedancie antény a vstupný odpor sa skladá z dvoch častí: z odporu vyžarovania R_v a stratového odporu R_s . Odpor vyžarovania je určený reálnou časťou druhého sčítanca na pravej strane vzťahu(1.12)

$$R_v = \frac{1}{I_0^2} \operatorname{Re} \left\{ \oint_S \left[\left(\vec{E} \times \vec{H}^* \right) \cdot \vec{n} \right] dS \right\} \quad (1.16)$$

S využitím vzťahu pre strednú hodnotu Poyntingovho – Umovovho vektora

$$\vec{S}_{str} = \frac{1}{2} \operatorname{Re} \left(\vec{E} \times \vec{H}^* \right) \quad (1.17)$$

možno vzťah(1.16) napísať v tvare

$$R_V = \frac{1}{I_0^2} \oint_S (\vec{S}_{str} \cdot \vec{h}) dS \quad (1.18)$$

stratový odpor antény súvisí s Jouleovým výkonom v anténe. Ak uvážime, že mimo objem antény elektrické prúdy netečú, možno stratový odpor vyjadriť vzťahom

$$R_S = \frac{1}{I_0^2} \int_{V_A} \frac{\vec{J} \cdot \vec{J}^*}{\sigma} dV \quad (1.19)$$

kde V_A je objem antény.

Ak poznáme odpor vyžarovania a stratový odpor, môžeme vypočítať účinnosť antény

$$\eta = \frac{R_V}{R_V + R_S} \quad (1.20)$$

Ak zvolíme objem V dostatočne veľký, Poyntingov – Umovov vektor na ploche S je reálny a o vstupnej reaktancii antény X_A rozhoduje iba tretí sčítanec na pravej strane rovnice(1.12)

$$X_A = \frac{\omega}{I_0^2} \int_V \left(\mu_0 \vec{H} \cdot \vec{H}^* - \varepsilon_0 \vec{E} \cdot \vec{E}^* \right) dV \quad (1.21)$$