

Vážení zákazníci,

dovolujeme si Vás upozornit, že na tuto ukázkou knihy se vztahují autorská práva, tzv. copyright.

To znamená, že ukáзка má sloužit výhradně pro osobní potřebu potenciálního kupujícího (aby čtenář viděl, jakým způsobem je titul zpracován a mohl se také podle tohoto, jako jednoho z parametrů, rozhodnout, zda titul koupí či ne).

Z toho vyplývá, že není dovoleno tuto ukázkou jakýmkoliv způsobem dále šířit, veřejně či neveřejně např. umístováním na datová média, na jiné internetové stránky (ani prostřednictvím odkazů) apod.

redakce nakladatelství BEN – technická literatura
redakce@ben.cz

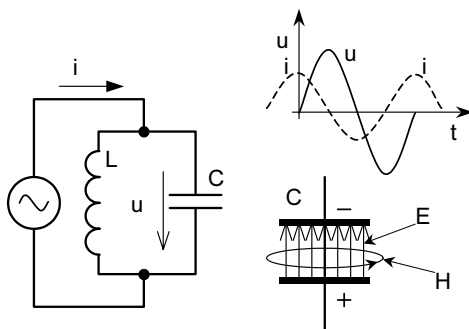


5 VZNIK A ŠÍŘENÍ ELEKTROMAGNETICKÝCH VLN

5.1 Vznik a vlastnosti elektromagnetických vln

Základem pro vznik elektromagnetických vln je rezonanční (oscilační) obvod složený z cívky a kondenzátoru (kapitola Elektronické obvody v [16]) a napájený oscilátorem (obr. 5.1).

Po připojení zdroje střídavého napětí prochází nejprve proud i , kondenzátor se nabíjí a mezi jeho elektrodami roste napětí u . Proud i (je maximální v okamžiku připojení) vytváří magnetické pole H . Mezi elektrodami kondenzátoru se vytváří elektrické pole E , které je maximální v okamžiku nabití kondenzátoru. Vzhledem k napájecímu zdroji (oscilátor) se mění intenzita magnetického pole i intenzita elektrického pole dle průběhu střídavého napětí a proudu v obvodu.



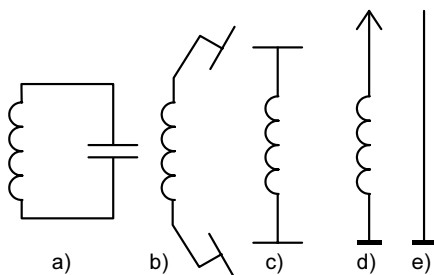
Obr. 5.1 Oscilační obvod

Elektrické pole rezonančního obvodu působí jen v prostoru mezi deskami kondenzátoru. Jedná se o *uzavřený oscilační obvod*.

Oddalováním desek kondenzátoru vznikne tzv. *otevřený oscilační obvod*, neboli *dipól*.

Elektromagnetické pole se rozloží do prostoru a postupuje do okolí, neboli dochází k *šíření elektromagnetických vln*.

Na obr. 5.2, který představuje popisovanou proměnu oscilačního obvodu v dipól, je v části d) připojena anténa a zem, část e) znázorňuje svislý dipól. Pro jednoduchost obrázku není zde nakresleno napájení obvodu střídavým napětím.



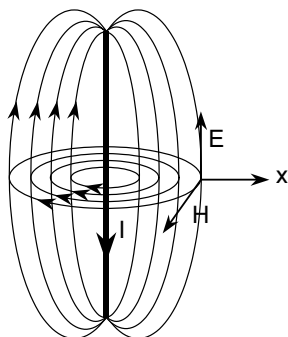
Obr. 5.2 Vznik dipólu

Tvar elektrického a magnetického pole otevřeného oscilačního obvodu znázorňuje obr. 5.3.

Obě dvě složky elektromagnetické vlny tj.

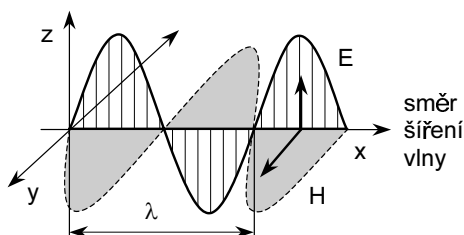
- elektrické pole E ,
- magnetické pole H ,

jsou vektory kolmé na sebe a zároveň na směr šíření. Mají v každém bodě prostoru stejnou fázi – viz obr. 5.4.



Obr. 5.3 Elektromagnetické pole kolem vodiče

Elektromagnetické vlny se šíří ve vakuu nebo ve vzduchu rychlostí světla, tj. $3 \cdot 10^8$ m/s. Charakteristickou veličinou je zde tzv. *vlnová délka* λ (čti „lambda“), která je dána vzdáleností dvou sousedních bodů, kde má elektromagnetická vlna stejnou fázi.



Obr. 5.4 Složky elektromagnetického pole

Vlnovou délku lze vypočítat ze vztahu $\lambda = \frac{c}{f}$, kde c je rychlost šíření vln, tj. $3 \cdot 10^8$ m/s a f je kmitočet vlnění, neboli kmitočet nosné vlny.

Poznámka: λ je dráha, kterou urazí elektromagnetická vlna za čas jedné periody T , a jelikož platí: dráha = čas \cdot rychlost, a víme, že $T = \frac{1}{f}$, bude potom

$$\lambda = T \cdot c = \frac{1}{f} \cdot c = \frac{c}{f}$$

Ve velké vzdálenosti od zdroje vlnění lze považovat vlnu za rovinnou. Elektromagnetické vlny se šíří prostorem podobně jako světlo, tzn. mohou se ohýbat, odrážet a lomit na rozhraní dvou prostředí.

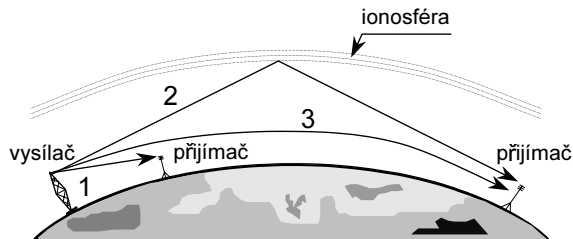
5.2 Šíření elektromagnetických vln prostorem

Elektromagnetické vlny se mohou šířit mezi dvěma místy na zemském povrchu, tzn. mezi vysílačem a přijímačem různými cestami – viz obr. 5.5.

Elektromagnetická vlna, která se šíří přímo do volného prostoru se nazývá *prostorová vlna* (1 na obr. 5.5). Na její šíření nepůsobí ani zemský povrch ani ionosféra.

Elektromagnetická vlna, která přichází do místa příjmu po odrazu, případně ohybu od ionosféry se nazývá *ionosférická prostorová vlna* (2 na obr. 5.5).

Elektromagnetická vlna, která se ohýbá podél zemského povrchu se jmenuje *povrchová vlna* (3 na obr. 5.5).



Obr. 5.5 Šíření elektromagnetických vln
1 – přímá prostorová vlna; 2 – ionosférická prostorová vlna; 3 – povrchová vlna

Jak se jednotlivé elektromagnetické vlny šíří, záleží hlavně na vlnové délce, a proto dle vlnové délky vlny rozdělujeme. Stručný přehled vlastností a použití elektromagnetických vln je uveden v následující tabulce.

Tabulka 5.1 Rozdělení vln a jejich základní vlastnosti

název vlny	délka vlny [λ]	kmitočet	použití	vlastnosti
DV dlouhé vlny	1 až 10 km	300 až 30 kHz	radionavigace, rozhlas (DV – AM)	Snadno se ohýbají a mohou překonávat velké vzdálenosti i členitý povrch. Jsou nejvíc rušeny atmosférickými poruchami a jiskřením.
SV střední vlny	100 až 1000 m	3 až 0,3 MHz	rozhlas (SV – AM)	Mají menší dosah, podstatně menší rušení než u DV.
KV krátké vlny	10 až 100 m	30 až 3 MHz	rozhlas (KV – AM)	Šíří se především prostorovými vlnami, ale je možné zachycovat vlny odražené od ionosféry ve velkých vzdálenostech. Povrchové KV vlny mají malý dosah a tlumí se již v poměrně malé vzdálenosti od vysílače. Příjem závisí hlavně na změnách ionosféry, jejíž vlastnosti se mění v denní i noční dobu, dle ročního období, vlivem slunečního záření, magnetických poruch i jinými skutečnostmi. Tím si vysvětlujeme i tzv. úniky tj. kolísání kvality příjmu v témže místě.

název vlny	délka vlny $[\lambda]$	kmitočet	použití	vlastnosti
VKV velmi krátké vlny	1 až 10 m	300 až 30 MHz	rozhlasové VKV I. a II. pásmo – FM, I., II. a III. TV pásmo	Jsou tlumeny členitostí zemského povrchu a nejsou odraženy ionosférou, ale tou pronikají do kosmu. Přijem je omezen převážně na přímou viditelnost. Přesto se však použití přijímačů VKV stále více rozšiřuje, a to zejména pro čistotu a věrnost rozhlasového přenosu.
UKV ultra krátké vlny	1 až 10 dm	3 až 0,3 GHz	IV. a V. TV pásmo, radiolokace, kosmické spoje	
cm vlny	1 až 10 cm	30 až 3 GHz	radioreleové spoje, družicová telekomunikace	
mm vlny	1 až 10 mm	300 až 30 GHz	přistávací a říční radiolokátory, výškoměry, tzv. mikrovlnný ohřev potravin	
dmm vlny	0,1 až 1 mm	3000 až 300 GHz	telekomunikační účely	Tyto vlny již hraničí se světelným zářením. K přenosu vln se používají vláknové světlovody.

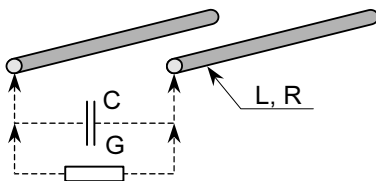
5.3 Vysokofrekvenční vedení, vlnovody

Vysokofrekvenční vedení se používají pro přenos vysokofrekvenční energie ze zdroje do zátěže (z vysílače do antény, z antény do přijímače, z generátoru na jiný přístroj atd.).

Je nutno si uvědomit, že pro přenos vysokofrekvenčního signálu nelze použít běžné vodiče, které se používají pro stejnosměrný proud nebo střídavý 50 Hz.

U vysokých kmitočtů se uplatňují podstatnou měrou kapacitní a indukční odpor vedení, které jsou u nízkých kmitočtů zanedbatelné.

Elektrické vlastnosti vedení jsou dány veličinami, které jsou po celé délce vedení rovnoměrně rozloženy, udávají se na jednotku délky vedení. Jsou to odpor R (Ω/m), indukčnost L (H/m), kapacita C (F/m) a svod G (S/m) viz obr. 5.6.

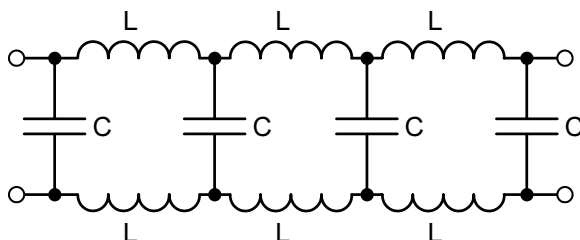


Obr. 5.6 Princip vysokofrekvenčního vedení

Náhradní schéma homogenního vedení, které je typickým obvodem s tzv. rozloženými parametry, je na obr. 5.7.

Nejdůležitější veličinou pro posouzení vlastností vedení je tzv. *vlnová impedance* (dříve se používal termín *charakteristická impedance*). Její velikost lze pro ideální bezeztrátové vedení určit ze vztahu

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad [\Omega, \text{H} \cdot \text{m}^{-1}, \text{F} \cdot \text{m}^{-1}] \quad (\text{viz literaturu [2]})$$



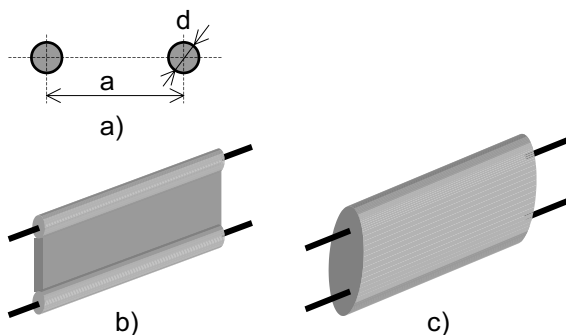
Obr. 5.7 Náhradní schéma vysokofrekvenčního vedení

Vlnová impedance se nemění s délkou vedení. Je závislá pouze na rozměrech, tvaru příčného řezu a permitivitě izolantu, ve kterém jsou uloženy vodiče.

Rozlišujeme vedení *symetrické* a *nesymetrické*.

Symetrické vedení má sudý počet rovnoběžných vodičů a nesymetrické má jeden vodič a druhý je zastoupen zemí nebo stínícím krytem.

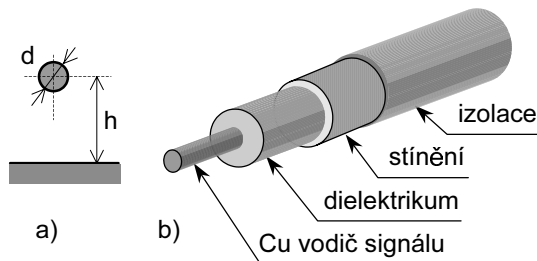
Mezi symetrické vedení patří dvouvodičové vedení, a též dvoulinka, která je buď plochá nebo oválná (*obr. 5.8*). Tato vř vedení mají vlnovou impedanci $Z_0 = 300 \Omega$.



Obr. 5.8 Symetrická vedení
a) dvouvodičové; b) ploché dvouvodič; c) oválné dvouvodič

Nejčastější nesymetrické vedení je vedení *sousé* neboli *koaxiální* (*obr. 5.9*), vyráběné nejčastěji s vlnovou impedancí $Z_0 = 75$ nebo 50Ω , ale mohou být i jiné hodnoty impedance.

Výhodou koaxiálních vedení je malé vyzařování, velká odolnost proti vnějšímu rušení, možnost uložit kabel do trubek, pod omítku, do země ap. Nevýhodou je nutnost spojování konektory a vyšší cena.



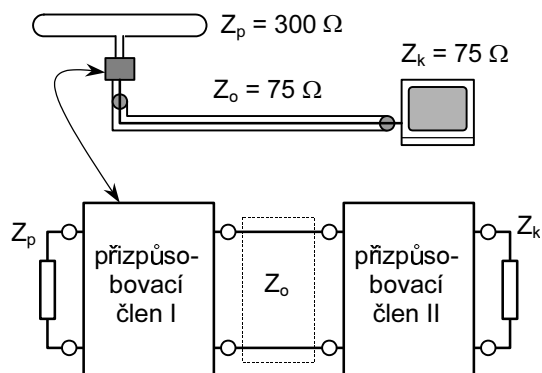
Obr. 5.9 Nesymetrická vedení
a) jednovodičové vedení; b) koaxiální kabel

Elektromagnetické vlnění se šíří po vedení v tzv. *postupné vlně*. Ta se odráží od konce vedení a jako *odražená vlna* postupuje zpět.

PŘÍZPŮSOBNÝ STAV

Je-li vedení zakončeno impedancí, která se nerovná vlnové impedanci vedení, šíří se po vedení postupná a odražená vlna současně a jejich složením vznikne výsledná vlna, tzv. *stojatá vlna*. Přenos energie se uskutečňuje se ztrátami. Je-li zátěž $Z_K = 0$ (vedení nakrátko), nebo $Z_K = \infty$ (vedení rozpojeno), nepřenáší se žádný výkon. Je-li vedení nekonečně dlouhé nebo zakončené impedancí Z_K rovnající se vlnové impedanci vedení ($Z_0 = Z_K$), nedochází na konci vedení k odrazu. Odražená vlna je tedy nulová, po vedení se šíří jen samotná postupná vlna.

Přenos energie se uskutečňuje s minimálními ztrátami, tzn. že generátor předá do zátěže maximální výkon. Říkáme, že provoz vedení je v *přízpůsobeném stavu*. Pokud není splněna podmínka rovnosti impedancí je nutné použít přízpůsobovací členy (impedanční transformátory, symetrizační členy, baluny) – viz obr. 5.10.



Obr. 5.10 Přízpůsobené vysokofrekvenční vedení

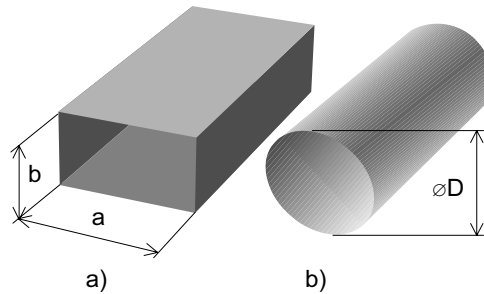
VLNOVODY

Koaxiální vedení lze používat teoreticky pro nulové až nekonečné kmitočty. V pásmu centimetrových vln však již vzrůstají ztráty v malém průřezu povrchové vrstvy vnitřní-

ho vodiče a v izolaci mezi vodiči. Pro snížení ztrát je nutné zvětšit průměr vnitřního vodiče a vzdálenost mezi vodiči, neboli zvětšit též vnější průměr. Proto je výhodnější přejít na tzv. *vlnovody*.

Vlnovody jsou vysokofrekvenční vedení ve tvaru trubky, nejčastěji obdélníkového nebo kruhového průřezu (*obr. 5.11*).

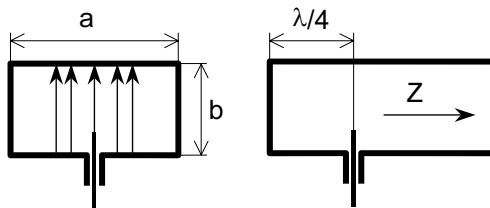
Používají se pro kmitočty větší než 2000 MHz (dm, cm a mm vlny).



Obr. 5.11 Vlnovod a) obdélníkový; b) kruhový

Elektromagnetické vlny se šíří uvnitř vlnovodu a postupují v podélném směru mnohonásobnými odrazy na stěnách. Ztráty ve vlnovodu vznikají v dielektriku, kterým je obvykle vzduch a nedokonalou elektrickou vodivostí vnitřních stěn, i když se leští a postříbřují. Přesto jsou zde ztráty menší než u sousého vedení.

Napájení vlnovodu nebo odebírání vř energie se provádí např. sousým vedením. Vazbu vytvoří sonda (střední vodič sousého vedení) zasahující do vlnovodu podél elektrických siločar v místě nejsilnějšího elektrického pole (*obr. 5.12*).



Obr. 5.12 Napájení vlnovodu

Sonda působí jako anténa, čím je delší, tím je vazba těsnější.

Výhodou vlnovodů je velmi malý útlum a pro komunikační účely velká šířka pásma (v pásmu 100 GHz lze přenášet asi 100 televizních kanálů).

Nevýhodou jsou vysoké nároky na přesnost výroby, obtížné řešení ohybů na trase, větší hmotnost a cena.

SVĚTLOVODY

Rozšíření kmitočtového pásma pro přenos informací až do optické oblasti vede ve spojích k využívání nových fyzikálních principů. Funkci nosné vlny přejímá v optoelektronice *světelné záření* (nosný kmitočet je kolem 10^{14} Hz) a pro vysoko-

frekvenční vedení se používá termín *světlovod*. Místo elektricky nabitých elektronů jsou nosiči signálu elektricky neutrální fotony, které na sebe vzájemně nepůsobí. Při přenosu také nevznikají elektrická a magnetická pole, která bývají v elektrických obvodech příčinou různých parazitních vazeb, přeslechů a rušení. Optický spoj je velmi odolný proti vnějším rušivým signálům a obtížně odposlouchatelný. Optické spoje mají velkou *přenosovou kapacitu*, neboť šířka pásma je řádově 10^3 GHz.

Podle principu lze světlovody rozdělit do několika skupin:

- Duté světlovody* jsou trubky se světlostí několik milimetrů a se zrcadlovým vnitřním povrchem.
- Světlovody s *diskrétními korektory*, např. čočkami, clonkami nebo zrcadly.
- Nejperspektivnější *dielektrické světlovody* mají dielektrické jádro obklopené dielektrickým pláštěm s jiným indexem lomu. Podrobnosti viz literaturu [2].

5.4 Antény

Vysílací anténa je určena k přeměně elektrické energie vysokofrekvenčního proudu na energii elektromagnetických vln.

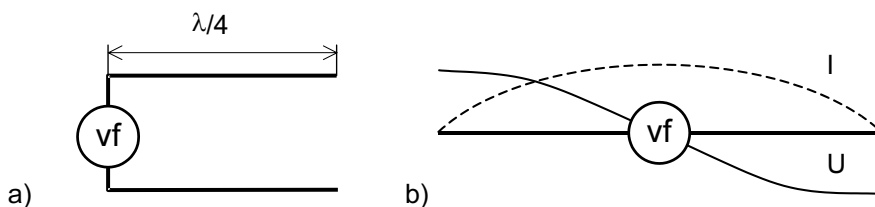
Přijímací anténa naopak slouží k přeměně energie elektromagnetických vln přicházejících z prostoru na energii vysokofrekvenčního proudu.

Charakter procesů odehrávajících se ve vysílací a přijímací anténě je vzájemně reciproční. Proto může být libovolná anténa použita jak pro vysílání, tak pro příjem.

Víme, že elektromagnetické pole má dvě složky. Elektrická složka je definována rozdílem potenciálů na jednotku délky a udává se v mV/m, popř. v $\mu\text{V/m}$. Magnetická složka se vyjadřuje v A/m.

Elektromagnetické vlny vznikají kolem každého vodiče, kterým prochází elektrický proud, ale ne každé uspořádání vodičů zaručuje maximální vyzařování.

Např. dvoudrátové vedení (*obr. 5.13a*) nevyzařuje účinně, protože oběma vodiči procházejí proudy stejné velikosti, ale opačného směru, takže jimi vyvolaná pole se vzájemně ruší.

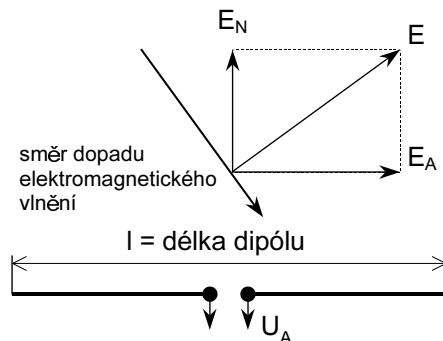


Obr. 5.13 Vznik zářiče a) dvoudrátové vedení; b) jednodrátové vedení

Efektivní zářič naopak dostaneme, rozvineme-li dvoudrátové vedení v jednodrátové, jak ukazuje *obr. 5.13b*.

Takové uspořádání vodičů nazýváme *symetrický zářič*. Na obrázku je naznačeno rozložení napětí a proudu podél vedení.

Symetrický zářič (dipól) představuje nejjednodušší vysílací anténu, ale může sloužit i jako anténa přijímací. Jestliže v takovém případě dopadá na anténu elektromagnetické vlnění pod libovolným úhlem (*obr. 5.14*), můžeme rozložit vektor elektrického pole E na dvě složky. Jednu rovnoběžnou s vodiči zářiče E_A , druhou kolmou na zářič. Složka E_A indukuje na svorkách zářiče napětí U_A .



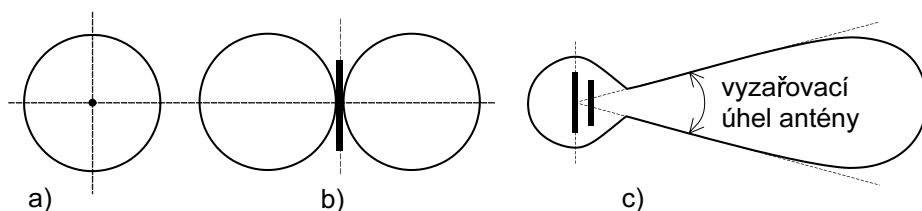
Obr. 5.14 Rozklad elektrického pole rovinné vlny na složky

TECHNICKÉ PARAMETRY ANTÉN

SMĚROVOST ANTÉNY

Směrnost antény je schopnost antény vyzařovat elektromagnetické vlny v žádaných směrech.

Tuto vlastnost posuzujeme podle směrového (vyzařovacího) diagramu, který udává závislost intenzity elektromagnetického pole vysílaného anténou na směru vysílání. Diagramy zobrazujeme obvykle v horizontální rovině.



Obr. 5.15 Vyzařovací diagramy
a) svislý dipól; b) půlvlnný dipól; c) dvouprvková anténa

Z obr. 5.15 je vidět, že směrový diagram dipólu v horizontální rovině je kružnice, dipól tedy nevykazuje směrové účinky. Říkáme, že anténa je všesměrová. Půlvlnný dipól má směrový diagram ve tvaru osmičky. U směrového diagramu můžeme též určit vyzařovací úhel antény, který je dán místy na směrovém diagramu, kde poklesne vyzařovaný výkon z možného maxima na 50 %.

Větší množství anténních prvků vyzařovací úhel zmenšuje. Víceprvková anténa je proto směrová.

Často se uvádí tzv. činitel směrovosti antény, který udává kolikrát je třeba zvýšit výkon vysílače, aby intenzita pole v místě příjmu zůstala stejná při přechodu ze směrové antény na anténu všesměrovou.

VSTUPNÍ IMPEDANCE ANTÉNY

Vstupní impedanci antény nazýváme vlastní impedanci antény. Je nutné, aby z důvodu maximálního přenosu výkonu byla anténa přizpůsobena vysokofrekvenčnímu vedení. Pro zajištění této podmínky je nezbytné, aby vstupní impedance byla čistě reálná. Zjištění velikosti vstupní impedance antény je dosti složité a vyžaduje použití speciálních měřicích přístrojů.

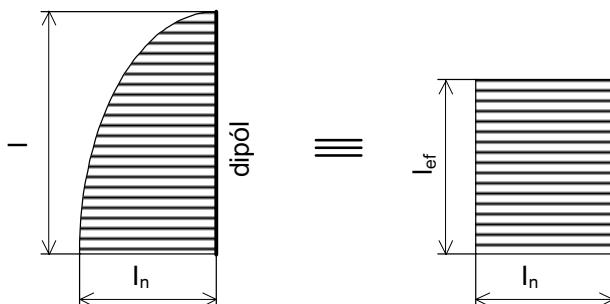
ZISK ANTÉNY

Zisk antény udává kolikrát má anténa ve směru maximálního příjmu větší vyzářený výkon (příjem) než anténa všesměrová.

EFEKTIVNÍ DÉLKA ANTÉNY

Rozložení proudu podél anténního vodiče není rovnoměrné, ale klesající, jak ukazuje obr. 5.16.

Znamená to, že všechny části antény nevyzařují vysokofrekvenční energii stejně účinně. Pro účely výpočtu výkonu se zavádí termín *efektivní délka antény* l_{ef} , při které by teoreticky po celé délce antény procházel rovnoměrně rozložený proud. Efektivní délka antény závisí na vlnové délce λ , tvaru a rozměrech antény [2].



Obr. 5.16 Odvození efektivní délky antény

I_n je proud v místě napájení; obě vyšrafované části mají stejnou plochu