

Fyzikální praktikum 4

Přenos signálu koaxiálním vedením

Úkoly

1. Několika různými způsoby změřte charakteristickou impedanci koaxiálního vedení

Úvod

Přenos elektrické energie nízkých frekvencí se děje většinou po vedení, jehož geometrické uspořádání nemá podstatný vliv na fázové posuvy mezi napětím a proudem. Jiná situace nastane, připojíme-li k vedení vysokofrekvenční zdroj napětí. Při dostatečné délce vedení ovlivňuje kvalitu přenášeného signálu jak délka vedení, tak i průřezy vodičů, jejich vzdálenost i prostředí, které vodiče obklopuje. S rostoucí frekvencí navíc roste množství energie vyzařované do okolního prostoru.

Problémy s přenosem signálů o vysokých frekvencích se objevují při přenosu signálů ve výpočetní technice, při laboratorních měřeních, ale i při přenosu televizního signálu z antény do přijímače. Zde všude je třeba využít pro přenos signálů soustavy vodičů s pevným vzájemným geometrickým uspořádáním, tedy se známými fyzikálními parametry. Jedním z nejčastěji používaných způsobů je koaxiální vedení, které navíc přenášený signál nevyzařuje do okolního prostoru a ani vnější rušivé zdroje nemohou tento signál znehodnotit.

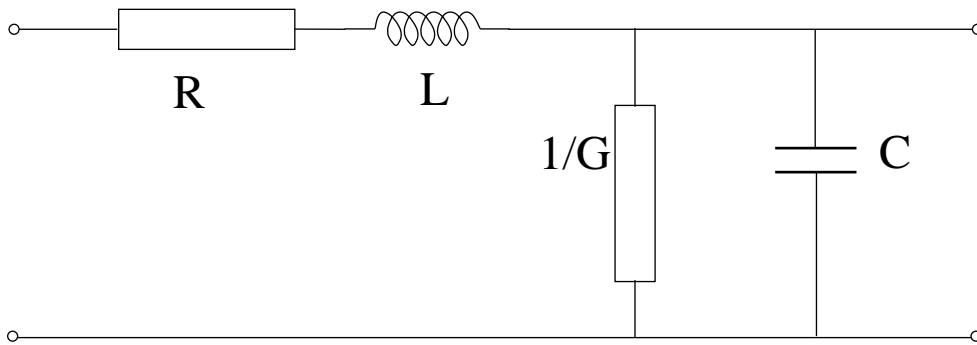
Teorie koaxiálního vedení

Obecně jsou vysokofrekvenční vedení charakterizována určitými fyzikálními veličinami. Údaje, které se budou týkat pouze koaxiálního vedení, budou zvláště vyznačeny.

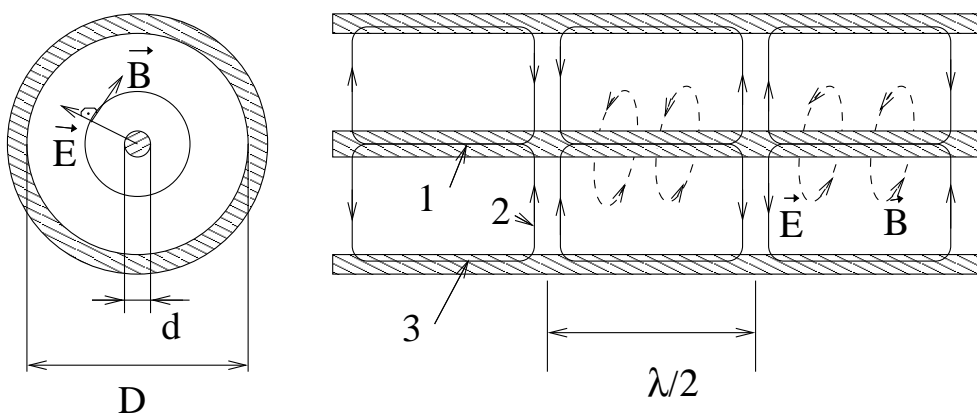
Při sledování vlastností dvouvodičového vedení, kam koaxiální vedení patří, je vhodné vycházet z modelového náhradního elektrického schématu vedení, jak je uvedeno na obr. 1. Při vyšších frekvencích již nevystačíme pouze s hodnotou odporu vedení R , ale je potřeba uvažovat i vzájemnou kapacitu vodičů C , vodivost prostředí (izolace) G mezi nimi a indukčnost L vlastních vodičů. Tyto hodnoty R , C , G a L se udávají pro jednotkovou délku. O vysokofrekvenčním vedení uvažujeme jako o vedení s rozloženými parametry, neboť uvedené parametry R , C , G a L charakterizují celé vedení v každé jeho části.

Vysokofrekvenční vedení se používá pro přenos signálu s nejrůznějším průběhem (např. pilovým, obdelníkovým, neharmonickým, harmonickým – sinovým, a tak podobně). Protože se pomocí Fourierovy analýzy dokazuje, že každý periodický signál se dá získat složením harmonických signálů, provádí se teoretická analýza chování vedení pouze na harmonických signálech.

Tvar elektrického a magnetického pole v koaxiálním vedení je znázorněn na obr. 2. Signál je přenášen jak elektrickým proudem ve vodičích tak s rostoucím kmitočtem stále více i elektrickým a magnetickým polem v dielektriku vyplňujícím prostor mezi vodiči. Proto je rychlost šíření signálu dána hlavně relativní permitivitou dielektrika. S rostoucí frekvencí roste i vliv skin-efektu, tj. elektrický proud prochází pouze u povrchu vodičů a rostou tak ztráty ve vedení (vyjádřené veličinou R). Ztráty v dielektriku popisujeme svodovým odporem, nebo jeho převrácenou hodnotou – vodivostí G .



Obrázek 1: Náhradní elektrické schéma vysokofrekvenčního vedení jednotkové délky.

Obrázek 2: Řez koaxiálním vedením a schématické znázornění elektrického a magnetického pole. 1 - elektrický proud ve vnitřním vodiči, 2 - směr posuvného proudu v dielektriku, 3 - elektrický proud ve vnějším vodiči, \vec{E} , \vec{B} - intenzita elektrického pole a indukce magnetického pole.

Po matematické analýze bychom zjistili, že pro bezztrátové ($R = G = 0$) a nemagnetické ($\mu_r = 1$) vedení se signál šíří rychlostí:

$$v \approx \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (1)$$

kde c je rychlost světla a ϵ_r je relativní permitivita použitého dielektrika. Délka vlny λ je pak dána rovnicí:

$$\lambda = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (2)$$

kde λ_0 je délka vlny ve vakuu. Poměr

$$\frac{\lambda}{\lambda_0} = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_r}}$$

se nazývá činitel zkrácení. Rychlost šíření vlnění po vedení se určuje rovněž pomocí indukčnosti a kapacity délkové jednotky vedení:

$$v^2 = \frac{1}{LC} \quad (3)$$

Pomocí náhradního schématu vf. vedení (obr. 1) můžeme pro změnu impedance vedení (Z) na infinitezimální vzdálenosti dx odvodit diferenciální rovnici

$$Z + dZ = Rdx + i\omega Ldx + \frac{1}{Gdx + i\omega Cdx + \frac{1}{Z}} = Rdx + i\omega Ldx + Z - Z^2(G + i\omega C)dx$$

$$\frac{dZ}{dx} = R + i\omega L - Z^2(G + i\omega C) \quad (4)$$

Z této diferenciální rovnice vyplývá existence tzv. charakteristické impedance Z_0 , pro kterou platí $dZ/dx = 0$:

$$Z_0 = \sqrt{\frac{R + i\omega L}{G + i\omega C}} \quad (5)$$

Pro kratší úseky vedení, kdy lze zanedbat ztráty, tj. lze předpokládat $R \ll \omega L$, $G \ll \omega C$, vychází pro charakteristickou impedanci vztah:

$$Z_0 \approx \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (6)$$

Uvedená rovnice (6), ukazuje, že charakteristická impedance nezávisí na délce vedení a je dána hlavně indukčností a kapacitou vedení, tj. závisí výrazně na rozměrech vodičů, jejich vzdálenosti a na prostředí, které vodiče obklopuje. Vypočteme-li teoreticky indukčnost L a kapacitu C koaxiálního vedení z jeho geometrických rozměrů (obr. 2), dostaneme po zanedbání ztrát:

$$Z_0 \approx \frac{60}{\sqrt{\epsilon_r}} \cdot \ln \frac{D}{d} \quad (7)$$

kde D a d jsou rozměry podle obr. 2. Z_0 má tedy při zanedbání ztrát charakter reaktance.

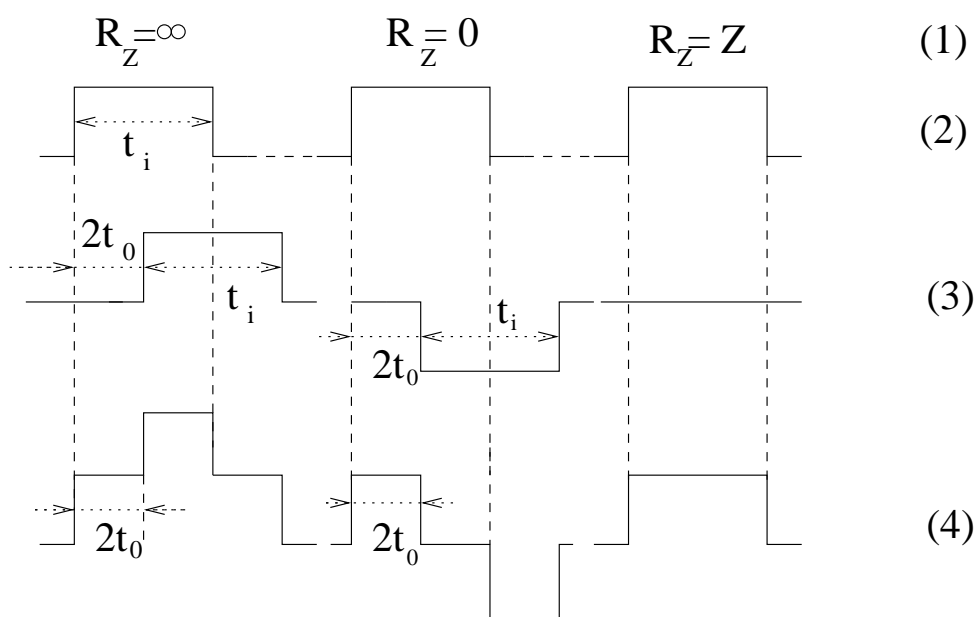
Význam charakteristické impedance vyplývá ze způsobu šíření signálu mezi zdrojem signálu a jeho příjemcem – spotřebičem. Obecně se po vedení nešíří pouze jeden signál – směrem od zdroje, ale i signál odražený od konce vedení (od spotřebiče) směřující zpět ke zdroji. Pokud je vedení na konci zatíženo charakteristickou impedancí Z_0 , předává se celý výkon zdroje, přenášený signálem, do zatěžovací impedance spotřebiče. V takovém případě se od konce vedení signál neodráží.

Na vedení, které je na konci zatíženo (zakončeno) zkratem (nulovým odporem), se signál odráží s opačnou fází a stejně velkou amplitudou. Na vedení, které je nakonci rozpojeno, které je tedy zatíženo nekonečně velkou impedancí, se odráží signál s amplitudou stejné polarity (obr. 3).

Při přemosu vysokofrekvenčních signálů po vedení zanedbatelných délek je tedy nutné dbát na tzv. impedanční přizpůsobení zdroje signálu, vedení a příjemce signálu - spotřebiče. V případě nepřizpůsobení (tj. neplatí-li rovnice: *výstupní impedance zdroje* = Z_0 = *vstupní impedance spotřebiče*), vznikají na vedení odražené signály, které přenos signálu (informace, výkonu atd.) znehodnocují.

Pomůcky

- Koaxiální kabel délky
- Časovač CM 555, který lze použít jako zdroj napěťových pulzů
- Osciloskop
- Multimetr, elektronické součástky, konektory atd.
- RLC metr



Obrázek 3: Sčítání přímých a odražených pulzů pro různé zatěžovací impedance. t_i – délka generovaného pulzu, t_0 – doba nutná k proběhnutí vzdálenosti l . (1) Typ zatěžovací impedance, (2) přímé pulzy - dodává generátor, (3) pulzy odražené od konce koaxiálního vedení, (4) složení přímých a odražených pulzů na vstupu vedení.