

**PODKLADY PRO PRAKTICKÝ  
SEMINÁŘ PRO UČITELE VOŠ**



**Přenosová média, vlastnosti  
vedení, metalické páry,  
přeslechy**

**Ing. Bc. Ivan Pravda, Ph.D.**

**AUTOŘI**

Ivan Pravda

**NÁZEV DÍLA**

Přenosová média, vlastnosti vedení,  
metalické páry, přeslechy

**ZPRACOVALO**

České vysoké učení technické v Praze  
Fakulta elektrotechnická

**KONTAKTNÍ ADRESA**

Technická 2, Praha 6

**POČET STRAN**

37

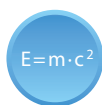
**INOVACE, PRAKTICKÉ ZKUŠENOSTI A ATRAKTIVITA  
VE VZDĚLÁVACÍCH PROGRAMECH PRO VOŠ**

<http://ipzavos.sssep9.cz>



Evropský sociální fond  
Praha & EU: Investujeme do vaší budoucnosti

## VYSVĚTLIVKY



Definice



Zajímavost



Poznámka



Příklad



Shrnutí



Výhody



Nevýhody

---

## ANOTACE

Modul je zaměřen na objasnění problematiky týkající se primárně metalických vedení. Modul je rozdělen na dvě části. První část je věnována praktickým závěrům z teorie vedení, druhá část pak popisuje konstrukční specifika jednotlivých typů metalických vedení a parametry ovlivňující přenos po metalických vedeních.

## CÍLE

Student se v rámci modulu seznámí se závěry teorie vedení a jejich aplikací na reálné přenosové systémy. Dále se má možnost získat znalosti z problematiky konstrukce metalických vedení. Na závěr modulu jsou v přehledové podobě studentům předloženy informace týkající se rušivých vlivů, které významně ovlivňují informační propustnost přenosových kanálů.

## LITERATURA

- [1] SVOBODA, J. a kol.: Telekomunikační technika (I.díl) – Zprávy, signály, přenosová prostředí. Odborné nakladatelství Hüthig&Beneš, Praha 1999. 136 str. ISBN 80-901936-3-3.
- [2] JANSEN, H.; RÖTTER, H. a kol.: Informační a telekomunikační technika. Vydavatelství Europa Sobotáles cz., Praha 2004, 400 str. ISBN 80-86706-08-7.
- [3] VODRÁŽKA, J.: Přenosové systémy v přístupové síti (skriptum ČVUT FEL). Vydavatelství ČVUT, Praha 2003, 180 str. ISBN 80-01-02660-4.
- [4] VODRÁŽKA, J.; HAVLAN, M.: Přístupové přenosové systémy – cvičení (skriptum ČVUT FEL). Vydavatelství ČVUT, Praha 2003, 159 str. ISBN 80-01-02786-4.

# Obsah

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>Praktické závěry z teorie vedení .....</b>                           | <b>6</b>  |
| 1.1      | Úvod do problematiky .....  | 6         |
| 1.2      | Metalická vedení .....  | 9         |
| 1.3      | Primární parametry vedení .....   | 10        |
| 1.4      | Sekundární parametry vedení .....                                       | 11        |
| 1.5      | Problematika korektně a nekorektně zakončeného vedení.....              | 13        |
| 1.6      | Kvantifikace korektnosti impedančního zakončení .....                   | 15        |
| 1.7      | Specifika měření impedančních závad na vedeních.....                    | 16        |
| 1.8      | Vedení při velmi vysokých kmitočtech.....                               | 18        |
| <b>2</b> | <b>Konstrukční vlastnosti metalických vedení .....</b>                  | <b>19</b> |
| 2.1      | Druhy a charakteristiky metalických vedení .....                        | 19        |
| 2.2      | Další možnosti kategorizace metalických vedení .....                    | 20        |
| 2.3      | Konstrukce kabelových vedení .....                                      | 22        |
| 2.4      | Symetrická kabelová vedení.....   | 23        |
| 2.5      | Využití symetrických kabelových vedení .....                            | 24        |
| 2.6      | Strukturovaná kabeláž .....   | 26        |
| 2.7      | Koaxiální kabely.....   | 28        |
| 2.8      | Modelování parametrů symetrických párů.....                             | 30        |
| 2.9      | Rušivé vlivy přenosového prostředí .....                                | 32        |
| 2.10     | Vliv přeslechů na informační propustnost přenosového kanálu .....       | 33        |
| 2.11     | Vliv ostatních rušení na informační propustnost přenosového kanálu..... | 35        |
| 2.12     | Informační propustnost přenosového kanálu .....                         | 37        |

# 1 Praktické závěry z teorie vedení

## 1.1 Úvod do problematiky

Mezi telekomunikačními zařízeními je přenos signálů na potřebnou vzdálenost nejčastěji realizován ve formě tzv. elektromagnetických vln.

$E = m \cdot c^2$

Elektromagnetická vlna je charakterizována pomocí dvou fyzikálních veličin – kmitočtem  $f$ , udávajícím počet kmitů vlny za jednotku času (nejčastěji to bývá sekunda), a vlnovou délkou  $\lambda$ , která závisí na rychlosti šíření vlny v konkrétním přenosovém prostředí.

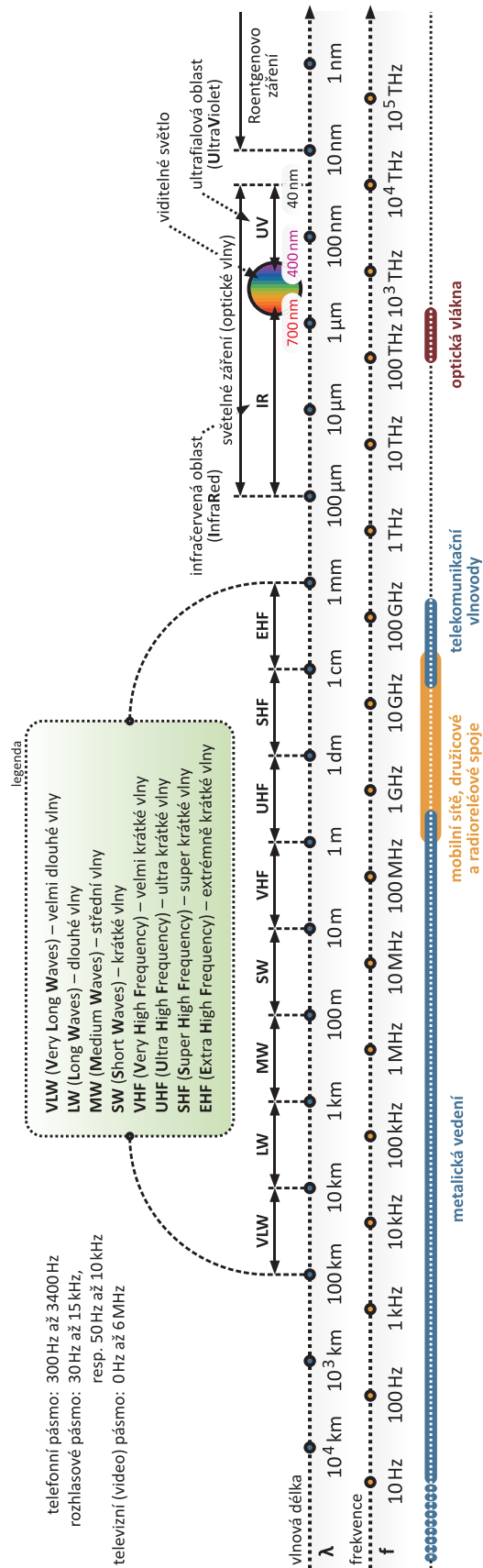
*i*

Pro volný prostor, kdy šíření elektromagnetické vlny probíhá vzduchem, je rychlost šíření elektromagnetické vlny  $c$  rovna přibližně hodnotě  $3 \cdot 10^5 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ .

Délku vlny  $\lambda$  pak lze jednoduše vypočítat dle následujícího vztahu:

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad [\text{m}; \text{m} \cdot \text{s}^{-1}, \text{Hz}] \quad (1.1)$$

Následující obrázek pak znázorňuje vztah kmitočtu a délky elektromagnetické vlny pro šíření volným prostorem a dále využití frekvenčních pásem pro různé telekomunikační přenosové cesty a přenosové systémy. K tomuto obrázku se budeme v dalším výkladu často vracet.



Závislost vlnové délky na kmitočtu pro elektromagnetickou vlnu ve volném prostoru a využití frekvenčních pásem telekomunikačními systémy


$$E=mc^2$$

---

Elektromagnetická vlna se může šířit různým prostředím. Pro přenos signálu vytváříme buď speciální cestu, kterou může reprezentovat metalické vedení (symetrický pár nebo koaxiální pár), mikrovlnný vlnovod nebo optický vlnovod, resp. optické vlákno, nebo můžeme využít k šíření signálu přímo volný prostor (tzv. rádiový přenos).

---



---

Pro různé kmitočty elektromagnetické vlny jsou vhodné různé druhy přenosového prostředí, resp. různá přenosová média.

---

Každý druh přenosové cesty má některé přednosti, proto se někdy vzájemně doplňují. O použití určitého řešení rozhodují podrobné technicko-ekonomické rozborů.



---

Obecně lze říci, že postupně klesá význam metalických přenosových cest, zcela jistě na úrovni páteřních sítí, a roste význam a využívání přenosových cest optických. Rádiové přenosové cesty mají nezastupitelný význam pro svoji mobilitu.

---



## 1.2 Metalická vedení

Metalické přenosové cesty jsou v současné době realizovány telekomunikačními vedeními.

$E = m \cdot c^2$

Telekomunikační vedení lze definovat jako vhodně uspořádanou soustavu metalických vodičů.

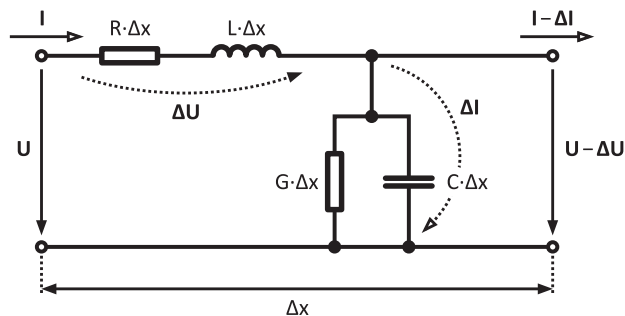
Telekomunikační vedení mohou přenášet široké spektrum různých signálů. Vedle signálů stejnosměrných to mohou být i signály s velmi nízkými, tónovými, ale i vysokými kmitočty v řádech do stovek MHz.

$E = m \cdot c^2$

Telekomunikační vedení můžeme zjednodušeně považovat za homogenní vedení s rovnoměrně rozloženými elektrickými parametry.

$E = m \cdot c^2$

Homogenní vedení má ve všech svých částech stejné elektrické vlastnosti. Vlastnosti elementu homogenního vedení délky  $l$  můžeme modelovat náhradním schématem (viz následující obrázek).



Náhradní schéma elementu homogenního vedení

*i*

Symbolem  $\Delta$  vyjadřujeme elementární přírůstek příslušné veličiny. Přesného vyjádření bychom dosáhli pomocí tzv. diferenciálů, jejichž použití je však podmíněno znalostí příslušného matematického aparátu. Tučně budeme označovat komplexní veličiny, např. fázory napětí  $U$ .

## 1.3 Primární parametry vedení

$E = m \cdot c^2$

Charakteristickými parametry homogenního vedení jsou tzv. primární parametry vedení.

$E = m \cdot c^2$

Mezi primární parametry patří měrný odpor  $R$  [ $\Omega \cdot \text{km}^{-1}$ ], měrná indukčnost  $L$  [ $\text{mH} \cdot \text{km}^{-1}$ ], měrná kapacita  $C$  [ $\text{nF} \cdot \text{km}^{-1}$ ] a měrný svod  $G$  [ $\mu\text{S} \cdot \text{km}^{-1}$ ].

$E = m \cdot c^2$

Primární parametry jsou pro daný typ vedení a danou frekvenci **KONSTANTNÍ!**

Při přenosu harmonického signálu vedením dochází průchodem proudem  $I$  podélnou impedancí elementu vedení  $\Delta x$  k úbytku napětí  $\Delta U$ , který lze vyjádřit pomocí následující rovnice:

$$\Delta U = I \cdot (R + j\omega L) \cdot \Delta x \quad (1.2)$$

*i*

Harmonický signál je takový signál, jehož průběh může být modelován funkcemi sinus nebo kosinus.

Analogickým způsobem pak lze vyjádřit rovnici pro příčnou impedanci elementu vedení  $\Delta x$ , na které dochází vlivem přiloženého napětí  $U$  k úbytku proudu  $\Delta I$ , který lze vyjádřit pomocí následující rovnice:

$$\Delta I = U \cdot (G + j\omega C) \cdot \Delta x \quad (1.3)$$



Primární parametry vedení však nemají žádnou vypovídací hodnotu pro posouzení přenosových vlastností vedení. Pro sledování přenosových vlastností homogenního vedení se proto zavádějí tzv. sekundární parametry vedení.

## 1.4 Sekundární parametry vedení

Jak již bylo konstatováno v závěru předchozí kapitoly, sekundární parametry se zavádějí pro sledování přenosových parametrů homogenního vedení.

$E=m \cdot c^2$

Poměr napětí  $U$  a proudu  $I$  je v každém bodě homogenního vedení konstantní a nazývá se charakteristická (vlnová) impedance vedení  $Z_c$ , která bývá vyjádřena komplexním číslem.

$$Z_c = \frac{U}{I} = \frac{\Delta U}{\Delta I} = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}} = |Z_c| \cdot e^{j\varphi_c} \quad [\Omega; V, A; \Omega, \text{mH}, \text{mS}, \mu\text{F}] \quad (1.4)$$

kde  $|Z_c|$  je modul vlnové impedance resp. absolutní hodnota vlnové impedance (poměr velikosti napěťové a proudové vlny v každém místě homogenního vedení) a  $\varphi_c$  je argument vlnové impedance (rozdíl mezi fází napěťové a proudové vlny v každém místě homogenního vedení).

$E=m \cdot c^2$

Relativní změna napětí a proudu v každém elementu homogenního vedení vztahená na jednotkovou délku vedení je též konstantní a nazývá se měrná vlnová míra přenosu  $\gamma$ .

$$\gamma = \frac{\Delta U}{U \cdot \Delta l} = \frac{\Delta I}{I \cdot \Delta l} = \sqrt{(R + j\omega L) \cdot (G + j\omega C)} = \alpha + j\beta$$
$$[\Omega; V, A; \Omega, \text{mH}, \text{mS}, \mu\text{F}] \quad (1.5)$$



Měrná vlnová míra přenosu  $\gamma$  je opět komplexní veličina. Její reálná část  $\alpha$  se nazývá měrný (vlnový) útlum ( $\text{dB} \cdot \text{km}^{-1}$ ) a imaginární část  $\beta$  se nazývá měrný fázový posuv ( $\text{rad} \cdot \text{km}^{-1}$ ).

$i$

Měrný fázový posuv  $\beta$  udává zpoždění fáze šířící se vlny na jednotku délky (užívá se jednotka km). Zpoždění fáze o  $360^\circ$ , tj o  $2\pi$ , nastane právě ve vzdálenosti jedné délky vlny  $\lambda$ .

$$\beta \cdot \lambda = 2\pi \Rightarrow \lambda = \frac{2\pi}{\beta} \quad [\text{km}; \text{rad}, \text{rad} \cdot \text{km}^{-1}] \quad (1.6)$$



Proto se měrný fázový posuv  $\beta$  někdy nazývá jako konstanta vlnové délky. Její hodnota je závislá na typu a konkrétních parametrech vedení.

$E=m \cdot c^2$

Rychlost, jakou se šíří fáze postupující harmonické vlny, udává tzv. fázová rychlost šíření  $v_f$ .

Fázovou rychlost šíření  $v_f$  je možné vypočítat dle následujícího vztahu:

$$v_f = \frac{\lambda}{T} = \lambda \cdot f = \frac{2\pi \cdot f}{\beta} = \frac{\omega}{\beta}$$

$$[\text{km} \cdot \text{s}^{-1}; \text{km}, \text{s}; \text{km}, \text{Hz}; \text{Hz}, \text{rad} \cdot \text{km}^{-1}; \text{rad} \cdot \text{s}^{-1}, \text{rad} \cdot \text{km}^{-1}] \quad (1.7)$$

*i*

Fázová rychlost šíření  $v_f$  je opět závislá na typu vedení a jeho parametrech. Je vždy nižší než rychlost šíření elektromagnetické vlny ve volném prostoru.

Přenášený signál má však zpravidla složitější tvar a je tvořen skupinou harmonických vln s velmi blízkou hodnotou vlnové délky, tj. s velmi blízkými kmitočty. Pro posouzení rychlosti šíření signálu, jehož složky jsou rozloženy ve spektru, je důležitá rychlost šíření této skupiny vln, která je vyjadřována parametrem skupinová rychlost šíření  $v_{sk}$ .

*i*

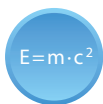
Skupinová rychlost šíření  $v_{sk}$  je závislá na šířce pásma kmitočtů skupiny vln a odpovídající změně měrného fázového posuvu  $\beta$ .

Matematicky lze předchozí myšlenku vyjádřit následující rovnicí:

$$v_{sk} = \frac{\Delta\omega}{\Delta\beta} \quad [\text{km} \cdot \text{s}^{-1}; \text{rad} \cdot \text{s}^{-1}, \text{rad} \cdot \text{km}^{-1}] \quad (1.8)$$

## 1.5 Problematika korektně a nekorektně zakončeného vedení

Na základě dalšího rozvedení předchozích základních vztahů pro přenos signálu vedením je možné vyslovit některé důležité hypotézy a učinit tak velmi zajímavé závěry.



Amplituda napětí a proudu se v každém místě vedení skládá ze dvou složek. První složku představuje hlavní (postupná) vlna šířící se vedením směrem od počátku, druhou složku tvoří zpětná (odražená) vlna šířící se směrem od konce vedení.



Amplituda postupné a odražené vlny je závislá na vlnové impedanci vedení  $Z_c$  a na impedančním zakončení vedení impedancí  $Z_2$ .



V případě, kdy jsou vlnová impedance vedení  $Z_c$  a zakončovací impedance vedení  $Z_2$  shodné, odražená vlna NEVZNIKÁ a vedením se šíří POUZE postupná vlna! Vedení je v tomto případě bezodrazově (korektně) zakončeno, což je žádoucí stav pro přenos signálů vedením!



Naopak v případě, kdy vlnová impedance vedení  $Z_c$  a zakončovací impedance vedení  $Z_2$  shodné nejsou, dochází ke vzniku odražené vlny. Obě vlny, postupná i odražená, šířící se po vedení, se následně vektorově sčítají.



Na vedení pak vznikají místa, kde jsou obě vlny ve fázi a výsledná amplituda vlnění nabývá lokálních maxim a místa, kde jsou obě vlny v protifázi, a kde výsledná amplituda vlnění naopak vykazuje lokální minima. Na vedení vznikají tzv. stojaté vlny!



Takový stav vedení je z hlediska přenosu signálu NEŽÁDOUCÍ, neboť vedle přenosu části energie signálu ze zdroje do spotřebiče dochází k vyzařování energie z vedení, které se tak chová jako anténa, a tím pádem tento proces vede ke ztrátě části energie signálu!

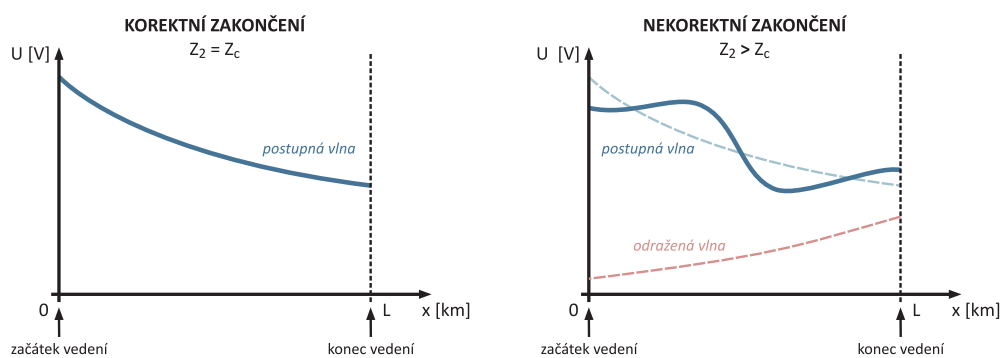


Takové nekorektně zakončené vedení je také náchylné k příjmu rušivých signálů ze svého okolí, neboť se v zásadě chová nejen jako vysílací, ale taktéž i jako přijímací anténa.



Vlivem odražené vlny dochází i ke zvlnění vstupní impedance vedení  $Z_I$  a zvlnění přenosových charakteristik v závislosti na kmitočtu, proto je třeba dodržovat určitý stupeň korektnosti impedance zakončení telekomunikačních vedení.

Průběh amplitudy napěťové vlny na korektně ( $Z_2 = Z_c$ ) a nekorektně ( $Z_2 > Z_c$ ) zakončeném vedení ilustruje následující obrázek.



Průběh amplitudy napěťové vlny na korektně a nekorektně zakončeném vedení