

# Přenosové prostředí a jeho veličiny

## Opakování – Fyzická vrstva II – pojmy

Vlastnosti přenosových vedení jsou dány:

- Primárními parametry
- Sekundárními parametry

K popisu vlastností potřebujeme znát matematické a fyzikální nástroje:

- **Symbolicko-komplexní metodu**
- **Vlastnosti elektromagnetického pole (vyjádřené nejlépe pomocí Maxwellových rovnic)**

**Symbolicko-komplexní metoda** je založena na vyjádření střídavých veličin pomocí komplexních čísel. Například impedance a admitance:

Cívka s vlastní indukčností  $L$  v sérii s rezistorem

Název symbolu	Výpočet
Napětí na ideálním rezistoru	$U_R = R \cdot I$
Napětí na ideální cívce	$U_L = jU_L = j\omega L \cdot I = j2\pi fLI$
Celkové napětí	$U = U_R + jU_L = R \cdot I + j\omega L \cdot I = I \cdot (R + j\omega L)$
Komplexní impedance obvodu	$Z = R + jX_L = R + j\omega L$
Komplexní admitance obvodu	$Y = \frac{1}{Z} = \frac{1}{R + jX_L} = G - jB_L$
Konduktance obvodu (činná vodivost)	$G = \frac{R}{Z^2}$
Susceptance obvodu (jalová vodivost)	$B_L = \frac{X_L}{Z^2}$
Absolutní hodnota impedance	$Z = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2}$
Absolutní hodnota napětí	$U = I \cdot Z = I \sqrt{R^2 + (\omega L)^2}$
Fázový posun	$\tan \varphi = \frac{U_L}{U_R} = \frac{X_L}{R}, \cos \varphi = \frac{U_R}{U} = \frac{R}{Z}, \sin \varphi = \frac{U_L}{U} = \frac{X_L}{Z}$

Kondenzátor s kapacitou  $C$  v sérii s rezistorem

Název symbolu	Výpočet
Napětí na ideálním rezistoru	$U_R = R \cdot I$
Napětí na ideálním kondenzátoru	$U_c = -jU_c = -j \frac{I}{\omega C}$
Celkové napětí	$U = U_R + U_c = R \cdot I - j \frac{I}{\omega C} = Z \cdot I$
Komplexní impedance	$Z = R - jX_c$
Absolutní hodnota impedance	$Z = \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2}$
Absolutní hodnota napětí	$U = \sqrt{U_R^2 + U_c^2} = I \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2}$
Fázový posun	$tg \varphi = -\frac{1}{R \omega C}$ (Fázový posun je záporný, napětí je zpožděno za proudem)

**Vlastnosti elektromagnetického pole.** Vyjádření pomocí Maxwellových rovnic je obecný základ pro další odvození vlastností přenosového prostředí.

**Maxwellovy rovnice** jsou základní zákony v makroskopické teorii elektromagnetického pole, které zformuloval James Clerk Maxwell v roce 1865. Lze je zapsat buď v integrálním, nebo diferenciálním tvaru. V integrálním tvaru popisují elektromagnetické pole v jisté oblasti, kdežto v diferenciálním tvaru v určitém bodu této oblasti (Wikipedie). Dále jsou rovnice uvedeny v integrálním tvaru.

**První Maxwellova rovnice (zákon celkového proudu, zobecněný Ampérův zákon)**

$$\oint_c \mathbf{H} \cdot d\mathbf{l} = I + \frac{d\Psi}{dt}$$

Cirkulace vektoru intenzity magnetického pole  $\mathbf{H}$  po libovolně orientované uzavřené křivce  $c$  je rovna součtu celkového vodivého proudu  $I$  a posuvného proudu  $\frac{d\Psi}{dt}$

**Druhá Maxwellova rovnice (Zákon elektromagnetické indukce, Faradayův indukční zákon)**

$$\oint_c \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = -\frac{d\Phi}{dt}, \quad \Phi \equiv \int_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S}.$$

Cirkulace vektoru  $\mathbf{E}$  po libovolně orientované uzavřené křivce  $c$  je rovna záporně vzaté časové derivaci magnetického indukčního toku spřaženého křivkou  $c$ .

### Třetí Maxwellova rovnice (Gaussův zákon elektrostatiky)

$$\oint_S \mathbf{D} \cdot d\mathbf{S} = Q,$$

Elektrický indukční tok libovolnou vně orientovanou plochou  $S$  je roven celkovému volnému náboji v prostorové oblasti  $V$  ohraničené plochou  $S$ .

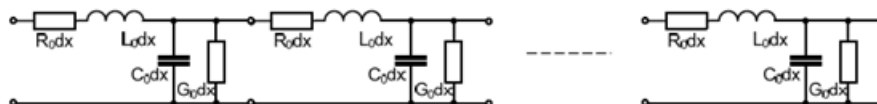
### Čtvrtá Maxwellova rovnice (Zákon spojitosti indukčního toku)

$$\oint_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S} = 0.$$

Magnetický indukční tok libovolnou uzavřenou orientovanou plochou  $S$  je roven nule.

### Primární parametry přenosových vedení

**Náhradní schéma vedení.** Vedení má v každém místě určité primární parametry. U homogenního vedení se tyto parametry nemění po celé jeho délce. Pro daný typ vedení a danou frekvenci jsou konstantní.



Primární parametry vedení:

$C_0$  [F/m] měrná kapacita  
 $L_0$  [H/m] měrná indukčnost  
 $R_0$  [ $\Omega$ /m] podélný odpor  
 $G_0$  [S/m] příčná (svodová) vodivost

V každém místě vedení platí :

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

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

## Sekundární parametry vedení . vyjadřují přenosové vlastnosti vedení.

Sekundární parametry vedení vyjadřují přenosové vlastnosti vedení. Poměr napětí  $U$  a proudu  $I$  v každém bodě homogenního vedení je stálý a nazývá se **charakteristická (vlnová) impedance** vedení  $Z_C$  vyjádřená komplexním číslem.

$$Z_C = \frac{U}{I} = \frac{\Delta U}{\Delta I} = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}} = |Z_C| \cdot e^{j\varphi_C}$$

kde  $|Z_C|$  je **modul vlnové impedance** neboli absolutní hodnota vlnové impedance, který udává poměr velikosti napěťové a proudové vlny v každém místě homogenního vedení a  $\varphi_C$  je **argument vlnové impedance**, který udává rozdíl mezi fází napěťové a proudové vlny v každém místě homogenního vedení.

Relativní změna napětí a proudu v každém elementu vedení vztažená na jednotkovou délku vedení je také **konstantní** a nazývá se **měrná vlnová míra přenosu** a značí se  $\gamma$ .

$$\gamma = \frac{\Delta U}{U \Delta l} = \frac{\Delta I}{I \Delta l} = \sqrt{(R + j\omega L)(G + j\omega C)} = \alpha + j\beta$$

Měrná vlnová míra přenosu je opět komplexní veličina. Její reálná část  $\alpha$  se nazývá **měrný (vlnový) útlum** (udává se obvykle v dB.km<sup>-1</sup> a imaginární část  $\beta$  se nazývá **měrný fázový posuv** (udává se v rad.km<sup>-1</sup>).

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

a proto

$$\lambda = \frac{2\pi}{\beta}$$

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

Rychlost, jakou se šíří fáze postupující harmonické vlny je dána tzv. **fázovou rychlostí šíření**  $v_f$ , která se vypočte dle vztahu

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

## Parametry základních typů metalických vedení

	$L_0$ [nH/cm]	$C_0$ [pF/cm]	$Z$ [ $\Omega$ ]	$\tau$ [ns/m]
samostatný vodič (vzdálený od země)	20	0,06	600	~ 4
vakuum	$\mu_0$	$\varepsilon_0$	370	3,3
kroucený dvoudrát	5 - 10	0,5 - 1	80 - 120	5
plochý kabel (prokládaný signál – zem)	5 - 10	0,5 - 1	80 - 120	5
koaxiální kabel	2,5	1,0	50	5
signál na plošném spoji	5 - 10	0,5 – 1,5	70 - 100	~ 5
sběrníkový signál na plošném spoji	5 - 10	10 - 30	20 - 40	10 - 20

### Přenosové vedení a odraz signálu.

**Činitel odrazu  $p$**  udává míru impedančního přizpůsobení začátku a konce vedení. Příklad vyjádření činitele odrazu na konci vedení:

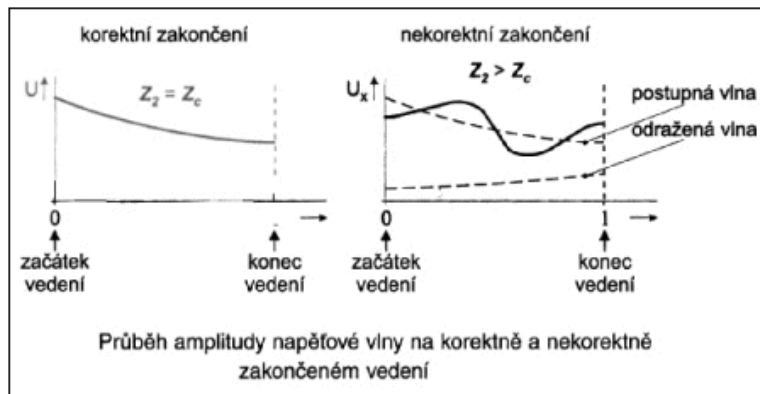
$$\frac{Z_2 - Z_v}{Z_2 + Z_v} = p_2$$

$P_2$  činitel odrazu na konci vedení

$Z_2$  impedance zakončující vedení

$Z_v$  vlastní impedance vedení

Snahou je vedení na obou koncích přizpůsobit ( $Z_v=Z_1=Z_2$ ). Nedochází pak k odrazům na vedení a ke vzniku stojatých vln.



Extrémním případem nepřizpůsobení je vedení nakrátko nebo naprázdno (totální odraz vln).

**Pozn.: Vlnové „reakce“** na zkrat / rozpojené vedení je možné využít při jejich detekci tzv. **reflektometrickým měřením** (v podstatě radar). Lze zjistit zkrat / rozpojené vedení s přesností na m.

## **Měřené parametry TP kabeláže -2 cvičení**

### **Nejčastější příčiny selhání kroucené dvoulinky:**

- Vady montáže – Správná propojení při zachování párů a počtu kroucení na každém z nich. Vždy se snažte co nejvíce zachovat „originální kroucení“ dvoulinky.
- Konektory, které nesplňují požadovanou úroveň kvality přenosu
- Nesprávné nastavení testeru
- Výrobní vada nebo mechanické poškození instalovaného kabelu
- Vadné propojovací kabely

### **Základní diagnostika (viz. cvičení)**