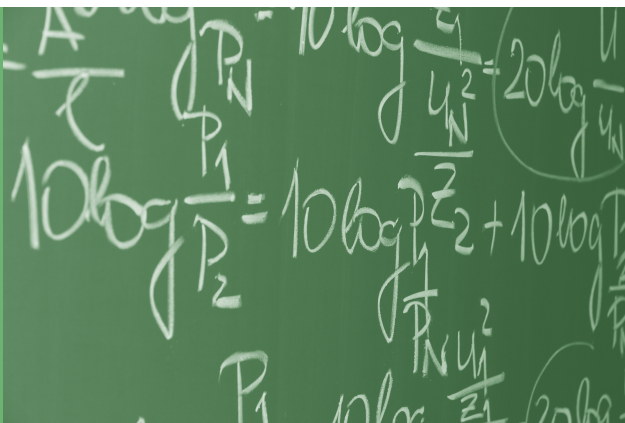


**PODKLADY PRO PRAKTICKÝ  
SEMINÁŘ PRO UČITELE VOŠ**



**Logaritmické veličiny používané  
pro popis přenosových řetězců**

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

**AUTOR**

Ivan Pravda

**NÁZEV DÍLA**

Logaritmické veličiny používané  
pro popis přenosových řetězců

**ZPRACOVALO**

České vysoké učení technické v Praze  
Fakulta elektrotechnická

**KONTAKTNÍ ADRESA**

Technická 2, Praha 6

**POČET STRAN**

59

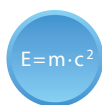
**INOVACE, PRAKTICKÉ ZKUŠENOSTI A ATRAKTIVITA  
VE VZDĚLÁVACÍCH PROGRAMECH PRO VOŠ**

<http://ipzavos.sssep9.cz>



Evropský sociální fond  
Praha & EU: Investujeme do vaší budoucnosti

## VYSVĚTLIVKY



Definice



Zajímavost



Poznámka



Příklad



Shrnutí



Výhody



Nevýhody

---

## ANOTACE

Popis přenosových soustav pomocí logaritmických veličin a možnosti jejich využití pro reálná měření.

## CÍLE

Cílem modulu je v teoretické rovině přehledně seznámit studenty s logaritmickými veličinami používanými v praxi pro výpočet provozních parametrů u přenosových soustav v návaznosti na měřené veličiny. Dále pak objasnit metodiku měření klíčových přenosových parametrů optických vláken, které s logaritmickými veličinami velmi úzce souvisí, resp. u kterých je výpočet provozních parametrů pomocí logaritmických veličin s výhodou uplatňován.

## LITERATURA

- [1] Svoboda, J. a kol.: Telekomunikační technika (I.díl) – Zprávy, signály, přenosová prostředí. Odborné nakladatelství Hüthig&Beneš, Praha 1999, ISBN 80-901936-3-3.
- [2] Girard, A. et al.: Guide To WDM Technology & Testing. Quebec City, Canada: EXFO Electro-Optical Engineering Inc., 2000. 194 s.
- [3] Vodrážka, J.; Pravda, I.: Principy telekomunikačních systémů (skriptum ČVUT FEL) (1.vydání). Nakladatelství ČVUT, Praha 2005, ISBN 80-01-03366-X.
- [4] Dubský, P. – Kucharski, M.: Měření přenosových parametrů optických vláken, kabelů a tras. Praha: Mikrokom, 1994. 132 s.

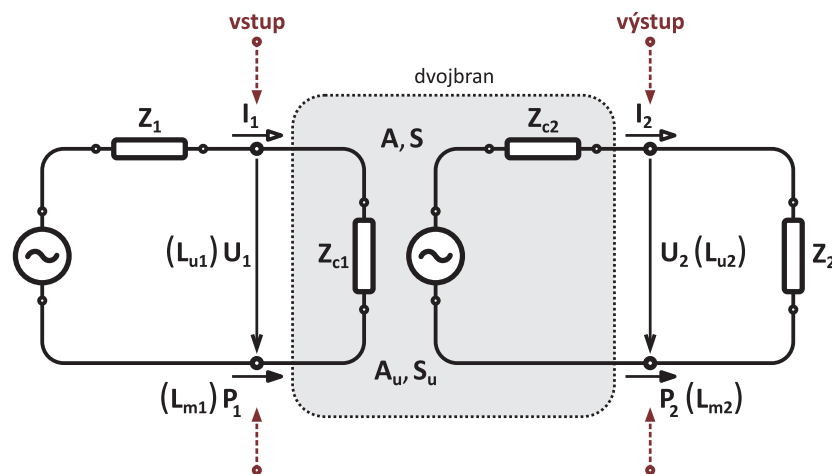
# Obsah

<b>1</b>	<b>Logaritmické veličiny v telekomunikační technice .....</b>	<b>6</b>
1.1	Úvod do problematiky .....	6
1.2	Přehled logaritmických veličin .....	8
1.3	Relativní úrovně .....	9
1.4	Absolutní úrovně .....	10
1.5	Problematika impedančního přizpůsobení .....	11
1.6	Absolutní úroveň výkonu v místě s relativní úrovní výkonu 0 dBr .....	14
1.7	Útlumy výkonu a napětí .....	16
1.8	Specifické druhy útlumů .....	19
<b>2</b>	<b>Logaritmické veličiny a jejich využití pro optická měření.....</b>	<b>20</b>
2.1	Úvod do problematiky .....	20
2.2	Absolutní úroveň výkonu .....	21
2.3	Útlum a měrný útlum .....	22
2.4	Optická vlákna v telekomunikačních sítích a jejich útlum.....	23
2.5	Specifika měření útlumu optických vláken .....	25
2.6	Problematika buzení optických vláken.....	27
2.7	Vybrané typy optických konektorů a jejich vlastnosti .....	29
2.8	Zdroje záření pro optická měření a jejich parametry .....	33
2.9	Fotodetektory pro optická měření a jejich parametry.....	35
2.10	Měření absolutní hodnoty výkonu a útlumu optických vláken .....	37
2.11	Metoda dvou délek (Cut Back Method) .....	39
2.12	Metoda vložných ztrát (Insertion Loss Method) .....	41
2.13	Metoda měření zpětného rozptylu (Backscattering Method) .....	44

# 1 Logaritmické veličiny v telekomunikační technice

## 1.1 Úvod do problematiky

Ukazuje se, že zejména pro praktická měření ale i všeobecně pro celkovou orientaci v problematice přenosových systémů je třeba znát tzv. logaritmické poměrové jednotky, resp. logaritmické poměrové veličiny. Vedle samotné teoretické znalosti logaritmických poměrových veličin je však velmi důležité umět je i správně užívat, pracovat s nimi a chápat jejich význam z hlediska správného vyhodnocení naměřených hodnot. Následující text by měl důkladně osvětlit tuto problematiku a pomocí názorných příkladů vytvořit základnu pro další studium.



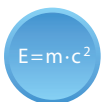
Část přenosového řetězce s vyznačenými důležitými veličinami



Ze schématu uvedeného na předchozím obrázku vyplývá, že je možno celý přenosový řetězec ale i jeho části považovat z hlediska přenosu signálu za dvojbran.



Veličiny na vstupu přenosového článku jsou označeny indexem „1“ a na výstupu indexem „2“.



Každý přenosový článek považujeme za lineární systém, kterým prochází ustálený sinusový signál.

Při praktických měřeních určujeme nejčastěji efektivní hodnoty napětí  $U$  (resp. proudů  $I$ ) a zdánlivé výkony  $P$ . Pro efektivní hodnoty napětí  $U$  a proudu  $I$  platí obdoba Ohmova zákona:

$$U = Z \cdot I \quad [\text{V}; \Omega, \text{A}] \quad (1.1)$$

Pro výkon  $P$  pak platí vztah:

$$P = U \cdot I = \frac{U^2}{Z} = I^2 \cdot Z \quad [\text{W}; \text{V}, \text{A}; \text{V}, \Omega; \text{A}, \Omega] \quad (1.2)$$

kde  $Z$  je absolutní hodnota impedance.

## 1.2 Přehled logaritmických veličin

---

$E = m \cdot c^2$

V přenosové technice obvykle používáme k vyjádření hodnot napětí a výkonu logaritmické poměrové veličiny, které nazýváme úrovně **L** (*Level*). Blíže pak rozlišujeme především úroveň výkonu a úroveň napětí. Úrovně proudu se běžně nepoužívají.

---

$E = m \cdot c^2$

Výše uvedené úrovně výkonu a napětí pak mohou být buď **relativní**, tj. porovnávají úrovně v určitém analyzovaném místě s úrovní ve zvoleném vztahném místě, nebo **absolutní**, tj. srovnávají efektivní hodnoty analyzované veličiny ve sledovaném místě s normálovou hodnotou příslušné veličiny.

---

+

Díky transformaci naměřených efektivních hodnot elektrických veličin na příslušný typ úrovní, které mají logaritmický charakter, prakticky usnadníme počítání v přenosových řetězcích tím, že složitější operace násobení a dělení, užívané v rámci obvodových rovnic, převedeme na jednodušší operace sčítání a odčítání.

---

*i*

Hodnoty úrovní se udávají pomocí logaritmické jednotky decibel [dB], která není jednotkou v pravém smyslu slova, neboť fyzikálně představuje bezrozměrné číslo.

---



## 1.3 Relativní úrovně

---

$E = m \cdot c^2$

Relativní úrovně vyjadřují korelaci hodnot analyzované veličiny v různých místech přenosového řetězce. Pro tyto účely je zvoleno určité vztažné místo  $\theta$ , ke kterému je možné přepočítat příslušné naměřené efektivní hodnoty veličiny z analyzovaného místa  $x$ .

---

V souladu s předchozí definicí pak lze matematicky zapsat relativní úroveň výkonu  $L_r$ :

$$L_r = 10 \cdot \log \frac{P_x}{P_0} \quad [\text{dBr}; \text{W}, \text{W}] \quad (1.3)$$

Zcela analogicky lze vyjádřit a matematicky zapsat i relativní úroveň napětí  $L_{ru}$ :

$$L_{ru} = 20 \cdot \log \frac{U_x}{U_0} \quad [\text{dBu}; \text{V}, \text{V}] \quad (1.4)$$

kde  $P_0$  je vztažný výkon (výkon ve vztažném bodě  $\theta$ ) a  $U_0$  je vztažné napětí (napětí ve vztažném bodě  $\theta$ ).

---



Relativní úroveň napětí vychází ze vztahu pro relativní úroveň výkonu (1.3) a vztahu pro výkon (1.2)

---



Někdy je možné se setkat s označením pro vztažný výkon  $P_v$ , přičemž označení  $P_\theta$  se též využívá pro tzv. normálový výkon, který však bude v dalším textu označován jako  $P_N$ .

---



Označení úrovní  $L$  je pro relativní úrovně doplněno indexem  $r$  a s tímto následně koresponduje i označení jednotek. Pomocí relativních úrovní jsou obvykle vyjádřeny jmenovité či měřicí hodnoty v přenosovém řetězci. Důležitým bodem je vztažné místo  $\theta$ , pro které platí  $L_{r\theta} = 0$  dBr. Do tohoto bodu jsou nejčastěji, jak si ještě ukážeme dále, přepočítávány ostatní úrovně výkonů a napětí z ostatních míst v zařízení.

---

## 1.4 Absolutní úrovně

$E = m \cdot c^2$

Smyslem definování absolutních úrovní bylo stanovit jednoznačný transformační vztah mezi efektivními hodnotami výkonu, respektive napětí a jejich příslušných úrovní. Pro tento účel bylo nutné zavést v rámci oboru přenosové techniky obecně platné referenční, resp. normálové hodnoty.

*i*

Pro stanovení normálové úrovně se historicky vyšlo ze dvou průměrných hodnot zjištěných při přenosu telefonních signálů.

$E = m \cdot c^2$

Absolutní hodnota charakteristické impedance používaných symetrických vedení nabývá v nízkofrekvenčním pásmu kolem kmitočtu 800 Hz velikosti  $Z_N = 600 \Omega$  a průměrný výkon telefonního uhlíkového mikrofónu se pohybuje kolem  $P_N = 1$  mW.

Ze znalosti předchozích dvou hodnot impedance a výkonu je pak možné pomocí vztahu (1.2) stanovit normálové napětí:

$$Z_N = 600 \Omega; P_N = 1 \text{ mW} \rightarrow U_N = 0,775 \text{ V}$$

Absolutní úroveň výkonu  $P$  je definována následujícím způsobem:

$$L_m = 10 \cdot \log \frac{P}{P_N} \quad [\text{dBm}; \text{W}, \text{W}] \quad (1.5)$$

Absolutní úroveň napětí  $U$  je pak analogicky definována následujícím výrazem:

$$L_u = 20 \cdot \log \frac{U}{U_N} \quad [\text{dBu}; \text{V}, \text{V}] \quad (1.6)$$

*i*

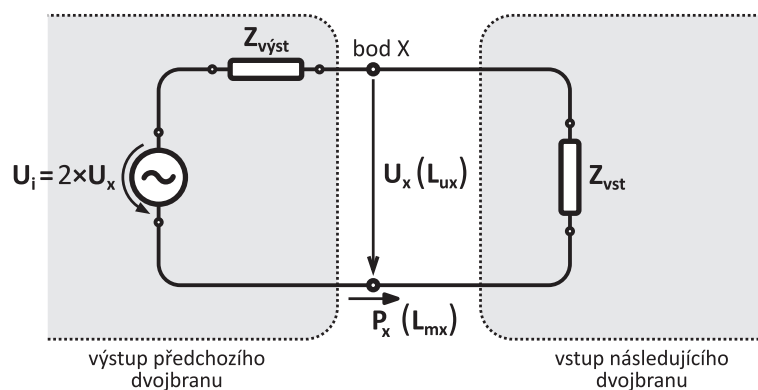
Výše uvedené vztahy vycházejí z rovnic (1.3) a (1.4), přičemž symbol „m“ u absolutní úrovně výkonu naznačuje, že normálovou hodnotou je mW. Povšimněme si, že k jednotce decibel opět přidáváme rozlišovací písmena, aby bylo na první pohled zřejmé, jakou úroveň vyjadřujeme.

## 1.5 Problematika impedančního přizpůsobení

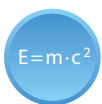


Jednotlivé části přenosového řetězce, velmi často jednotlivé úseky vedení, by měly být vzájemně impedančně přizpůsobené. Tato podmínka vychází ze skutečnosti, že se na vedení snažíme vyhnout nežádoucímu odrazu elektromagnetické vlny, ke kterému dochází, pokud jsou jednotlivé úseky vedení, resp. jednotlivé části přenosového řetězce, impedančně nepřizpůsobené.

Elektrické náhradní schéma, které vystihuje situaci na rozhraní dvou článků přenosového řetězce, resp. dvou úseků vedení, je na následujícím obrázku.



Náhradní elektrické schéma rozhraní dvou článků přenosového řetězce



Absolutní hodnota vnitřní impedance  $Z_{vyst}$  výstupu předchozího dvojbranu je shodná s absolutní hodnotou vstupní impedance následujícího dvojbranu  $Z_{vst}$ . Vnitřní napětí náhradního zdroje je pak  $U_i = 2 \cdot U_x$  (impedanční dělič).



V přenosovém řetězci se především z praktických důvodů neměří přímo efektivní hodnota výkonu. Důvodem je nutnost rozpojení vlastního obvodu tak, aby do něj bylo možné vložit proudovou sondu. Měří se tedy buď efektivní hodnota napětí pomocí elektronického voltmetru, nebo přímo absolutní úroveň napětí měřičem úrovně. Z výše uvedených důvodů je důležitý převodní vztah mezi napětíovou a výkonovou úrovní, se kterým se v praxi velmi často pracuje.



Z předchozích poznatků a ze zavedených normálových hodnot plyne, že absolutní úroveň výkonu je při splnění podmínky impedančního přizpůsobení, tj.  $Z = Z_N = 600 \Omega$ , stejná jako absolutní úroveň napětí, tj.  $L_m = L_u$ .

V předchozím textu bylo konstatováno, že u provozuschopného systému by měly být jednotlivé části přenosového řetězce (např. jednotlivé úseky vedení) vzájemně impedančně přizpůsobené. V případě impedančního nepřizpůsobení, tzn. za situace, kdy se mohou v různých místech provozovaného řetězce objevit různé impedance, pak absolutní úroveň výkonu potom bude:

$$L_m = 10 \cdot \log \frac{P}{P_N} = 10 \cdot \log \frac{\frac{U^2}{Z}}{\frac{U_N^2}{Z_N}} = 20 \cdot \log \frac{U}{U_N} + 10 \cdot \log \frac{Z_N}{Z} = L_u + \Delta Z \quad [\text{dBm}] \quad (1.7)$$



Z naměřené absolutní úrovně napětí dostaneme tedy pouhým přičtením korekčního členu  $\Delta Z$  absolutní úroveň výkonu. Pro případy, kdy  $Z_0 > Z_x$ , je hodnota korekčního členu kladná, resp. pro případy, kdy  $Z_0 < Z_x$ , je pak hodnota korekčního členu záporná.



**Příklad 1:** Elektronickým voltmetrem jsme naměřili na výstupu přenosového řetězce efektivní hodnotu napětí 38,8 mV na impedančně přizpůsobené zátěži 300  $\Omega$ . Jaká tomu odpovídá absolutní úroveň výkonu?

#### ŘEŠENÍ

Nejprve vypočteme absolutní úroveň výkonu napětí dosazením do následujícího vztahu:

$$L_u = 20 \cdot \log \frac{U}{U_N} = 20 \cdot \log \frac{0,0388}{0,775} = -26 \text{ dBu}$$

Pak vypočteme absolutní úroveň výkonu dosazením do následujícího vztahu:

$$L_m = L_u + 10 \cdot \log \frac{Z_N}{Z} = -26 + 10 \cdot \log \frac{600}{300} = -23 \text{ dBm}$$



Při přepočtech můžeme v řadě případů používat jednoduchých pravidel. Efektivní hodnota normálového výkonu  $P_N = 1 \text{ mW}$  je totiž rovna absolutní úrovni výkonu 0 dBm, tj. jedná se přímo o vztažnou hodnotu). Násobky efektivních hodnot výkonu pak odpovídají změnám absolutních úrovní výkonu uvedených v pravé části následující tabulky. Obdobná zákonitost platí i pro hodnoty absolutní úrovně napětí (viz následující tabulka).

Změna napětí	Změna úrovně napětí (abs.)	Změna výkonu	Změna úrovně výkonu (abs.)
×0,01	o -40 dBu	×0,01	o -20 dBm
×0,1	o -20 dBu	×0,1	o -10 dBm
×0,125	o -18 dBu	×0,125	o -9 dBm
×0,25	o -12 dBu	×0,25	o -6 dBm
×0,5	o -6 dBu	×0,5	o -3 dBm
2×	o +6 dBu	2×	o +3 dBm
4×	o +12 dBu	4×	o +6 dBm
8×	o +18 dBu	8×	o +9 dBm
10×	o +20 dBu	10×	o +10 dBm
100×	o +40 dBu	100×	o +20 dBm
200×	o +46 dBu	200×	o +23 dBm
1000×	o +60 dBu	1000×	o +30 dBm

Transformační tabulka násobků efektivních hodnot výkonu a napětí na hodnoty příslušných úrovní

V příkladu 1 bylo naměřené napětí právě  $20\times$  menší než normálové napětí  $U_N$ , resp.  $2\times 10\times$  menší, což odpovídá násobkům  $\times 0,5 \times 0,1$ . Odpovídající úroveň napětí tedy je  $0 - 6 - 20 = -26$  dBu.



**Příklad 2:** Máme nastavit absolutní úroveň výkonu na vstupu telekomunikačního přenosového řetězce na hodnotu  $-10$  dBm. Jakou efektivní hodnotu napětí nastavíte na generátoru, jestliže máme absolutní hodnotu vstupní impedance a)  $600 \Omega$ ; b)  $75 \Omega$ ?

**ŘEŠENÍ**

- a) Úpravou následujícího vztahu vypočteme efektivní úroveň napětí na generátoru pro  $Z = 600 \Omega$  (pro  $Z = Z_N$ ):

$$L_m = L_u = 20 \cdot \log \frac{U}{U_N} \Rightarrow U = U_N \cdot 10^{\left(\frac{L_m}{20}\right)} = 0,775 \cdot 10^{\left(\frac{-10}{20}\right)} \approx 0,245 \text{ V}$$

- b) Úpravou následujícího vztahu vypočteme efektivní úroveň napětí na generátoru pro  $Z = 75 \Omega$  (pro  $Z \neq Z_N$ ):

$$L_m = L_u + \Delta Z = 20 \cdot \log \frac{U}{U_N} + 10 \cdot \log \frac{Z_N}{Z} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow U = U_N \cdot 10^{\left(\frac{L_m - 10 \cdot \log \frac{Z_N}{Z}}{20}\right)} = 0,775 \cdot 10^{\left(\frac{-10 - 10 \cdot \log \frac{600}{75}}{20}\right)} \approx 86,65 \text{ mV}$$