

# Teória a príklady k predmetu Satelitné technológie a služby

Ing. Branislav Hrušovský  
Ing. Ľudmila Maceková, PhD.  
Ing. Ján Valiska

18. februára 2014

## 1 Úvod do satelitných technológií

**Satelitný systém** je systém pre spojenie jedného alebo viacerých účastníkov (alebo bodov) s iným alebo inými účastníkmi (alebo bodmi). Slúži na odovzdávanie informácií. Pozostáva z dvoch segmentov:

- pozemský segment
- vesmírny segment

Satelitné systémy majú možnosť duplexnej komunikácie a preto sa jednotlivé satelitné spojenia nazývajú aj ako:

- uplink
- downlink

Satelitné spoje sú realizované pomocou satelitných antén s využitím elektromagnetického vlnenia.

## 2 Decibelové miery

### 2.1 Zisk a útlm

Zisk vypočítame takto:

$$G_{[dB]} = 10 \log \left( \frac{P_2}{P_1} \right)$$

a útlm takto:

$$A_{[dB]} = 10 \log \left( \frac{P_1}{P_2} \right)$$

,kde  $P_1$  je vstupný výkon a  $P_2$  je výstupný výkon.

### 2.2 Prevod medzi decibelovými hodnotami

$$P_{[dBm]} = 10 \log P_{[mW]}$$

$$P_{[dBW]} = 10 \log P_{[W]}$$

$$U_{[dBV]} = 10 \log U_{[V]}$$

$$T_{[dB^\circ K]} = 10 \log T_{[^\circ K]}$$

### 2.3 Príklady

$$1W = ?dBW$$

$$1mW = ?dBW$$

$$1mW = ?dBm$$

$$10mW = ?dBm$$

$$35mW = ?dBm$$

$$P_1 = 1mW, P_2 = 10\mu W, A = ?$$

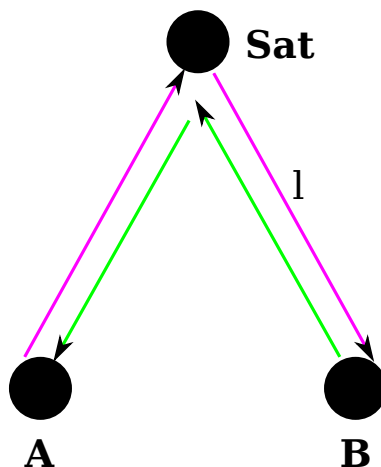
$$P = 35dBm = ?mW$$

$$P = -15dBW = ?W$$

### 3 Výpočet odozvy satelitného spoja

#### 3.1 Príklad

Vypočítajte dobu odozvy satelitného spoja(A-B-A) pri komunikácii dvoch účastníkov A a B satelitného príjmu pomocou systému MEO(20000km nad zemou).



Obr. 1: Grafický popis príkladu

Dĺžka komunikačného spoja účastník-satelit je teda  $l = 2 * 20000 = 40000km$ , rýchlosť svetla  $c = 3.10^8$ , čas potrebný pre jednocestnú komunikáciu  $t = ?$ .

$$c = \frac{l}{t}$$
$$t = \frac{l}{c} = \frac{40.10^6}{3.10^8}$$
$$t = 133ms$$

potom doba odozvy:

$$t_p = 2t = 266ms$$

## 4 Výpočet zisku satelitnej antény

Základné parametre antény:

- $D$  – priemer antény
- $G$  – zisk antény
- $\eta$  – účinnosť apertúry
- $f$  – frekvencia prijímaného signálu

Vlnová dĺžka:

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

Zisk antény:

$$G = \eta \left( \frac{\pi D}{\lambda} \right)^2$$

## 5 Šumové napätie

Šumové napätie sa vypočíta:

$$V_n = \sqrt{4kT_0RB}$$

,kde  $k$  je Boltzmanová konštanta ( $1,38 \cdot 10^{-23}$ ),  $R$  je elektrický odpor obvodu,  $B$  je šírka pásma a  $T_0$  je teplota okolia v kelvinoch.

Prevod  $^{\circ}K$  na  $^{\circ}C$ :

$$T_{[^{\circ}K]} = 273,16 + T_{[^{\circ}C]}$$

## 6 Tepelný šumový výkon

Tepelný šumový výkon sa vypočíta:

$$P_n = \frac{V_n^2}{4R} = \frac{\sqrt{4kT_0RB^2}}{4R} = kT_0B[W]$$

Z toho zisťujeme, že šumový výkon nezáleží na aktuálnej hodnote odporu  $R$ , ale iba na absolútnej teplote okolia  $T_0$  a šírke pásma  $B$ .

## 7 Spektrálna výkonová hustota šumu

Spektrálna výkonová hustota šumu sa označuje  $\frac{P}{B}$  a vypočíta sa:

$$V_n^2 = 4kT_0RB$$
$$\frac{V_n^2}{4R} = kT_0B = P_n$$
$$\frac{P}{B} = \frac{kT_0B}{B} = kT_0$$

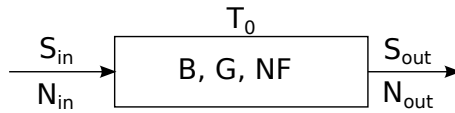
### 7.1 Príklad

Vypočítajte spektrálnu výkonovú hustotu šumu na rezistore  $75\Omega$  pri teplote  $300^\circ K$ .

$$\frac{P}{B} = kT = 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 300 = 4,14 \cdot 10^{-21} \text{ W/Hz} = -203,8 \text{ dBW/Hz}$$

## 8 Šumový koeficient $NF$

$$NF = \frac{\frac{S_{in}}{N_{in}}}{\frac{S_{out}}{N_{out}}} = \frac{\frac{S_{in}}{kT_0B}}{\frac{GS_{in}}{G(kT_0B+kT_{in}B)}} = \frac{\frac{1}{T_0}}{\frac{1}{T_0+T_{in}}} = \frac{T_0 + T_{in}}{T_0} = 1 + \frac{T_{in}}{T_0}$$



Obr. 2: Zosilňovací obvod

$$[NF] = 10 \log \left( 1 + \frac{T_{in}}{T_0} \right) [dB]$$

$$T_{in} = T_0 \left( 10^{\frac{NF}{10}} - 1 \right) [K]$$

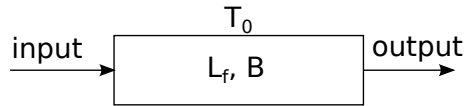
## 9 Straty v obvode $L_f$

Obvodové straty  $L_f$  vypočítame ako pomer vstupného  $SNR$  k výstupnému  $SNR$ .

$$L_f = \frac{\frac{S_{in}}{N_{in}}}{\frac{S_{out}}{S_{in}}} = \frac{\frac{S_{in}}{kT_0B}}{\frac{\frac{1}{L_f}S_{in}}{\frac{1}{L_f}(kT_0B+kT_{in}B)}} \frac{T_0 + T_{in}}{T_0} = 1 + \frac{T_{in}}{T_0}$$

$$L_f = 10 \log \left( 1 + \frac{T_{in}}{T_0} \right) [dB]$$

,kde  $T_{in}$  je vstupná šumová teplota obvodu a  $T_0$  je teplota okolia.



Obr. 3: Stratový obvod

$$T_{in} = T_0(L_f - 1)$$

Výstupná šumová teplota sa vypočíta:

$$T_{out} = T_0 \left( 1 - \frac{1}{L_f} \right)$$

## 10 Celková šumová teplota prijímača $T_S$

$$T_S = \frac{T_a}{L_f} + T_0 \left( 1 - \frac{1}{L_f} \right) + T_R$$

kde:

- $T_a$  – šumová teplota antény
- $L_f$  – straty v obvode
- $T_R$  – šumová teplota konvertora
- $T_0$  – teplota okolia

## 10.1 Šumová teplota konvertora $T_R$

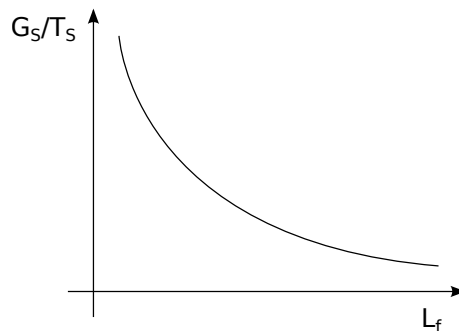
$$T_R = (F - 1)T_0 [K]$$

$F$  – šumové číslo konvertora

## 11 Efektivita systému $\frac{G_S}{T_S}$ (účinnosť systému)

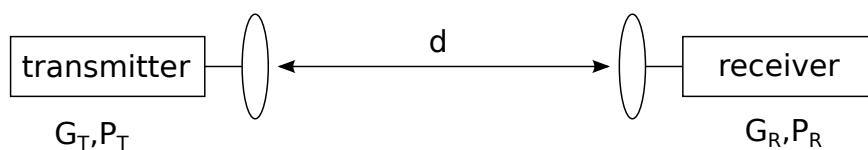
$$\frac{G_S}{T_S} = \frac{\frac{G_R}{L_f}}{\frac{T_a}{L_f} + T_0 \left(1 - \frac{1}{L_f}\right) + T_R} = \frac{G_R}{T_a + T_0(L_f - 1) + T_R L_f}$$

So zvyšujúcimi obvodovými stratami  $L_f$  sa znižuje efektivita systému.



Obr. 4: Závislosť efektivity systému s obvodovými stratami

## 12 Prijímací a vysielací výkon



Obr. 5: Bloková schéma systému

### 12.1 Výkonová hustota

$$P_D = \frac{G_T P_T}{4\pi d^2} [W/m^2]$$

## 12.2 Efektívny izotropný vyžiarený výkon

$$EIRP = G_T P_T$$

alebo v  $dB$  miere:

$$[EIRP] = [G_T] + [P_T]$$

## 12.3 Výkon prijímaný prijímacou anténou

$$P_R = \frac{G_T P_T}{4\pi d} A\eta = \frac{\lambda^2}{(4\pi d)^2} (G_T P_T) G_R = \frac{(G_T P_T) G_R}{\left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right)^2} = \frac{EIRP \cdot G_R}{L_P}$$

## 12.4 Prenosové straty vo voľnom priestore

$$L_P = \left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right)^2$$

## 13 Pomer signál/šum ( $C/N_0$ ) v satelitných komunikačných systémoch

$$\frac{C}{N_0} = \frac{\left(\frac{P_{out}}{L_f}\right) G_R}{L_P} kT_s B = \frac{(P_T G_T) G_R}{L_P} = \frac{EIRP \cdot G_R}{L_P} = \frac{EIRP}{L_P} \left(\frac{G_R}{T_s}\right) \frac{1}{kB}$$

Kvôli výkonovej hustote šumu, môžeme tento vzťah zapísať aj takto:

$$\frac{C}{N_0} = \frac{EIRP}{L_P} \left(\frac{G_R}{T_s}\right) \frac{1}{k} \quad (1)$$

Táto rovnica môže byť zapísaná v decibelovom tvare takto:

$$\left[\frac{C}{N_0}\right] = [P_T] + [G_T] - [L_P] + [G_R] - [T_s] - [k] = [EIRP] = [L_P] + \left[\frac{G_R}{T_s}\right] + 228.6 \text{ (dB)} \quad (2)$$



### 13.1 Výpočet celkového pomeru signál/šum

$$\left(\frac{C}{N_0}\right)_C = \left\{ \frac{1}{\left(\frac{C}{N_0}\right)_U} + \frac{1}{\left(\frac{C}{N_0}\right)_D} + \frac{1}{\left(\frac{C}{I_0}\right)} \right\}^{-1}$$

### 13.2 Príklad

Geostacionárny satelit vysiela signál na  $1500\text{MHz}$  k mobilnej pozemnej stanici na rovníku. Parametre sú nasledujúce:

- Satelitom vysielaný výkon( $P_T$ ) je  $1\text{W}$
- Zisk satelitnej antény( $G_T$ ) je  $21.7\text{dB}$
- Prenosové straty( $L_P$ ) pre vzdialenosť  $d = 36000\text{km}$  sú  $187.2\text{dB}$
- Zisk prijímacej antény s priemerom  $D = 40\text{cm}$  a účinnosťou apertúry  $\eta = 0.8$  je  $15\text{dB}$
- Šumová teplota systému pozemnej stanice pri teplote  $T_0 = 300\text{K}$  je  $24.8\text{dB}$

Vypočítajte  $\frac{C}{N_0}$

( $55,3\text{dBHz}$ )