Caracterização do canal de rádio

1 – Principais modelos de propagação do canal de rádio
1.1 – Modelo de atenuação

Seja:
(1) - p_T a potência transmitida (W);
(2) - l a atenuação do sinal no canal de transmissão,

a potência recebida p_R (W) é
$p_R = p_T \times l$

Em unidades logarítmicas (em dB's portanto) tem-se
P_R = 10log$_{10}$(p_R) (dB – é facultativa a sua apresentação)
$P_R = 10\log_{10}(p_T \times l) = 10\log_{10}(p_T) + 10\log_{10}(l) = P_T + L$

em que (as bases são por defeito a base 10)
$P_T = 10\log(p_T)$
$L = 10\log(l) < 0$ (sempre!!!)

Filipe Santos Moreira - Ondas (2EE) 1

Caracterização do canal de rádio

1.2 – Atenuação em espaço livre

No espaço livre:
$p_R = \alpha . p_T . d^{-2}$, com $\alpha < 1$

Em dB's
$P_R = P_T + 10\log(\alpha) - 20\log(d)$
ou
$P_R = P_T + [A + B\log(d)]$, com $A = 10\log(\alpha) < 0$ e $B = -20$

A atenuação em espaço livre é portanto
$L(d) = 10\log(\alpha) - 20\log(d) < 0$
→ Depende do quadrado da distância d
→ Decai com uma inclinação de –20 dB/década.

Filipe Santos Moreira - Ondas (2EE) 2

Caracterização do canal de rádio

Forma alternativa (em escala linear), sabido o valor da potência p_{REF} a uma distância d_{REF} da antena emissora (não é o afastamento horizontal)

$p_R = p_{REF} \times (d_{REF}/d)^2$

A forma alternativa em dB's é

$P_R = 10\log(p_{REF}) + 20\log(d_{REF}) - 20\log(d)$

Com esta representação alternativa, a atenuação $L(d)$ é

$L(d) = A + B\log(d)$, com $A = 10\log(p_{REF}) + 20\log(d_{REF}) < 0$ e $B = -20$

Seja qual for a forma de expressão, em espaço livre a potência do sinal diminui na quantidade 20 dB/década:
Se $P_R(d_1) = 15$ dB, então $P_R(10d_1) = 15\text{-}20$ dB e ainda $P_R(10^K d_1) = 15\text{-}20K$.

Caracterização do canal de rádio

1.3 – Extensão da atenuação em espaço livre, com a frequência

Viu-se que a atenuação em espaço livre varia com a distância d através de

$L(d) = A - 20\log(d)$, $A<0$

Para obter o modelo completo, com a frequência, assuma-se

(1) – antena é alimentada com ganho g_T, alimentada à potência p_a (W)

(2) – no emissor, a antena radia com uma eficiência η

(3) – a potência transmitida é $p_T = g_T p_a \eta$

À distância d da antena, tem-se a densidade de potência S (W/m^2)

$S = g_T p_T/(4\pi d^2)$ ou $S = g_T p_a . \eta/(4\pi d^2)$

Se não houver dissipação térmica na antena, esta tem uma a eficiência de $\eta = 100\%$, e a densidade de potência é $S = g_T p_a/(4\pi d^2)$.

Caracterização do canal de rádio

Demonstra-se que a área de uma antena e o seu ganho relacionam-se através de

$A_{ef} = \lambda^2 g_R/(4\pi)$

A potência recebida é então

$p_R = A_{ef} S$

Substituindo as duas quantidades no segundo membro dá

$p_R = [\lambda^2 g_R/(4\pi)] \times [g_T p_a/(4\pi d^2)] = g_T g_R [\lambda/(4\pi d)]^2 p_a = g_T g_R \, l \, p_a$

A atenuação em espaço livre é então dada por

$l = [\lambda/(4\pi d)]^2$, não sendo de esquecer que $\lambda = c/f = 300/f_{MHz}$

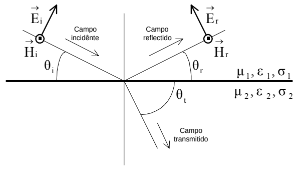
Em dB's a atenuação em espaço livre é

$L = 10\log(l) = -32.44 - 20\log(f_{MHz}) - 20\log(d_{km})$

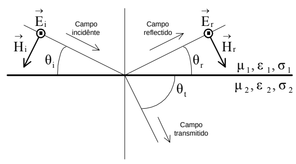
Caracterização do canal de rádio

1.4 – Reflexão na terra plana

Existem dois tipos de incidência:
- (1) – incidência em polarização horizontal
- (2) – incidência em polarização vertical.



Incidência em polarização vertical



Incidência em polarização horizontal

Se E_i for a intensidade do campo incidente,
- (1) – o campo reflectido é $E_r = \Gamma E_i$ em que Γ é o coeficiente de reflexão
- (2) – o campo transmitido é $E_t = TE_i = (1+\Gamma)E_i$ e T é o coeficiente de transmissão.

Caracterização do canal de rádio

Dependendo da polarização de incidência, os coeficientes de reflexão são

$$\Gamma_V(\theta) = \frac{\varepsilon_{r2}\,\mathrm{sen}(\theta) - \sqrt{\varepsilon_{r2} - \cos^2(\theta)}}{\varepsilon_{r2}\,\mathrm{sen}(\theta) + \sqrt{\varepsilon_{r2} - \cos^2(\theta)}}$$, para o caso da polarização vertical

$$\Gamma_H(\theta) = \frac{\mathrm{sen}(\theta) - \sqrt{\varepsilon_{r2} - \cos^2(\theta)}}{\mathrm{sen}(\theta) + \sqrt{\varepsilon_{r2} - \cos^2(\theta)}}$$, para o caso da polarização horizontal.

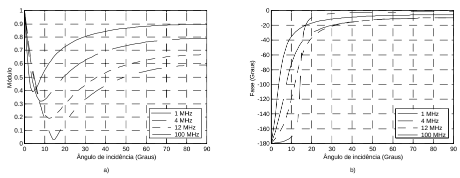
ε_r é a permitividade relativa (complexa), dada por

$$\varepsilon_r = \varepsilon_{r2} - jX$$

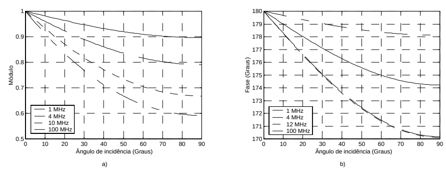
$$X = \frac{\sigma_2}{\omega\varepsilon_0} = \frac{18000\,\sigma_2}{f_{MHz}} = 60\sigma_2\lambda$$, em que

σ_2 é condutividade do meio 2
ε_{r2} é a parte real da permitividade relativa do meio 2 (ou constante dieléctrica).

Caracterização do canal de rádio



Módulo a) e fase b) do coeficiente de reflexão Γ_V para a polarização vertical em função do ângulo de incidência θ_i , com $\varepsilon_r = 15$ e $\sigma = 10^{-2}$ S m^{-1}.



Módulo a) e fase b) do coeficiente de reflexão Γ_H para a polarização horizontal em função do ângulo de incidência θ_i , com $\varepsilon_r = 15$ e $\sigma = 10^{-2}$ S m^{-1}.

Caracterização do canal de rádio

Se o meio 1 for o espaço livre e o meio2 for o vazio (σ_2=0), o ângulo de Brewster é

$$\operatorname{sen}(\theta_B) = \sqrt{\frac{\varepsilon_{r2} - 1}{\varepsilon_{r2}^2 - 1}}\ .$$

Este é o ângulo onde não há reflexão e apenas ocorre para o caso da polarização vertical.

1.5 – Modelo de Terra plana

A atenuação é dada por $l = l_F \times \left| g_T + g_R \frac{r_1}{r_2}\left[\Gamma + (2 - T)A\right]e^{-j\varphi} + \cdots \right|^2$

$$A = -\left[1 + j\beta_0 d(X + \operatorname{sen}\theta)\right]^{-1}, \qquad \theta = arctg\left(\frac{h_{te} - h_{re}}{d}\right)$$

Para grandes distâncias, $l \cong (h_{te} h_{re})^2 d^{-4}$ – decaimento de -40 dB/década, onde:

– d é o afastamento horizontal
– r_1 é o comprimento do percurso directo
– r_2 é o comprimento do percurso reflectido.

Filipe Santos Moreira - Ondas (2EE) 9

Caracterização do canal de rádio

1.6 - Efeito da curvatura da Terra

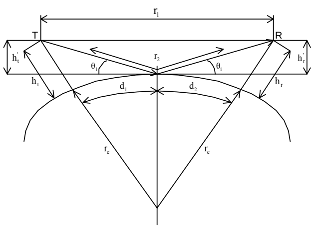
A curvatura da Terra introduz o que se designa por divergência da frente de onda

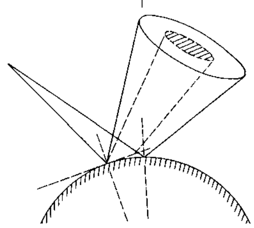
O campo sofre uma correcção:

$$E = E_d\left(1 + D_v \left|\Gamma\right| e^{-j(\Delta\Phi - \varphi)}\right)$$

$$D_v \cong \left[1 + \frac{2\, d_1\, d_2}{r_e\ d\ \operatorname{sen}(\theta)}\right]^{-\frac{1}{2}}$$

E_d é o campo recebido no percurso directo





Filipe Santos Moreira - Ondas (2EE) 10

Caracterização do canal de rádio

1.7 – Atenuação num meio genérico

Para uma distância d da antena do emissor, a perda é

$$l(d)=\alpha\, d^{-n},\ 2\leq n\leq 5$$

ou em dB's

$$L(d) = 10\log(\alpha) - 10n.\log(d),\ 2\leq n\leq 5 \rightarrow A=10\log(\alpha) \text{ e } B= -10n$$

Recorda-se que: (1) – no espaço livre n=2
(2) – em Terra plana n=4
(3) - em áreas urbanas n=3.8 é uma boa regra

Também se podia usar o modelo

$$p_R= p_{REF}\,(d_{REF}/d)^n,\ 2\leq n\leq 5$$

que em dB's é

$$P_R= 10\log(p_{REF}) + 10n.\log(d_{REF}) - 10n.\log(d),\ \ B= -10n \text{ e } 2\leq n\leq 5$$

B= -10n é o caminho de perda, n é o factor de propagação.

Filipe Santos Moreira - Ondas (2EE) 11

Caracterização do canal de rádio

Formulário "resumo" com os aspectos chave:

- X=10log(x) → Se $z=xy$, então $Z=X+Y$
- $p_R=l.p_T$
- $L=A+B\log(d)$, $A<0$ e $B=-10n<0$, $2\leq n\leq 5$
- $P_R=L+P_T$
- Inclinação de uma recta logarítmica (ou caminho de perda) é -10n dB/década
- Factor de propagação $2\leq n\leq 5$.

Filipe Santos Moreira - Ondas (2EE) 12