

1. Dimensionamento di un collegamento a ponte radio analogico

Un collegamento a ponte radio può essere schematizzato mediante lo schema a blocchi della figura 1.

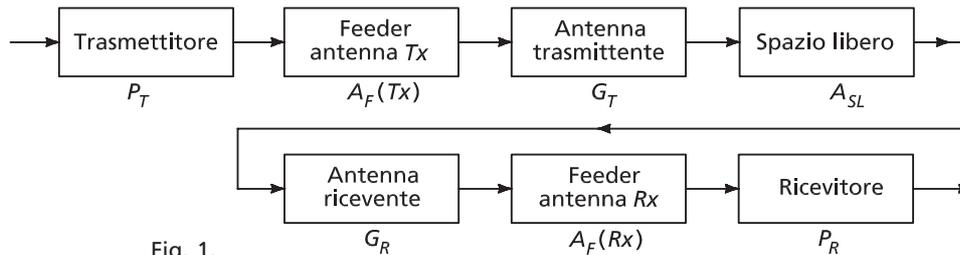


Fig. 1.

I parametri che permettono di dimensionare il collegamento sono:

- la potenza P_T emessa dal trasmettitore;
- il guadagno G_T dell'antenna trasmittente;
- l'attenuazione $A_F(Tx)$ del cavo di antenna che collega il trasmettitore all'antenna trasmittente;
- l'attenuazione A_{SL} dello spazio libero che dipende dalla lunghezza della tratta d e dalla frequenza di trasmissione f secondo la relazione

$$A_{SL} = 10 \log \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2.$$

In pratica risulta conveniente utilizzare la relazione seguente:

$$A_{SL} [\text{dB}] = 92,5 + 20 \log d [\text{km}] + 20 \log f [\text{GHz}];$$

- il guadagno G_R dell'antenna ricevente;
- la potenza disponibile P_R all'ingresso del ricevitore;
- l'attenuazione $A_F(Rx)$ del cavo d'antenna che collega l'antenna ricevente con il ricevitore.

Le attenuazioni introdotte dai cavi dipendono dalla frequenza, ma per frequenze di trasmissione inferiori a 10 [GHz] sono dell'ordine di qualche unità di [dB/100m]. I feeder di trasmissione e di ricezione sono realizzati in cavo coassiale per frequenze inferiori o uguali a 2 [GHz] e guida d'onda se la frequenza di trasmissione è maggiore di 2 [GHz].

Nel dimensionare il collegamento a ponte radio è necessario tener conto anche dell'attenuazione introdotta dai fenomeni meteorologici (trascurabili se la frequenza di trasmissione è inferiore ai 10 [GHz]), dal fenomeno di fading e dal circolatore che collega il cavo d'antenna con il trasmettitore e con il ricevitore. Si può avere attenuazione per *assorbimento*, per *diffusione*, per *diffrazione*.

In ogni caso, esprimendo i livelli di potenza e delle attenua-

zioni in (dBm), la potenza P_R (dBm) disponibile all'ingresso del ricevitore risulta:

$$P_R \text{ (dBm)} = P_T \text{ (dBm)} + G_T \text{ (dB)} + G_R \text{ (dB)} - A_F \text{ (Tx)} \text{ (dBm)} - \\ - A_F \text{ (Rx)} \text{ (dBm)} - A_{SL} \text{ (dBm)}$$

Esempio 1

Determinare il livello di potenza P_R di un collegamento a ponte radio caratterizzato dai seguenti parametri:

- $P_T = 10$ [W]
- $G_T = 20$ dB
- $G_R = 30$ dB
- $A_{SL} = 100$ dB
- $A_F(Tx) = A_F(Rx) = 2$ dB.

Soluzione

Si trasforma la potenza P_T in dBm:

$$P_T \text{ (dBm)} = 10 \log \frac{P_T}{P_0} = 10 \log \frac{10}{10^{-3}} = 10 \log 10^4 = \\ = 40 \text{ dBm}$$

pertanto la potenza P_R (dBm) disponibile è:

$$P_R \text{ (dBm)} = 40 + 20 + 30 - 2 - 2 - 100 = -14 \text{ dBm};$$

dalla definizione di livello assoluto di potenza si ricava la potenza P_R :

$$P_R = 10^{\frac{-14}{10}} \cdot 10^{-3} = 0,0398 \cdot 10^{-3} \text{ [W]} = 39,8 \text{ [\mu W]}.$$

Esempio 2

Con riferimento ai dati dell'esempio precedente, calcolare la potenza trasmessa dall'antenna trasmittente nella direzione di massima irradiazione.

Soluzione

La potenza emessa dall'antenna trasmittente nella direzione di massima irradiazione si chiama EIRP (*Equivalent Isotropic Radiated Power*) e risulta così definito:

$$\text{EIRP (dBm)} = P_T \text{ (dBm)} + G_T \text{ (dB)} - A_F \text{ (Tx)} \text{ (dB)}$$

e sostituendo i valori si ottiene:

$$\text{EIRP (dBm)} = 40 + 20 - 2 = 58 \text{ (dBm)}.$$

Esempio 3

Esprimere il valore di EIRP = 58 dBm in (dBW).

Il valore 58 dBm corrisponde a:

$$\text{EIRP} = 10^{\frac{58}{10}} \cdot 10^{-3} = 10^{2,8} = 630,96 \text{ [W]};$$

e in base alla definizione di dBW si ottiene:

$$\begin{aligned} \text{EIRP (dBW)} &= 10 \log \frac{630,96 \text{ [W]}}{1 \text{ [W]}} = 10 \log 630,96 = 10(2,8) = \\ &= 28 \text{ dBW} \end{aligned}$$

Le norme fissano il valore massimo del parametro EIRP < 55 dBW per evitare interferenze tra ponti radio.

Esempio 4

In un collegamento a ponte radio il parametro EIRP di un'antenna trasmittente è uguale a 65 dBm. Calcolare il livello assoluto di potenza P_R sapendo che:

- il guadagno dell'antenna ricevente è 25 dB;
- l'attenuazione dello spazio libero è $A_{SL} = 128$ dB;
- l'attenuazione del feeder d'antenna ricevente è 3 dB.

Soluzione

In base all'equazione di tratta:

$$P_R(\text{dBm}) = \text{EIRP}(\text{dBm}) + G_R(\text{dB}) - A_f(\text{Rx})(\text{dBm}) - A_{SL}(\text{dBm})$$

sostituendo i valori si ottiene:

$$P_R(\text{dBm}) = 65 + 25 - 128 - 3 = -41 \text{ dBm.}$$

■ Esercizio 1

Calcolare il guadagno G di un'antenna parabolica in dB avente diametro di 80 [cm] utilizzata per ponte radio alla frequenza di trasmissione di 2 [GHz].

Soluzione

Il guadagno G dell'antenna parabolica si calcola mediante la relazione: $G = 5,5 \left(\frac{D}{\lambda} \right)^2$;

tenendo conto che la lunghezza d'onda è legata alla frequenza dalla relazione: $\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{f}$ [m];

sostituendo si ottiene: $G = 5,5 \left(\frac{Df}{3 \cdot 10^8} \right)^2 = 6,11 \cdot 10^{-17} (Df)^2$;

perciò il guadagno dell'antenna è uguale a:

$$G = 6,11 \cdot 10^{-17} (80 \cdot 10^{-2} \cdot 2 \cdot 10^9)^2 = 6,11 \cdot 10^{-17} (2,56 \cdot 10^{18}) = 156,42$$

che in decibel vale G (dB) = $10 \log 156,42 = 10(2,19) = 21,90$ dB.

Visto che le frequenze utilizzate per i ponti radio sono dell'ordine dei [GHz], per il calcolo del guadagno di antenna risulta conveniente utilizzare la formula seguente:

$$G \text{ (dB)} = 17,86 + 20 \log D[\text{m}] + 20 \log f[\text{GHz}].$$

■ Esercizio 2

La lunghezza d della tratta di un ponte radio è di 20 [km]. Sapendo che la frequenza di trasmissione è $f = 2$ [GHz], calcolare l'attenuazione dello spazio libero A_{SL} in dB.

Soluzione

L'attenuazione A_{SL} dello spazio libero dipende dalla lunghezza d del collegamento e dalla lunghezza

d'onda λ di trasmissione secondo la relazione: $A_{SL}(\text{dB}) = 10 \log \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2$.

Essendo $\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{f}$ [m] e sostituendo si ottiene:

$$A_{SL}(\text{dB}) = 10 \log \left(\frac{4\pi d[\text{m}]f[\text{Hz}]}{3 \cdot 10^8} \right)^2 = 20 \log \left(\frac{4\pi d[\text{m}]f[\text{Hz}]}{3 \cdot 10^8} \right);$$

sostituendo i valori numerici si ha:

$$A_{SL}(\text{dB}) = 20 \log \left(\frac{4 \cdot 3,14 \cdot 20 \cdot 10^3 \cdot 2 \cdot 10^9}{3 \cdot 10^8} \right) = 20 \log(16,75 \cdot 10^5) = 20(6,22) = 124,4 \text{ dB.}$$

Visto che le frequenze utilizzate per i ponti radio sono dell'ordine dei [GHz] e le distanze sono sempre dei [km] per il calcolo dell'attenuazione dello spazio libero risulta conveniente utilizzare la formula seguente :

$$A_{SL}(\text{dB}) = 92,44 + 20 \log d[\text{km}] + 20 \log f [\text{GHz}].$$

Nel dimensionare un collegamento a ponte radio, è necessario tener conto del fenomeno di fading (attenuazione improvvisa del segnale durante la propagazione nella troposfera) che potrebbe compromettere la diminuzione della qualità del collegamento a causa della riduzione eccessiva del rapporto segnale-rumore $\frac{S}{N}$. Pertanto occorre aumentare il livello di potenza P_R in ricezione di una quantità chiamata *margin di fading* (M_f) che può assumere valori ≤ 48 dB.

Di conseguenza la relazione che permette di dimensionare il collegamento radio è:

$$P_R(\text{dBm}) = \text{EIRP}(\text{dBm}) + G_R(\text{dB}) - A_F(Rx)(\text{dBm}) - A_{SL}(\text{dBm}) - M_f(\text{dBm})$$

■ Esercizio 3

In un collegamento a ponte radio lungo 30 [km], vengono utilizzate antenne paraboliche aventi guadagno $G_R = G_T = 30$ dB. Sapendo che il parametro EIRP vale 65 dBm, il margine di fading M_F è uguale a 40 dB, l'attenuazione dello spazio libero $A_{SL} = 137$ dB e l'attenuazione di ciascun feeder d'antenna è 3 dB, calcolare:

- il livello di potenza P_R all'ingresso del ricevitore;
- la potenza P_T fornita dal trasmettitore;
- il livello di potenza P_T in dBW.

Soluzione

- Sostituendo i valori numerici nell'espressione precedente si ottiene:

$$P_R(\text{dBm}) = 65 + 30 - 3 - 137 - 40 = -45 \text{ dBm};$$

pertanto dalla definizione di livello assoluto di potenza, il valore della potenza P_R risulta:

$$P_R = 10^{\frac{-45}{10}} \cdot 110^{-3} = 10^{-4,5} \cdot 110^{-3} = 31,62 \text{ [nW]}.$$

- Essendo il parametro EIRP definito dalla relazione:

$$\text{EIRP}(\text{dBm}) = P_T(\text{dBm}) + G_T(\text{dB}) - A_f(\text{Tx})(\text{dB}),$$

la potenza emessa dal trasmettitore risulta:

$$P_T(\text{dBm}) = \text{EIRP}(\text{dBm}) - G_T(\text{dB}) + A_f(\text{Tx})(\text{dB}) = 65 - 30 + 3 = 38 \text{ dBm}$$

che equivale a $P_T = 10^{\frac{38}{10}} \cdot 110^{-3} = 10^{3,8} \cdot 110^{-3} = 6,31 \text{ [W]}$.

- Il livello di potenza in dBW è: $P_T(\text{dBW}) = 10 \log \frac{P_T}{1[\text{W}]} = 10 \log \frac{6,31}{1} = 10(0,80) = 8 \text{ dBW}$.

■ Esercizio 4

- Calcolare la banda B occupata da una trasmissione televisiva analogica satellitare sapendo che la modulazione adottata è la modulazione di frequenza FM, frequenza massima del segnale modulante è $f_{\text{max}} = 5,5$ [MHz] e la deviazione massima di frequenza è $\Delta f = 12,5$ [MHz].
- Calcolare l'indice di modulazione m_f .

Soluzione

- In base alla formula di Carson si ha:

$$B = 2(\Delta f + f_{\text{max}}) = 2(12,5 \cdot 10^6 + 5,5 \cdot 10^6) = 2(18 \cdot 10^6) = 36 \cdot 10^6 = 36 \text{ [MHz]}.$$

- L'indice di modulazione è: $m_f = \frac{\Delta f}{f_{\text{max}}} = \frac{12,5 \cdot 10^6}{5,5 \cdot 10^6} = 2,27$.