

Fondamenti di Comunicazioni Elettriche / Telecomunicazioni

Cavo in rame

Luca De Nardis luca.denardis@uniroma1.it

Sapienza Università di Roma — 11 Dicembre 2024

Esercizio 1

Un cavo coassiale sottomarino si estende per un tratto lungo $d = 3000 \text{ km}$. I segnali inviati sul cavo sono da ritenersi a banda stretta rispetto alla portante utilizzata $f_p = 2 \text{ MHz}$.

L'attenuazione complessiva introdotta dal cavo è pari a $A_{dB} = 3733.5 \text{ dB}$.

Ricavare il valore dell'attenuazione nominale A_0 caratterizzante il cavo.

Soluzione

Trattandosi di una linea di trasmissione realizzata tramite cavo coassiale, l'attenuazione in dB dipende linearmente dalla lunghezza d della tratta considerata e dalla radice quadrata della frequenza portante intorno alla quale il segnale trasmesso viene modulato. Si ha infatti:

$$A_{dB} = A_{0_{dB/km}} \cdot \sqrt{f_p} \cdot d_{km},$$

da cui l'espressione dell'attenuazione nominale (da intendersi espressa in dB/km alla frequenza di 1 MHz) diviene:

$$A_{0_{dB/km}} = \frac{A_{dB}}{\sqrt{f_p} \cdot d_{km}}.$$

Tenendo conto dei valori forniti e del fatto che la frequenza portante deve essere introdotta nella relazione precedente con il suo valore in MHz mentre la lunghezza del collegamento va inserita in km , si ottiene infine:

$$A_{0_{dB/km}} = \frac{3733.5}{\sqrt{2} \cdot 3000} \cong 0.88 \text{ dB/km} @ 1 \text{ MHz}.$$

Il valore ora trovato per l'attenuazione nominale è effettivamente quello caratterizzante i cavi coassiali utilizzati per collegamenti sottomarini.

Esercizio 2

Un collegamento in cavo coassiale è caratterizzato da un'attenuazione nominale $A_0 = 1 \text{ dB}/\text{km}$ alla frequenza di 1 MHz , da una frequenza portante $f_p = 4 \text{ MHz}$ e da un margine $M = 10 \text{ dB}$. Calcolare il possibile incremento della lunghezza d del collegamento qualora si decidesse di operare in assenza di margine.

Soluzione

Operare in assenza di margine significa, per definizione, dimensionare il sistema in modo da soddisfare esattamente le specifiche richieste. Inizialmente il collegamento in cavo presenta un margine non nullo pari a $M = 10 \text{ dB}$, che è possibile utilizzare per estendere la lunghezza d della tratta in cavo. Infatti, rispetto alla situazione iniziale, è possibile tollerare un'attenuazione addizionale pari proprio al valore del

marginale. Ricordando la dipendenza dell'attenuazione disponibile dalla lunghezza del collegamento nel caso di cavo coassiale, ovvero:

$$A_{dB} = A_{0_{dB/km}} \cdot \sqrt{f_{MHz}} \cdot d_{km},$$

si ottiene che l'incremento ottenibile per d risulta essere:

$$\Delta d = \frac{10}{1 \cdot \sqrt{4}} = 5 \text{ km}.$$

Si noti che l'effettiva lunghezza totale della tratta non risulta nota. Si noti ancora che dimensionare un sistema senza margine significa che un qualunque peggioramento aggiuntivo, a prescindere dalla causa che può generarlo, fa sì che il sistema non funzioni più come dovrebbe, ovvero non sia più in grado di rispettare le specifiche richieste da progetto.

Esercizio 3

Una linea di trasmissione è costituita da una tratta in cavo coassiale caratterizzata da un'attenuazione nominale $A_0 = 2 \text{ dB/km}$ alla frequenza di 1 MHz . Tale cavo collega 2 terminali distanti $d = 2 \text{ km}$ tra loro. La frequenza portante caratterizzante la trasmissione è pari a $f_p = 100 \text{ MHz}$. Si desidera che la potenza ricevuta all'uscita della linea sia pari ad almeno $W_R = 10^{-6} \text{ mW}$. Calcolare la potenza W_T trasmessa sul cavo, misurata in dBm necessaria a verificare le specifiche.

Soluzione

L'attenuazione introdotta dalla tratta in cavo coassiale è fornita dalla relazione seguente:

$$A_{dB} = A_{0_{dB/km}} \cdot \sqrt{f_{MHz}} \cdot d_{km}.$$

Sostituendo i valori forniti, si ottiene:

$$A_{dB} = 2 \cdot 2 \cdot 10 = 40 \text{ dB}.$$

La potenza richiesta in ricezione, espressa in dBm , risulta pari a $W_{R_{dBm}} = -60 \text{ dBm}$. La potenza trasmessa, tenendo conto del valore dell'attenuazione, diviene:

$$W_{T_{dBm}} = 40 - 60 = -20 \text{ dBm}.$$

Convertendo il valore ottenuto in lineare, si ottiene:

$$W_T = 10^{-2} \text{ mW}.$$

Esercizio 4

Due cavi coassiali affasciati presentano un diametro dei conduttori pari a 2.6 mm per il conduttore interno e 9.5 mm per il conduttore esterno (si parla in questo caso di cavi di tipo 2.6/9.5) e lavorano a una frequenza $f_p = 4 \text{ MHz}$ su una tratta di lunghezza $d = 9 \text{ km}$. L'attenuazione nominale per questo tipo di cavi è pari a $A_0 = 2 \text{ dB/km}$ alla frequenza di 1 MHz . Si rileva la presenza di un disturbo di telediafonia valutabile come segue: il segnale interferente originato dal cavo disturbante subisce un'attenuazione nel trasferirsi al cavo disturbato pari a $A_{int_{dB}} = 76 + 73 \sqrt{f_{MHz}}$. Sapendo che il valore della potenza interferente dovuta al disturbo di telediafonia all'uscita del collegamento vale $W_{int} = -188 \text{ dBm}$, calcolare la potenza trasmessa su ognuno dei due cavi.

Soluzione

L'attenuazione complessiva dovuta alla lunghezza della tratta in cavo vale:

$$A_{dB} = A_{0_{dB/km}} \cdot \sqrt{f_{MHz}} \cdot d_{km} = 36 \text{ dB}.$$

Il segnale interferente causato dal disturbo di telediafonia si presenta all'uscita del generico cavo con un'attenuazione, rispetto alla potenza in trasmissione, pari a:

$$A_{TOT} = A_{d_{dB}} + A_{int_{dB}} = 36 + 76 + 73 \sqrt{4} = 258 \text{ dB}.$$

Dal valore della potenza interferente all'uscita del collegamento si trova il valore della potenza trasmessa su cavo:

$$W_T = W_{int} + A_{TOT} = 70 \text{ dBm}.$$

Esercizio 5

Si consideri una tratta di cavo coassiale di lunghezza $d = 10 \text{ km}$ caratterizzata da un'attenuazione pari a $A_0 = 1 \text{ dB/km}$ a 1 MHz . Il trasmettitore fornisce una potenza pari a: $W_T = 10 \text{ dBm}$. Prima di essere trasmesso il segnale è modulato BLD-PS a una frequenza portante f_p che può assumere un valore compreso tra 2 MHz e 4 MHz , non deciso a priori. In ricezione si richiede una potenza W_R pari ad almeno -25 dBm . Si suppongano tutti i componenti adattati per il Massimo Trasferimento di Potenza e si consideri il cavo a temperatura $T_0 = 290 \text{ K}$.

Si chiede di determinare il valore in dB del margine M introdotto nel sistema.

Soluzione

L'attenuazione complessiva introdotta dal cavo può essere ottenuta a partire dal valore A_0 fornito dal testo e da un opportuno valore della frequenza f secondo la relazione seguente:

$$A_{dB}(f) = A_0 \cdot \sqrt{f} \cdot d_{km},$$

dove f è misurato in MHz , A_0 in dB/km alla frequenza $f = 1 \text{ MHz}$ e d è espresso in km . Mentre A_0 e d sono grandezze fissate, la scelta del corretto valore da assegnare alla frequenza f è essenziale per poter calcolare correttamente il margine richiesto. Tale scelta va effettuata tenendo conto che per poter valutare il margine del sistema è necessario porsi nel caso più sfavorevole dal punto di vista del rispetto delle specifiche richieste. Essendo la specifica sul minimo valore che deve assumere la potenza in ricezione W_R , il caso peggiore, fissato il valore della potenza trasmessa W_T , è quello in cui il valore dell'attenuazione risulta il più elevato possibile. L'attenuazione è proporzionale a \sqrt{f} , dunque utilizzando il massimo valore di f tra quelli che possono entrare in gioco, ovvero 4 MHz , si ottiene il più elevato valore possibile per l'attenuazione introdotta dalla tratta in cavo, ovvero:

$$A_{max} = 1 \cdot \sqrt{4} \cdot 10 = 20 \text{ dB}.$$

La potenza in trasmissione è pari a $W_T = 10 \text{ dBm}$, quindi la potenza ricevuta sarà:

$$W_{R_{dBm}} = 10 - 20 = -10 \text{ dBm},$$

essendo la potenza ricevuta ciò che resta di quella trasmessa una volta tenuto conto dell'attenuazione. La potenza minima richiesta in ricezione è pari a -25 dBm , quindi il margine di sistema sarà dato dalla differenza (si noti che se le grandezze fossero state espresse in lineare avremmo dovuto considerare il rapporto) tra la potenza effettivamente presente in ricezione nel caso di attenuazione massima e la potenza minima desiderata, per cui:

$$M_{dB} = -10 - (-25) = 15 \text{ dB}.$$

Esercizio 6

Sia dato un collegamento utilizzando un cavo coassiale di tipo 2.6/9.5, caratterizzato da un'attenuazione nominale pari a $A_0 = 2 \text{ dB/km}$ alla frequenza di 1 MHz . La lunghezza della tratta in cavo considerata è $d = 10 \text{ km}$. La potenza in trasmissione risulta pari a $W_T = 25 \text{ dBm}$, mentre la potenza in ricezione vale $W_R = 10^{-5} W$. Si supponga valida l'ipotesi di banda stretta, ovvero, indicando con ΔB la larghezza di banda caratterizzante il segnale modulato intorno alla portante f_p , vale la relazione $\Delta B \ll f_p$.

Si chiede di calcolare il valore della frequenza portante f_p alla quale lavora il sistema.

Soluzione

La potenza ricevuta W_R può essere espressa in dBm tramite una prima conversione da W a mW e una seconda conversione da mW a dBm . Si ha dunque:

1. conversione da W a mW : $W_{RX} = 10^{-5} W = 10^{-2} mW$

2. conversione da mW a dBm : $W_{RX_{dBm}} = 10 \log_{10}(10^{-2}) = -20 dBm$.

Avendo a disposizione la potenza trasmessa e quella ricevuta espresse mediante la stessa unità di misura, è possibile calcolare l'attenuazione introdotta dal cavo tramite la relazione:

$$A_{dB} = W_{T_{dBm}} - W_{R_{dBm}},$$

che sostituendo i valori delle potenze diviene:

$$A_{dB} = 25 - (-20) = 45 dB.$$

Ricordando che l'attenuazione introdotta dal cavo è esprimibile come:

$$A_{dB} = A_0 \cdot \sqrt{f_{pMHz}} \cdot d_{km},$$

si ottiene per la frequenza portante cercata:

$$\sqrt{f_p} = \frac{A_{dB}}{A_0 \cdot d_{km}}.$$

Inserendo i valori numerici si perviene al seguente valore per la frequenza portante:

$$f_p \cong 5 MHz.$$

Esercizio 7

Un segnale a banda stretta può essere inviato da una stazione trasmittente a tre possibili stazioni riceventi tramite un collegamento in cavo coassiale: la stazione A può essere raggiunta tramite un collegamento in cavo con attenuazione nominale pari a $A_{0A} = 5.3 dB/km$ alla frequenza di $1 MHz$. Il collegamento lavora a una frequenza $f_{pA} = 2 MHz$ e presenta una lunghezza $d_A = 10 km$. La stazione B può essere raggiunta tramite un collegamento in cavo con attenuazione nominale pari a $A_{0B} = 2 dB/km$ alla frequenza di $1 MHz$. Il collegamento lavora a una frequenza $f_{pB} = 4 MHz$ e presenta una lunghezza $d_B = 28 km$. La stazione C può essere raggiunta tramite un collegamento in cavo sottomarino con attenuazione nominale pari a $A_{0C} = 0,88 dB/km$ alla frequenza di $1 MHz$. Il collegamento lavora a una frequenza $f_{pC} = 9 MHz$ e presenta una lunghezza $d_C = 25 km$. La potenza trasmessa per ciascun collegamento è fissata al valore $W_T = 30 dBm$. Si decide di inviare il segnale solo attraverso un collegamento che possa garantire una potenza utile ricevuta $W_R = -50 dBm$.

Calcolare le potenze utili ricevute garantite dai tre collegamenti in cavo. Stabilire quali di essi possono essere attivati nel rispetto delle specifiche e l'eventuale margine introdotto.

Soluzione

Per la risoluzione dell'esercizio è necessario calcolare l'attenuazione introdotta dalle tre diverse tratte in cavo coassiale, facendo riferimento alla relazione

$$A_{dB} = A_0 \cdot \sqrt{f_{pMHz}} \cdot d_{km}.$$

Le attenuazioni così ottenute vanno confrontate con la massima attenuazione ammissibile, data da:

$$A_{dB}^{MAX} = W_T - W_R^{MIN} = 30 - (-50) = 80 dB. \quad (1)$$

Sostituendo i valori forniti si ottiene, per le tre tratte:

$$A_{dB_A} = 5.3 \cdot \sqrt{2} \cdot 10 = 74.95 dB$$

$$A_{dB_B} = 2 \cdot \sqrt{4} \cdot 28 = 112 \text{ dB}$$

$$A_{dB_C} = 0.88 \cdot \sqrt{9} \cdot 25 = 66 \text{ dB}.$$

Si può concludere immediatamente che i collegamenti A e C rispettano le specifiche indicate. Visto che la potenza trasmessa è pari a $W_T = 30 \text{ dBm}$, si ottengono infatti i valori seguenti per le tre potenze ricevute dalle relative stazioni:

$$W_{R_A} = W_T - A_{dB_A} = -45 \text{ dBm} \Rightarrow M_{A,dB} = 5 \text{ dB}; \quad (2)$$

$$W_{R_B} = W_T - A_{dB_B} = -82 \text{ dBm} \quad (3)$$

$$W_{R_C} = W_T - A_{dB_C} = -36 \text{ dBm} \Rightarrow M_{C,dB} = 14 \text{ dB}. \quad (4)$$