



Rumori e accoppiamenti

Il rumore proveniente dall'ambiente circostante alla linea può sovrapporsi al segnale che transita, degradando o alterando l'informazione trasmessa. Il rumore può essere prevenuto, limitato o tollerato, a seconda della sua gravità e del rapporto costo/difficoltà per trattarlo.

Sorgente di rumore

Gli elementi coinvolti in un problema di rumore sono sempre tre: la sorgente, il mezzo di accoppiamento e il ricevitore (fig. 1).

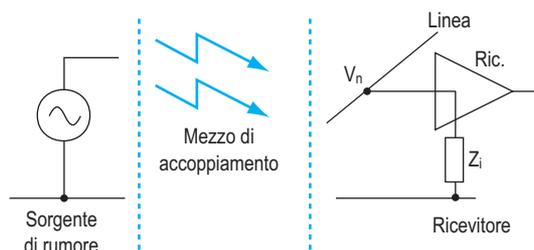


Fig. 1. Catena di rumore indotto.

In campo industriale, le sorgenti di rumore sono tipicamente i transienti di tensione causati da induttanze in commutazione, quali relè, contattori, elettrovalvole e motori (questi ultimi soprattutto se azionati con inverter), ma lo possono essere anche le linee dati, soprattutto se con fronti ripidi nei segnali.

Se la sorgente è identificata, si cerca di eliminarla, ridurla, allontanarla o schermarla. Per eliminare i disturbi (*spike*) prodotti da induttanze in commutazione in alternata, si possono usare gruppi RC (circuito Snubber) sulle bobine, o sui motori asincroni a frequenza fissa (senza inverter), mentre in continua può bastare un diodo in antiparallelo (fig. 2).

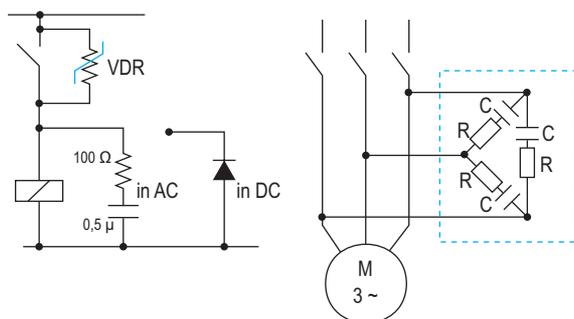


Fig. 2. Dispositivi antispike.

Come dispositivi spegno arco sui contatti, si possono usare i varistori (VDR, Voltage Dependent Resistor), tra i più noti i MOV (Metal Oxide Varistor, fig. 3).

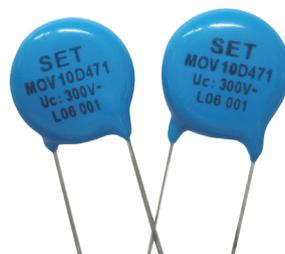


Fig. 3. Dispositivi MOV.

Nel caso invece di disturbi generati da cavi che corrono in parallelo si tratta di allontanarli, usando canaline separate. Una terza soluzione, utilizzata per esempio sugli alimentatori switching da rete, è la schermatura del dispositivo stesso, racchiuso in un contenitore metallico connesso a terra. Uno schermo elettrostatico (gabbia di Faraday) protegge difatti l'esterno da qualunque movimento di cariche che avviene all'interno.

Se, invece, la sorgente non è identificabile, si tratta di intervenire sul mezzo di accoppiamento o sul ricevitore.

Accoppiamento capacitivo

Il meccanismo di accoppiamento tra la sorgente di rumore e il ricevitore può essere di tipo capacitivo, magnetico oppure ottenuto per irraggiamento. Un segnale sinusoidale di frequenza alta, posto in prossimità di una linea, la influenza attraverso la reattanza del condensatore parassita (C_p) esistente tra i due (fig. 4).

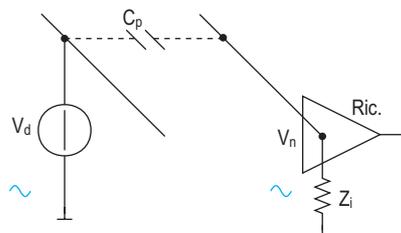


Fig. 4. Rumore indotto per accoppiamento capacitivo.

La tensione di disturbo (V_d) produce sulla linea una tensione di rumore:

$$V_n = \frac{V_d}{X_p + Z_i} \cdot Z_i$$

che, considerando $Z_i \ll X_p$, si riduce a:

$$V_n = V_d \cdot 2\pi \cdot f_n \cdot C_p \cdot Z_i$$

tanto minore quanto minori sono sia il condensatore parassita, sia l'impedenza di ingresso del ricevitore.

L'accoppiamento capacitivo è quindi un problema significativo per i circuiti ad alta impedenza.

Nel caso di un segnale di disturbo con fronti ripidi (fig. 5), quale un segnale logico, la carica/scarica del condensatore di accoppiamento produce un rumore con l'andamento tipico della risposta alla quadra di un filtro CR.

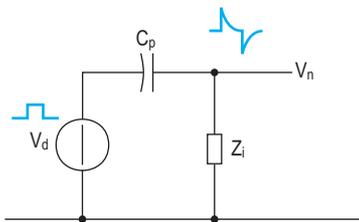


Fig. 5. Disturbo con fronti ripidi.

L'energia e la durata del disturbo captato dipendono ancora una volta sia dal valore del condensatore parassita, sia dalla natura dell'impedenza equivalente verso massa presentata dal circuito disturbato, attraverso la quale fluisce la corrente di rumore di carica/scarica.

Per esempio, un segnale logico che pilota una linea con fronti ripidi di 5 V, produce su una seconda linea accoppiata con 0,1 pF, e avente una resistenza da 1 MΩ verso massa, spike da 5 V che decadono con costante di tempo:

$$\tau = 1 \text{ M}\Omega \cdot 0,1 \text{ pF} = 100 \text{ ns}$$

Oltre ad aumentare la distanza rispetto alla sorgente di disturbo, la tecnica più efficace per ridurre i rumori prodotti da un accoppiamento capacitivo è la schermatura, avvolgendo il cavo che porta il segnale con una calza metallica da collegare a terra nel modo più diretto possibile, in modo da minimiz-

zare la resistenza e l'induttanza del collegamento. Per contro, la presenza dello schermo aumenta il valore del condensatore parassita e riduce l'impedenza caratteristica del cavo.

ESERCIZIO A

Un segnale logico V_d (fig. 6), con fronti di 5 V e tempo di salita $t_r = 10 \text{ ns}$, è accoppiato, mediante un condensatore parassita $C_p = 0,1 \text{ pF}$, con un ricevitore avente resistenza di ingresso $R_i = 1 \text{ M}\Omega$. Determinare l'entità del disturbo V_n in ingresso al ricevitore.

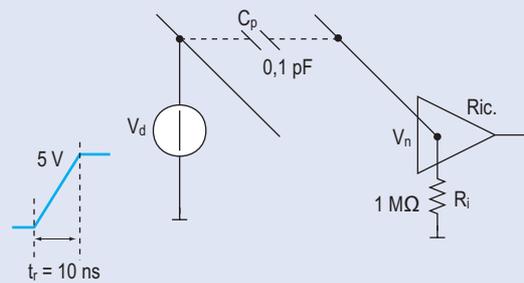


Fig. 6. Accoppiamento capacitivo.

SOLUZIONE

La costante di tempo (τ) del circuito è molto più grande della durata del fronte di salita della tensione V_d :

$$\tau = R_i \cdot C = 1 \text{ M}\Omega \cdot 0,1 \text{ pF} = 100 \text{ ns} \gg 10 \text{ ns}$$

La carica del condensatore non riesce ad inseguire il fronte e pertanto sul ricevitore si avranno spike di $\pm 5 \text{ V}$ in corrispondenza dei fronti di V_d , che si esauriscono in 5τ (fig. 7).

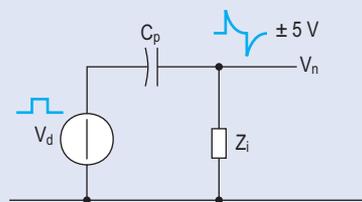


Fig. 7. Spike sul ricevitore.

La presenza di spike su una linea può quindi essere originata da un accoppiamento capacitivo con costante di tempo più lenta del fronte di disturbo.



ESERCIZIO B

Un dispositivo con resistenza di ingresso $R_i = 12 \text{ k}\Omega$ risulta accoppiato capacitivamente, mediante un condensatore parassita $C_p = 5 \text{ pF}$ (fig. 8), con un segnale di potenza caratterizzato da fronti di 200 V in $1 \mu\text{s}$.

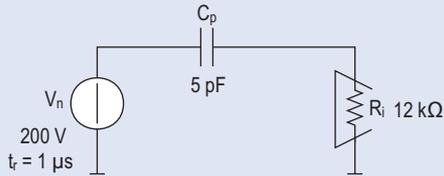


Fig. 8. Disturbo per accoppiamento capacitivo.

Determinare l'entità del disturbo captato.

SOLUZIONE

La costante di tempo (τ) del circuito è molto più piccola della durata del fronte di salita della tensione V_n :

$$\tau = R_i \cdot C = 12 \text{ k}\Omega \cdot 5 \text{ pF} = 60 \text{ ns} \ll 1 \mu\text{s}$$

Considerando piccolo il disturbo raccolto (V_i) rispetto alla tensione V_n , si può considerare ai capi del condensatore una carica a corrente costante (fig. 9):

$$\frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{V_n}{t_r} = \frac{i}{C_p}$$

$$i = \frac{200 \text{ V}}{1 \mu\text{s}} \cdot 5 \text{ pF} = 1 \text{ mA}$$

$$V_i = i \cdot R_i = 1 \text{ mA} \cdot 12 \text{ k}\Omega = 12 \text{ V}$$

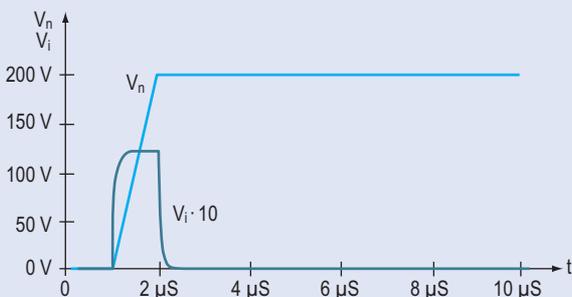


Fig. 9. Disturbo per accoppiamento capacitivo.

Il disturbo si presenta come un impulso rettangolare di ampiezza 12 V e durata $1 \mu\text{s}$.

La presenza di impulsi rettangolari di rumore su una

linea può quindi essere originata da un accoppiamento capacitivo con costante di tempo più veloce del fronte di disturbo.



ESERCIZIO C

Un conduttore, appartenente ad un cavo multipolare lungo 6 m , porta una tensione alternata di valore efficace $V_n = 10 \text{ V}$ con frequenza 1 kHz (fig. 10).

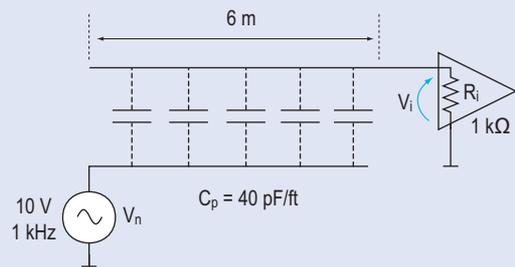


Fig. 10. Accoppiamento capacitivo.

Determinare la tensione indotta in uno degli altri conduttori, sapendo che termina su un dispositivo con resistenza di ingresso $1 \text{ k}\Omega$ e che il condensatore parassita tra i due conduttori vale 40 pF/ft .

SOLUZIONE

Il condensatore parassita totale vale:

$$C = 40 \frac{\text{pF}}{\text{ft}} \cdot \frac{6 \text{ m}}{0,3 \text{ m/ft}} = 800 \text{ pF}$$

La sua reattanza alla frequenza $f = 1 \text{ kHz}$ è:

$$X = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C} = \frac{1}{2\pi \cdot 10^3 \cdot 0,8 \cdot 10^{-9}} = 199 \text{ k}\Omega$$

Trascurando il contributo di R_i all'impedenza complessiva, il valore efficace della tensione indotta vale:

$$V_i = V_n \cdot \frac{R_i}{X} = 10 \text{ V} \cdot \frac{1 \text{ k}\Omega}{199 \text{ k}\Omega} = 50 \text{ mV}$$

La presenza di rumore sinusoidale su una linea può quindi essere originata da un accoppiamento capacitivo con una sorgente di disturbo sinusoidale.



ESERCIZIO D

Un segnale logico da 10 V (fig. 11), con fronti ripidi, si accoppia ad una linea CMOS ad alta impedenza attraverso un condensatore parassita di capacità $C_p = 2 \text{ pF}$.

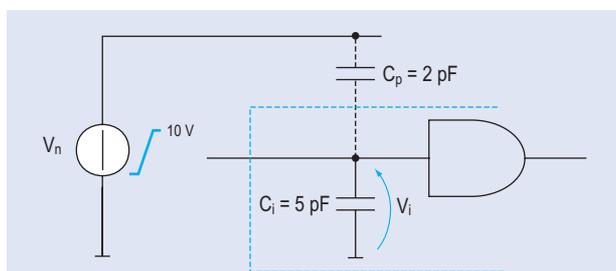


Fig. 11. Accoppiamento capacitivo.

Sapendo che il condensatore di ingresso della porta CMOS vale $C_i = 5 \text{ pF}$, determinare l'entità del disturbo V_i presente sull'ingresso della porta.

SOLUZIONE

Il sistema si presenta come un partitore capacitivo:

$$V_i = V_n \cdot \frac{C_p}{C_p + C_i} = 10 \text{ V} \cdot \frac{2 \text{ pF}}{2 \text{ pF} + 5 \text{ pF}} = 2,86 \text{ V}$$

con V_i che segue gli andamenti di V_n nel rapporto:

$$\frac{V_i}{V_n} \% = \frac{2,86 \text{ V}}{10 \text{ V}} \cdot 100 = 28,6\%$$

ESERCIZIO 1

Un segnale logico V_d , con fronti di 3,3 V e tempo di salita $t_r = 4 \text{ ns}$, è accoppiato, mediante un condensatore parassita $C_p = 1 \text{ pF}$, con un ricevitore avente resistenza di ingresso $R_i = 50 \text{ k}\Omega$. Determinare l'entità del disturbo V_n in ingresso al ricevitore.

[Ris.: $V_n = \text{spike di } \pm 3,3 \text{ V}$
che si esauriscono in 250 ns]

ESERCIZIO 2

Un dispositivo con resistenza di ingresso $R_i = 10 \text{ k}\Omega$ risulta accoppiato capacitivamente, mediante un condensatore parassita $C_p = 4 \text{ pF}$, con un segnale di potenza caratterizzato da fronti di 300 V in $2 \mu\text{s}$. Determinare l'entità del disturbo captato.

[Ris.: impulso rettangolare di 6 V in $2 \mu\text{s}$]

ESERCIZIO 3

Un conduttore, appartenente ad un cavo multipolare lungo 10 m, porta una tensione alternata di valore efficace $V_n = 230 \text{ V}$ con frequenza 50 Hz. Determinare la tensione indotta in uno degli altri conduttori, sapendo che termina su un dispositivo con resistenza di ingresso $10 \text{ k}\Omega$ e che il condensatore parassita tra i due conduttori vale 60 pF/ft .

[Ris.: disturbo sinusoidale di valore efficace 1,45 V]

ESERCIZIO 4

Un segnale logico da 5 V, con fronti ripidi, si accoppia ad una linea CMOS ad alta impedenza attraverso un condensatore parassita di capacità $C_p = 4 \text{ pF}$. Sapendo che il condensatore di ingresso della porta CMOS vale $C_i = 6 \text{ pF}$, determinare l'entità del disturbo V_i presente sull'ingresso della porta.

[Ris.: partitore capacitivo, $V_i = 2 \text{ V}$]