

Voltmetri vettoriali

Un voltmetro vettoriale è uno strumento che consente la misura dell'ampiezza di due tensioni e del loro sfasamento per segnali fino a frequenze dell'ordine del Gigahertz. Il loro funzionamento è basato su una conversione in frequenza in basso, necessaria per ottenere una adeguata accuratezza nella misura dello sfasamento (in particolare alle frequenze più alte) e realizzata mediante conversione a campionamento.

Le due tensioni vengono inviate ai relativi circuiti di campionamento, abilitati da un generatore di impulsi pilotato a frequenza opportuna. La successione di campioni in uscita dai circuiti di campionamento costituisce una replica, a frequenza più bassa, del segnale in ingresso. Tra la frequenza del segnale f_{in} e quella di lavoro del circuito di campionamento f_c sussiste la relazione

$$f_0 = f_{in} - qf_c$$

in cui q è un intero e f_0 è detta "frequenza intermedia". Quest'ultima è tipicamente dell'ordine del kilohertz (o di poche decine di kilohertz), quindi anche molto inferiore alla frequenza dei segnali in ingresso.

Il sistema si comporta come un anello ad aggancio di fase: il segnale a frequenza intermedia è inviato, insieme con un'oscillazione di riferimento alla stessa frequenza, a un discriminatore di fase: quest'ultimo produce un segnale (di errore) che pilota, tramite un oscillatore accordato in tensione (V.T.O., voltage tunable oscillator), il generatore di impulsi. L'anello di reazione fa sì che la frequenza di campionamento si mantenga al valore che permette l'uguaglianza tra la frequenza generata tramite conversione e quella di riferimento f_0 . Se dunque la frequenza generata mediante la conversione si mantiene pari a quella di riferimento, la tensione prodotta dal discriminatore di fase non varia e di conseguenza non varia la frequenza di campionamento; il sistema si mantiene così "agganciato".

Sul canale relativo al segnale V_2 (isofrequenziale con V_1) le cose vanno in maniera analoga, senza la necessità del rivelatore di fase, dal momento che la frequenza di campionamento f_c è comune ai due canali. I due display permettono di misurare le due ampiezze e lo sfasamento, oppure il rapporto tra le ampiezze e lo sfasamento. Quest'ultima possibilità è utile per esempio per la misura della risposta di un quadripolo, o del coefficiente di riflessione.

La sensibilità del sistema è dell'ordine del microvolt e, come già detto, il range di frequenze coperto arriva fino ai Gigahertz.

Misuratori RLC

Nei misuratori RLC si ha la necessità di mantenere a potenziale di riferimento uno dei terminali (il terminale "basso") dell'impedenza da misurare; questo risultato viene raggiunto utilizzando un circuito (detto "rivelatore di zero") che, comportandosi come se fosse un amplificatore operazionale (cioè un amplificatore che, con tensione "piccolissima" in ingresso produce tensione finita in uscita e senza assorbire corrente), lavora in condizioni analoghe a quelle note come "cortocircuito virtuale".

Detto sistema può essere schematizzato con un primo stadio amplificatore (che sostituisce l'amplificatore operazionale), seguito da una serie di blocchi che realizzano una doppia conversione di frequenza, la prima in basso e la seconda nuovamente alla frequenza di lavoro.

La tensione in uscita all'amplificatore viene inviata a due "rivelatori di fase", il primo pilotato da una tensione in fase con quella (V_s) applicata sull'impedenza Z_x , e il secondo da una tensione in quadratura con V_s . L'effetto prodotto da questi rivelatori è quello di una conversione in basso (a frequenza nulla), cosa che consente di evitare che la grande amplificazione necessaria per ottenere la condizione di "cortocircuito virtuale" sia necessaria su tutta la banda di lavoro dello strumento.

Le tensioni prodotte da questi rivelatori vengono, previa integrazione, utilizzate per pilotare due modulatori, che lavorano utilizzando, come "portante" ancora una volta due tensioni, una in fase e una in quadratura con V_s . Le tensioni in uscita ai due modulatori avranno ampiezza proporzionale all'uscita degli integratori.

La somma V_r di queste tensioni viene inviata alla resistenza "di reazione" R_r . All'equilibrio si avrà (perché sia nulla la tensione del nodo a comune tra Z_x ed R_r , ovvero la differenza tra I_x e I_r):

$$\frac{V_s}{Z_x} = -\frac{V_r}{R_r}.$$

Da questa si ottiene

$$Z_x = -R_r \frac{V_s}{V_r}$$

che è la condizione cercata. Scambiando di posto l'impedenza da misurare e la resistenza R_r si ottiene invece

$$\frac{V_s}{R_r} = -\frac{V_r}{Z_x}, \quad \text{cioè} \quad Y_x = \frac{1}{Z_x} = -\frac{1}{R_r} \frac{V_s}{V_r}$$