

Circuiti e segnali.

Segnali.

Ogni sorgente di informazione comunica con i destinatari facendo variare una grandezza fisica che sia da essi misurabile. Il destinatario può acquisire informazioni se

- non conosce a priori le **variazioni** che gli pervengono,
- conosce i **valori di riferimento** rispetto ai quali deve valutare le variazioni,
- conosce la **convenzione** secondo cui alle variazioni viene attribuito un significato.

A tali variazioni viene dato il nome di **segnali**. Per estensione, però, sono dette "segnali" anche quelle variazioni che non recano informazione ma che vengono utilizzate nelle analisi e nelle prove di laboratorio in sostituzione di segnali veri e propri; fra queste in particolare tutte le variazioni periodiche (sinusoidi, onde quadre, onde triangolari, ecc.). Negli schemi elettrici i segnali sono rappresentati da grandezze elettriche impresse di generatori indipendenti: i circuiti che elaborano segnali contengono quindi almeno un generatore indipendente la cui grandezza impressa rappresenta il segnale da elaborare che viene detto **segnale di ingresso**. Tali circuiti sono detti **non autonomi**. I circuiti **autonomi** non contengono generatori di segnale. Ciò si verifica per tutti i circuiti nelle fasi di studio in cui ci si occupa soltanto dei valori di riferimento e, in ogni fase di studio, per i circuiti che debbono generare ma non elaborare segnali.

- Un qualunque segnale che abbia interesse considerare come risultato dell'azione del circuito viene detto **segnale di uscita**.
- Il sottocircuito che rappresenta il destinatario (o utilizzatore) viene detto anche **carico**.

Valori di riferimento, polarizzazioni.

I valori di riferimento cui si sommano i segnali da elaborare possono anche essere tutti nulli se le relazioni costitutive del sistema di elaborazione interposto fra sorgente e utilizzatore sono

- tutte lineari (per esempio, tutti i circuiti RLC),
- anche non lineari ma proprio del tipo giusto per eseguire la desiderata elaborazione non lineare (per esempio, i circuiti raddrizzatori passivi).

Il più delle volte, però, una conseguenza della non linearità delle relazioni costitutive dei dispositivi elettronici è che tali relazioni risultano adatte a espletare la voluta elaborazione di segnale soltanto se le grandezze elettriche assumono valori interni a opportuni intervalli limitati. Occorre allora assegnare dei valori di riferimento pressoché centrati in ciascuno degli intervalli, in modo che i segnali che vi si debbono sovrapporre non portino mai i dispositivi a operare esternamente ad essi. Occorre cioè, come si suol dire, **polarizzare** i dispositivi. Pertanto, i valori di riferimento sono comunemente chiamati anche "valori di polarizzazione" o "polarizzazioni". In generale non è indispensabile che siano costanti nel tempo ma il caso più frequente, e l'unico trattato in questo testo, è quello delle polarizzazioni costanti. Per ottenere le polarizzazioni volute occorre, in generale, che il circuito contenga delle sorgenti di energia rappresentate dai generatori (indipendenti) di polarizzazione. Si tratterà quindi di generatori di tensione o di corrente costanti le cui grandezze impresse sono parametri necessari per definire la struttura del circuito, così come le resistenze, le capacità, ecc. Una fase in cui si studiano solo le polarizzazioni è quasi sempre indispensabile o almeno di grande utilità; in tal caso si ha a che fare con un circuito autonomo in cui sono presenti solo generatori costanti: si dice allora che si studia il circuito **in corrente continua** ovvero il circuito **equivalente per le polarizzazioni** ovvero il circuito **a riposo**, cioè

- con gli induttori e i generatori di tensione di segnale sostituiti da cortocircuiti,
- con i condensatori e i generatori di corrente di segnale sostituiti da rami aperti.

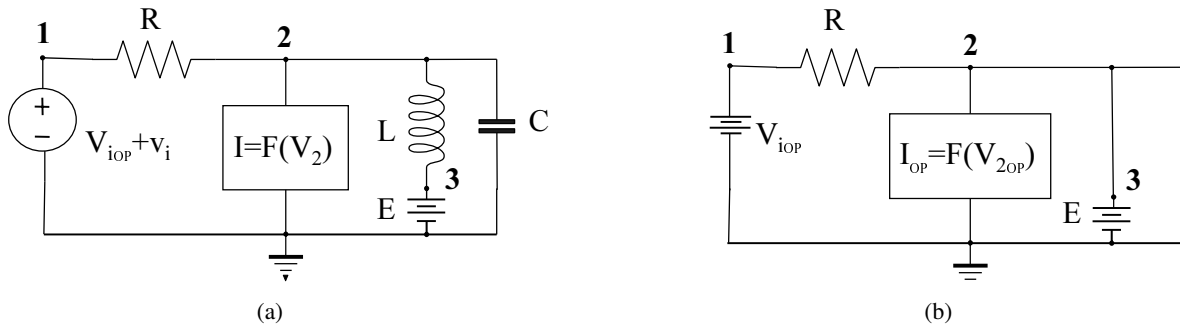


Fig. 1 - Un circuito e il suo equivalente a riposo: $V_{2OP} = V_{3OP} = E$; $I_{ROP} = \frac{V_{iOP} - V_{2OP}}{R}$; ecc....

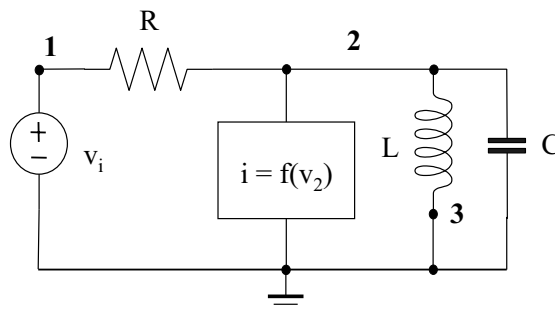


Fig. 2 - Circuito equivalente per i segnali del circuito di figura 1(a).

Circuito equivalente per i segnali.

Per completare lo studio del circuito è allora sufficiente e conveniente considerare il **circuito equivalente per i segnali**.

Infatti, ciascuna variabile $X(t)$ delle equazioni del circuito può essere espressa come somma del suo valore di riposo, cioè del valore X_{OP} che assume in assenza di segnali, con il segnale $x(t)$: $X(t) = X_{OP} + x(t)$. Poiché i valori di riposo sono noti dalla fase di studio precedente, essi appaiono nelle equazioni alla stregua di parametri: le uniche incognite sono segnali e le equazioni sono interpretabili come equazioni fra segnali: la loro descrizione grafica rappresenta appunto il circuito equivalente per i segnali. Interpretando le variabili del circuito come coordinate di uno spazio cartesiano pluridimensionale, considerare il circuito equivalente per i segnali equivale a traslare gli assi coordinati in modo che l'origine vada a coincidere con il **punto di riposo**, cioè con il punto che ha come coordinate i valori di riposo.

Elaborazione lineare di segnali.

È un dato sperimentale, e intuitivo, che ai fini della trasmissione dell'informazione due segnali sono del tutto equivalenti se differiscono soltanto per una costante moltiplicativa e per un ritardo temporale. Pertanto a molti sistemi di elaborazione dell'informazione si richiede che facciano corrispondere ai segnali di ingresso $S_{in}(t)$, appartenenti a un prefissato insieme, dei segnali di uscita $S_{out}(t)$ della forma

$$S_{out}(t) = k \cdot S_{in}(t - \tau) \quad (1)$$

Si dice allora che il segnale di uscita **non è distorto** rispetto al segnale di ingresso. L'elaborazione senza distorsione è evidentemente un caso molto particolare di **elaborazione lineare** cioè di elaborazione che ammette la sovrapposizione degli effetti, ed è stato ricordato proprio per porre in evidenza l'importanza delle elaborazioni lineari, anche quando esse siano deliberatamente associate a qualche forma di distorsione (lineare).

In un complesso sistema di elaborazione lineare di segnali in cui i segnali subiscono successive trasformazioni non è indispensabile che ciascuna di esse sia lineare, è anzi comune l'uso di operazioni anche fortemente non lineari

i cui effetti però si compensano nell'elaborazione complessiva. Si capisce tuttavia che è necessario e fondamentale saper progettare anche circuiti che operino linearmente sui segnali. È ovvio che si otterrà elaborazione lineare da ogni circuito che sia composto esclusivamente di componenti lineari¹, tipicamente resistori, induttori e condensatori (circuiti RLC), mentre assai più delicato è il problema di ottenere elaborazioni lineari nei circuiti tipicamente elettronici, i quali includono dispositivi con relazioni costitutive non lineari.

Piccoli segnali.

Si consideri una relazione costitutiva fra una variabile dipendente Y e una variabile indipendente X , $X \rightarrow Y(X)$ e si separino i valori di polarizzazione dai segnali: $y = Y - Y_{OP} = Y(X) - Y(X_{OP}) = Y(X_{OP} + x) - Y(X_{OP}) = y(x)$.

Se le variazioni di X e Y , cioè i segnali x e y , vengono sempre mantenute abbastanza piccole, il rapporto incrementale y/x può essere approssimato con la derivata calcolata nel punto di riposo, cioè con il **parametro differenziale** $p = Y'(X_{OP})$:

$$\frac{y}{x} = \frac{Y(X_{OP} + x) - Y(X_{OP})}{X - X_{OP}} \simeq \left[\frac{dY(X)}{dX} \right]_{X=X_{OP}} = Y'(X_{OP}) = p(X_{OP}). \quad (2)$$

La relazione costitutiva, in generale non lineare, $Y = Y(X)$ dà quindi origine alla relazione fra piccoli segnali $y = p \cdot x$. Le rappresentazioni grafiche delle relazioni fra piccoli segnali costituiscono i **(sotto-)circuiti equivalenti per i piccoli segnali** che sono ovviamente lineari e nei quali appaiono soltanto piccoli segnali e parametri differenziali (i cui valori però dipendono dai valori di riposo).

Osservazioni e complementi sui parametri differenziali.

- Può darsi che il valore di un parametro differenziale sia stato rilevato sperimentalmente con buona precisione e non coincida con quello che si ottiene linearizzando lo stesso modello prescelto per le analisi non lineari. Infatti, per semplificare tali analisi, può essere stato conveniente tollerare approssimazioni che sono invece inutili o inaccettabili in un'analisi per piccoli segnali.
- Dato che le operazioni di derivazione e la risoluzione di sistemi di equazioni lineari sono generalmente assai più semplici della risoluzione di un sistema non lineare, un buon (sotto-)circuito equivalente per piccoli segnali può essere ottenuto linearizzando un modello più complesso di quello normalmente adottato per le analisi non lineari e contenere quindi più componenti (lineari) di quanti (non lineari) ne contenga quest'ultimo.

Che cosa fa un circuito elettronico.

Le funzioni specifiche che un circuito elettronico può svolgere sono così numerose che non vale la pena di tentarne un elenco completo. È più utile fissare l'attenzione su pochi principi generali:

- La funzione di un circuito non autonomo può sempre essere considerata una elaborazione di segnali, cioè un insieme di operazioni effettuate sui segnali di ingresso per ottenere i desiderati segnali di uscita;
- Nella maggior parte dei casi, tale elaborazione viene svolta utilizzando una conversione di energia elettrica; si verifica cioè un prelievo di energia dai generatori di alimentazione e la cessione di una parte di essa al carico secondo modalità (cioè con forme d'onda) controllate dai segnali di ingresso;
- Un circuito autonomo utilizza la conversione di energia per produrre grandezze dotate di specifiche forme d'onda.

¹Se si riferisce a un circuito fisico o a un suo componente, l'aggettivo *lineare* non avrebbe alcun senso. Esso indica infatti la linearità delle equazioni del modello scelto per lo studio in corso ed è quindi linguisticamente corretto in quanto si riferisce alle rappresentazioni grafiche o alfanumeriche del modello stesso.

- Gli scambi di energia fra diversi sottocircuiti avvengono attraverso coppie di terminali dette **porte**, a ciascuna delle quali è associata una tensione e una corrente.

Aggiornato al 28 dicembre 2004