

# L'AMPLIFICATORE MAGNETICO

(di V. J. Louden - Dalla G.E.R., marzo 1953)

L'amplificatore magnetico è un apparecchio a induttanza variabile che controlla la potenza assorbita da un dato circuito di carico. Esso differisce da un tubo elettronico a vuoto spinto, caratterizzato da resistenza variabile, nel senso che il suo funzionamento dipende dalla magnetizzazione non lineare di materiali ferromagnetici.

La figura 1 mostra il principio di funzionamento di un amplificatore magnetico semionda costituito da:

- 1°) un reattore a nucleo di ferro di elevata induttanza e bassa resistenza;
- 2°) un raddrizzatore che permette il passaggio della corrente in senso unico;
- 3°) un resistore di carico, inserito sull'alimentazione dei morsetti del reattore;
- 4°) un avvolgimento segnale, che controlla la corrente del reattore, alimentato da una sorgente di tensione continua variabile.

In figura 2 è riportata la caratteristica di magnetizzazione del nucleo di ferro su un diagramma cartesiano che ha per ascisse la forza magnetica  $H$  e per ordinate l'induzione  $B$ .

La figura 3 mostra infine la tensione alternata di alimentazione e la corrente di carico attraverso l'avvolgimento principale con e senza segnale di controllo.

Vediamo ora il funzionamento del reattore senza segnale in c.c. nell'avvolgimento corrispondente (si trascurano per semplicità gli effetti dell'isteresi magnetica). Allorchè una semionda positiva di tensione alternata giunge all'avvolgimento principale del reattore il nucleo si magnetizza; più precisamente esso viene fatto funzionare sia nella zona di non saturazione fra  $b$  e  $c$  sia in quella di saturazione oltre  $b$ .

Poichè il passaggio della corrente di carico risulta ostacolato in ragione diretta della pendenza della curva  $B$ - $H$ , il reattore in realtà presenta due distinti valori di reattanza: alla forte pendenza della curva corrisponde alta induttanza e viceversa. Applicando dunque una tensione la corrente alternata varia come segue: all'inizio  $t_0$  della semionda di tensione, essa ha valore zero e quindi la forza magnetica, proporzionale alla corrente, è pure zero. Da  $t_0$  a  $t_1$  la corrente e la forza magnetica aumentano lentamente, dato che il nucleo lavora nel tratto di non saturazione. Di conseguenza il passaggio della corrente attraverso l'avvolgimento è fortemente ostacolato dall'elevata induttanza.

La corrente, sfasata in ritardo rispetto alla tensione di alimentazione, continua a crescere lentamente finchè la magnetizzazione del nucleo corrisponde al punto  $b$  della curva.

Nell'istante  $t_1$  il nucleo risulta saturo, l'induttanza scende a un valore assai basso e la corrente cresce bruscamente.

D'altra parte la tensione di alimentazione, non appena ha raggiunto il valore massimo, comincia a diminuire; contemporaneamente decresce la corrente fino a che la magnetizzazione non è giunta al punto  $b$  in corrispondenza dell'istante  $t_2$ . In questo momento la corrente ha il medesimo valore che aveva al tempo  $t_1$ .

La sua ulteriore diminuzione, dopo l'istante  $t_2$ , è ora ostacolata dal fatto che il nucleo lavora sotto il punto  $b$  nella zona di non saturazione, per cui l'induttanza del reattore è assai elevata. La corrente perciò decresce assai lentamente, in ritardo sulla tensione, finchè nell'istante  $t_3$  corrente e forza magnetica si riducono a zero.

Vediamo ora cosa succede quando all'avvolgimento segnale è applicata una tensione continua. La relativa corrente determina un aumento della forza magnetica  $H$  e premagnetizza il nucleo. Ne deriva che risulta in tal modo possibile controllare il grado di magnetizzazione, fissando l'istante in cui il nucleo raggiungerà la saturazione dopo che l'avvolgimento principale sarà stato alimentato.

Se ad esempio il segnale positivo in c.c. corrisponde al punto  $a$  della curva  $B$ - $H$ , la forza magnetica  $H$  occorrente per raggiungere la saturazione deve aumentare, quando si alimenta con la tensione alternata, dal valore  $H_a$  al valore  $H_b$ . Basterà allora che la corrente di carico aumenti di una quantità inferiore, come risulta dalla curva tratteggiata, perchè la saturazione abbia luogo con un certo anticipo.

In modo del tutto analogo un segnale di polarità negativa determina un ritardo nella saturazione.

Da quanto esposto risulta chiaro come avvalendosi di un segnale in c.c. il reattore si trasforma in un amplificatore magnetico, dato che, regolando l'istante dell'onda di tensione in cui ha luogo la saturazione del nucleo, viene altresì regolato il valore medio della corrente di carico.

Occorre tuttavia rilevare che l'amplificatore magnetico non costituisce una novità in quanto risulta già applicato negli Stati Uniti da oltre trent'anni per trasmissioni telegrafiche ad alta velocità (General Electric Review, ottobre 1920, pag. 797); suc-

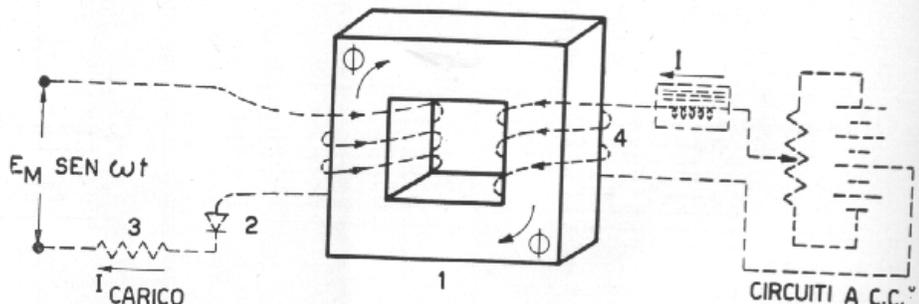


Fig. 1 - Schema elementare di amplificatore magnetico a semionda.

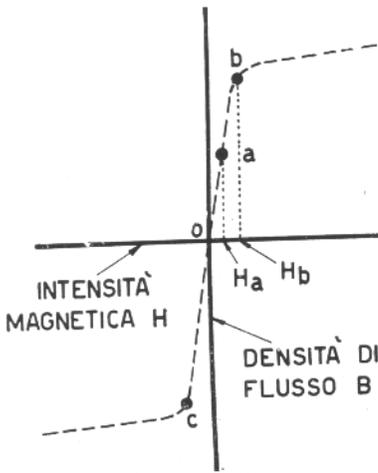


Fig. 2 - Caratteristica di magnetizzazione del nucleo di un amplificatore magnetico.

cessivamente, durante la 2<sup>a</sup> guerra mondiale, le forze armate germaniche lo svilupparono e ne fecero un largo impiego per ovviare alla scarsità di personale specializzato nell'uso di apparecchiature elettroniche di controllo.

Gli scienziati tedeschi si convinsero infatti che l'amplificatore magnetico, dopo la messa in servizio, poteva essere praticamente ignorato date le sue limitatissime esigenze di verifica e manutenzione.

La guerra poi terminò prima che essi potessero applicare molti dei loro nuovi sistemi di controllo, cosicchè non ebbero la possibilità di sfruttare in pieno le loro idee.

Quando gli specialisti americani poterono esaminare accuratamente le navi da guerra germaniche, constatarono che l'amplificatore magnetico veniva usato per i comandi più diversi: tiro, timoneria, controllo della tensione, macchine calcolatrici, ecc. I tecnici americani rimasero così colpiti dalla versatilità dell'apparecchio che successivamente l'alto comando delle forze armate americane formulò un vero e proprio programma per lo sviluppo di nuovi sistemi di comando e controllo basati sull'impiego di amplificatori magnetici.

L'equivalente elettronico dell'amplificatore magnetico

Sotto molti aspetti l'amplificatore magnetico è simile a un circuito di comando a tiratrone, che come noto, è un triodo a riempimento gassoso. Esso

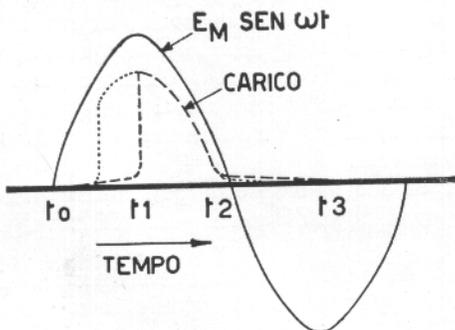


Fig. 3 - Forma della tensione di alimentazione e della corrente di carico in un amplificatore magnetico.

viene normalmente collegato in serie a un certo carico alimentato da una sorgente in c.a.

In condizioni normali il gas si comporta, nei riguardi della corrente, come un'impedenza estremamente alta. Quando invece il gas è ionizzato — il grado di ionizzazione è comandato dalla tensione di griglia — esso presenta una conduttanza così elevata che la caduta di tensione attraverso il tubo è piccolissima e pressochè indipendente dal valore della corrente stessa.

In figura 4 è effettuato un confronto fra il circuito del tiratrone e quello dell'amplificatore a semionda.

Il tiratrone si comporta nel suo circuito come un'elevata impedenza e durante il primo tratto dell'onda di tensione il passaggio di corrente è assai modesto; successivamente, in corrispondenza di un istante prestabilito, la griglia del tiratrone ri-

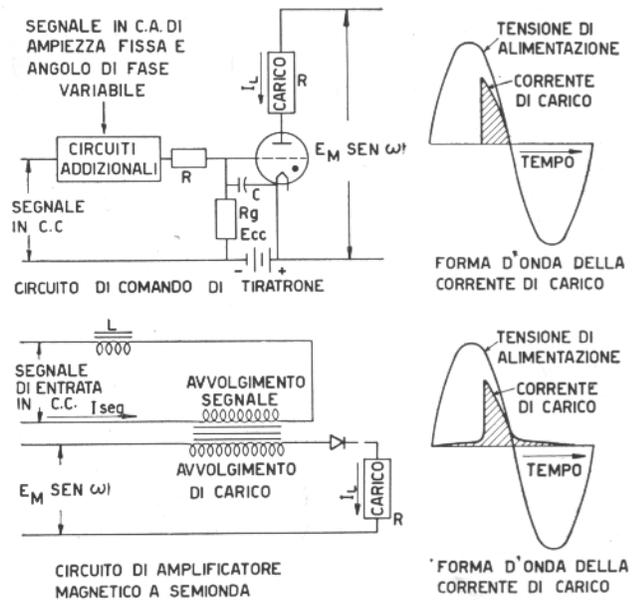


Fig. 4 - Confronto fra i circuiti con tiratrone e con amplificatore magnetico.

ceve un impulso o comunque un segnale che ionizza il gas, per cui la corrente aumenta fortemente. Poichè la caduta nel tubo è assai piccola, la maggior parte della tensione risulta disponibile ai morsetti del carico.

Dal diagramma si vede come la forma della corrente nel circuito del tiratrone è approssimativamente una porzione di sinusoidale.

Un amplificatore magnetico a semionda funziona in modo assai simile.

Durante il tratto iniziale dell'onda di tensione la corrente di carico è piccola a causa, come già visto, dell'elevata induttanza del circuito.

Tale corrente comunque aumenta finchè a un certo istante, stabilito dal segnale in c.c., il nucleo si satura e l'induttanza scende a valori bassissimi. Il passaggio della corrente è limitato allora quasi esclusivamente dalla resistenza del circuito.

L'impiego dell'amplificatore magnetico a semionda dianzi descritto non risulta però vantaggioso nella maggior parte dei casi pratici, dato che la

necessità di ridurre al minimo le correnti indotte nel circuito di controllo impone l'uso di un'induttanza o di una resistenza di valore piuttosto elevato; mentre la prima riduce la rapidità di risposta, una grande resistenza fa diminuire il guadagno dell'amplificatore.

Uno schema assai più vantaggioso è quello riportato nella figura 5. In sostanza esso viene realizzato con due circuiti semionda e due reattori con un avvolgimento di controllo unico per entrambi.

Con questo sistema non si inducono delle armoniche nel circuito segnale e si evita altresì l'uso di forti impedenze o resistenze limitatrici.

#### Impiego degli amplificatori magnetici negli aerei

Gli amplificatori magnetici danno ottimi risultati in sistemi di comando e controllo del tipo di quelli richiesti dalle turbine a gas per aviazione.

In tal caso vengano impiegati sistemi fino a 12 stadi di amplificazione, coordinati fra loro in modo tale che il pilota dell'aereo a reazione ottiene automaticamente la spinta occorrente al suo apparecchio con la semplice predisposizione di un selettore.

Questo sistema impedisce altresì l'ingolfamento del propulsore durante le forti accelerazioni, stabilendo la massima quantità di combustibile che, con un certo margine di sicurezza, può essere erogata al motore in relazione alle diverse condizioni di volo.

Fra le altre funzioni del dispositivo ad amplificatori magnetici è degna di rilievo quella di impedire che i bruciatori si spengano a seguito di

detti sistemi sono in genere tutt'altro che favorevoli, gli amplificatori vengono di solito racchiusi in custodia stagna.

#### Confronto fra amplificatori magnetici ed elettronici

Gli amplificatori magnetici si prestano in molte applicazioni ad essere impiegati in luogo dei tubi a vuoto.

Più che dei sostituti, gli amplificatori devono essere considerati come apparecchi aventi alcune caratteristiche in comune con i tubi anzidetti e sono da usare soltanto quando sia possibile sfruttare i loro particolari vantaggi.

Ad esempio allorchè il peso e le dimensioni d'ingombro rivestono grande importanza, gli amplificatori magnetici sono senz'altro da escludere se la sorgente di energia ha una frequenza di soli 50 o 60 Hz.

I sistemi a tubi elettronici e ad amplificatori magnetici sono invece confrontabili, dal punto di vista peso e ingombro, quando la frequenza di alimentazione raggiunge i 400 Hz.

A questo valore è talvolta possibile costruire gli amplificatori con dimensioni anche più piccole di quelle dei tubi, dato che per basse potenze si hanno perdite limitate e quindi modeste sovratemperature che consentono un montaggio più compatto.

Il maggior tempo occorrente per raggiungere la temperatura di regime, la scarsa manutenzione e l'intrinseca robustezza costituiscono poi notevoli vantaggi nei confronti dei tubi a vuoto. Inoltre gli amplificatori magnetici, una volta alimentati, funzionano quasi immediatamente e per lungo tempo non richiedono controlli di sorta anche se soggetti a scosse e vibrazioni.

Essi tuttavia non possono essere usati a temperature non comprese fra  $-55$  e  $+100^\circ$  C., dato che si verificherebbero sensibili mutamenti nella struttura dei materiali costituenti il nucleo del reattore e il raddrizzatore metallico.

Per apparecchiature di controllo che richiedono prestazioni di grande precisione, gli amplificatori magnetici necessitano di una sorgente di energia a 2000 Hz. e oltre; ciò è imposto dal fatto che essi sono forniti di un avvolgimento segnale e che la velocità di risposta è bassa rispetto a quella di un tubo a vuoto.

Aumentando la frequenza della sorgente di alimentazione essa diviene, per un determinato guadagno, proporzionalmente più elevata.

In altri casi, ad esempio quando il circuito di entrata e quello di uscita devono essere elettricamente separati, l'amplificatore magnetico risulta preferibile ai tubi a vuoto. Un'altra vantaggiosa applicazione è quella in circuiti dove il segnale di uscita deve corrispondere alla somma di diversi segnali di entrata.

In tal caso esso si presta particolarmente bene data la possibilità di usare parecchi avvolgimenti segnale.

In conclusione l'amplificatore magnetico si è rivelato un apparecchio di grande interesse e tale quindi da poter sensibilmente contribuire, se oculatamente usato, a rendere sempre più efficienti e sicuri i sistemi di controllo e di comando.

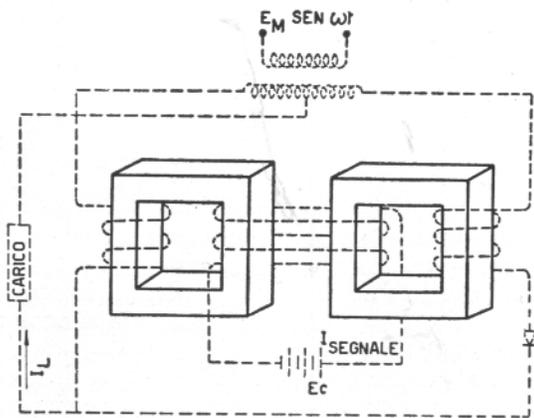


Fig. 5 - Schema pratico di amplificatore magnetico a due semionde con avvolgimento segnale unico.

brusche decelerazioni e inoltre quella di limitare a un determinato valore la temperatura dei condotti di scarico durante l'accelerazione dell'aereo.

Altre apparecchiature, pure ad amplificatori magnetici, controllano l'alzo e il brandeggio azimutale di radar per aerei o di torri per cannoni navali, la timoneria di navi, i dispositivi di pilota automatico per aerei, la tensione e frequenza di generatori elettrici, e anche gli organi di comando per impianti nucleari.

Poichè le condizioni in cui operano gli anzi-