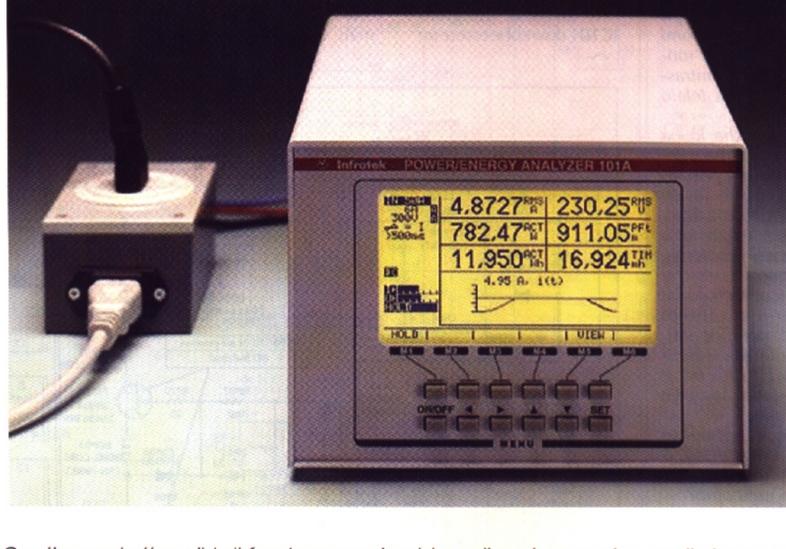


Il wattmetro e le misure di potenza



Continuando l'analisi di funzionamento vista nella prima parte, analizziamo ora più approfonditamente quali strumenti servono per misurare la potenza elettrica

Flavio Criseo - 2° e ultima parte

Per moltissimi anni (e ancora oggi) nelle abitazioni civili e in campo industriale è stato impiegato un wattmetro elettromeccanico per la misura delle potenze. Utilizzando la rete di compensazione vista nella prima parte, è possibile compensare l'errore e presente nel rilevamento della tensione.

Vediamo adesso come sia possibile misurare la potenza assorbita da un ipotetico carico.

Wattmetro elettromeccanico

Ammettiamo di avere a disposizione un nucleo di materiale ferromagnetico sagomato a "C", così come visibile in Fig. 7.

Sappiamo bene che, se un induttore è avvolto attorno a un nucleo, sono generate delle linee di flusso magnetico che lo percorrono completamente.

Dato che la forma geometrica è a "C", le linee di flusso passeranno nell'aria nel breve tratto interrotto per poi entrare nuovamente nel nucleo. Nella Fig. 7, le linee che attraversano l'aria sono rappresentate in modo tratteggiato. L'intensità di queste linee è strettamente legata alla corrente che attraversa l'induttore avvolto sul nucleo.

Se per un attimo immaginiamo che il sottile rettangolo posto entro il nucleo a "C" sia un disco, così come visibile nella Fig. 8, possiamo comprendere che quando le linee di flusso magnetico attraversano il traferro, parte di esse si dispongono sul disco nel modo visibile.

Ammettiamo ora che vi siano due nuclei a "C" disposti (come nella Fig. 9) e che ognuno di essi abbia avvolto un induttore come in precedenza. Se due correnti percorressero i due induttori, nei due nuclei si genererebbero delle linee di campo, così come visibili in Fig. 9.

L'interazione dei due gruppi di linee di campo creerà una coppia di natura elettromeccanica che innescherà una rotazione.

La rotazione però sarà piccola, perché le forze magnetiche raggiungeranno un punto di equilibrio in breve tempo. Affinché si possa ottenere, non una posizione di equilibrio, ma una velocità di rotazione di equilibrio, si immette nel disco una coppia antagonista generata tramite un magnete permanente.

La Fig. 10 mostra una possibile schematizzazione di questo magnete.

A differenza degli altri due nuclei a "C", in quest'ultimo non è avvolto nessun induttore, quindi le coppie di forze generate dai due nuclei precedenti tenderanno a raggiungere l'equilibrio posizionale anche se, a causa dello sbilanciamento dato dalla coppia antagonista, si ottiene una rotazione di equilibrio del disco.

Si ha quindi una velocità di rotazione ω proporzionale alla potenza assorbita. Basterà contare il numero di giri, per conoscere la potenza erogata sul carico. Il conteggio è effettuato attraverso un ruotismo meccanico.

Questo è il principio di funzionamento sul quale si basa il wattmetro che tutti noi abbiamo avuto per anni nelle nostre case.

Un ulteriore approfondimento

Vediamo adesso la Fig. 11. In questa sono visibili i due nuclei a "C", la rete di compensazione "Z" vista in Fig. 6 e un'estensione "Ca" (Coppia d'attrito) in uno dei due nuclei.

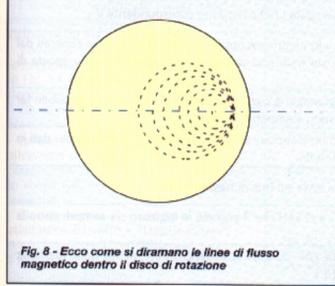


Fig. 8 - Ecco come si diramano le linee di flusso magnetico dentro il disco di rotazione

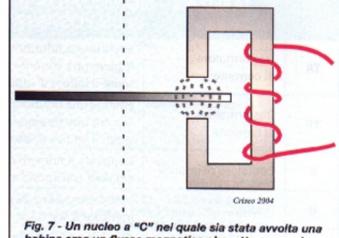


Fig. 7 - Un nucleo a "C" nel quale sia stata avvolta una bobina crea un flusso magnetico che, attraversando il traferro, passa attraverso il disco di rotazione

La coppia motrice responsabile della rotazione è data dai seguenti fattori:

$$C_{motrice} = K_0 P = K_1 \omega + K_2 I^2 \omega + K_3 V^2 \omega + C_a \quad (21)$$

I termini $K_1 I^2 \omega$ e $K_2 V^2 \omega$ rappresentano le coppie generate dalla bobina posta come voltmetro e da quella come amperometro (si noti come in un termine sia presente la I^2 , mentre nell'altro la V^2) che, a loro volta, generano la stessa ω di rotazione.

Il termine C_a rappresenta una coppia d'attrito che, com'era facile prevedere, è presente in qualsiasi dispositivo meccanico in movimento.

Risolviendo la 21 otteniamo che:

$$\omega = \frac{K_0 P - C_a}{K_1 + K_2 I^2 + K_3 V^2} \quad (22)$$

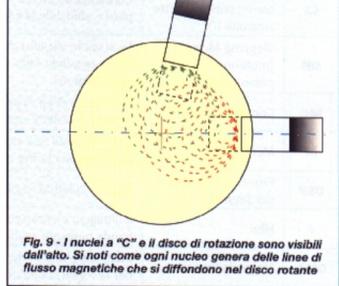


Fig. 9 - I nuclei a "C" e il disco di rotazione sono visibili dall'alto. Si noti come ogni nucleo genera delle linee di flusso magnetiche che si diffondono nel disco rotante

APPUNTI DI TECNOLOGIA

TABELLA 1 - SIGNIFICATO E UTILITÀ DEI COMPONENTI PRINCIPALI DI UN POSSIBILE WATTMETRO DIGITALE		
TA	Trasformatore di corrente	Effettua una riduzione della corrente assorbita dal carico. In questo modo è possibile leggere una corrente minore (attenuata dunque da un coefficiente "K") e, poi, reinserire il fattore di attenuazione prima della visualizzazione a display
TV	Trasformatore di tensione	Effettua una riduzione della tensione assorbita dal carico. In questo modo è possibile leggere una tensione minore (attenuata dunque da un coefficiente "K") e, poi, reinserire il fattore di attenuazione prima della visualizzazione a display
C	Contatore di impulsi	Contando il numero di impulsi a onda quadra è possibile stabilire il valore numerico dei Watt corrispondenti
D	Display	La visualizzazione degli impulsi può essere rappresentata tramite un display alfanumerico o a segmenti
A	Adattatori di livello	Gli adattatori di livello permettono al moltiplicatore di ricevere un livello corretto della tensione e della corrente
VD	Partitore di tensione	La tensione generata dal TV è ripartita ulteriormente da due resistori
S&H	Sample & Hold	La tensione uscente dal moltiplicatore è campionata dal S&H, quindi inviata al controllore digitale così come visto per il convertitore ad approssimazioni successive
V/f	Converter tensione-frequenza	Per poter leggere in forma digitale una grandezza analogica, un possibile circuito è il convertitore tensione frequenza ("Convertitore V/f", Il Cinescopio, ottobre 2003, pag. 80)
A/D	Converter analogico-digitale	Il convertitore ad approssimazioni successive è uno dei possibili convertitori impiegati in questo wattmetro elettronico
µP	Microcontrollore	Così come abbiamo visto nel convertitore ad approssimazioni successive, è necessario l'impiego di un controllore digitale per la gestione dei contatori, del S&H ecc.
Digital Bus	Comunicazione dei dati elaborati	La lettura dei kiloWatt erogati sul carico può essere inviata a una centrale di controllo per i consumi attraverso un Bus dati. Nel caso dell'ENEL, è sfruttata la stessa linea elettrica a 220 V. Ecco perché, con il nuovo wattmetro digitale, non è più necessaria una lettura locale a opera di un addetto
M/D	Memoria e Display	Giunto alla centrale, il segnale digitale corrispondente al consumo elettrico effettuato è memorizzato e, successivamente, visualizzato su un calcolatore
X	Moltiplicatore	Dato che $P = VI$ cioè, dobbiamo effettuare una moltiplicazione della corrente con la tensione. Lo stadio X è dedicato a questo scopo
CS	Shunt per la conversione corrente tensione I/V	Connettendo un resistore sul secondario del TA, è possibile convertire in modo semplice e affidabile la corrente erogata I nella tensione corrispondente V
SM	Stepping Motor (motorino passo-passo)	Se si vuole visualizzare in modo elettromeccanico il numero di impulsi generati dal V/f, è possibile farlo tramite un motorino passo-passo. Ogni impulso lo sposta di una posizione
MC	Contatore a scatti	Muovendo degli appositi ingranaggi a ogni posizione del motorino, è possibile far ruotare dei cilindri sui quali sono stampati i numeri
M	Memoria	Con l'invio sul Bus attraverso un'elaborazione DSP, è possibile memorizzare i dati in una memoria buffer nella centrale
DSP	Processore Digitale dei Segnali	Elabora la lettura digitale e la invia sul Bus di trasmissione
F	Filtri	Il filtraggio elettronico assicura al S&H che il segnale in ingresso sia sempre entro la banda passante voluta
DMA	Memoria Dinamica	I dati sono ricevuti in centrale che, durante la visualizzazione, alloca della memoria per la registrazione della lettura

38
CIN Ottobre 2004

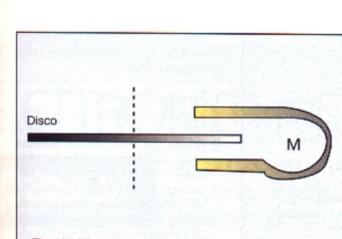


Fig. 10 - L'impiego di un magnete permanente supplementare crea una coppia antagonista che, opponendosi alla posizione di equilibrio, permette la rotazione del disco

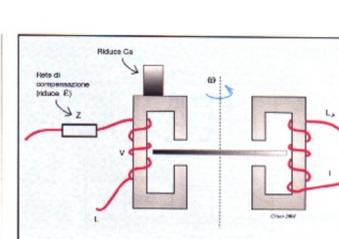


Fig. 11 - La rete di compensazione è inserita in serie alla bobina L. Per compensare la coppia di attrito è inserito un piccolo dente magnetico sul magnete impiegato per la L

il termine $K_1 + K_2 I^2 + K_3 V^2$ deve essere reso il più trascurabile possibile, cercando di ottenere un magnete permanente molto forte (si aumenta il $K_0 P$).

Grazie alla sporgenza posta nel magnete di sinistra, visibile in Fig. 11, è possibile ridurre il termine "Ca", mentre l'impedenza "Z" racchiude la rete di compensazione vista in precedenza.

La precisione raggiunta è del 4% circa, mentre negli strumenti più precisi è possibile arrivare anche sotto l'1%.

Per connettere il circuito alla rete elettrica e quindi al carico, basta realizzare il circuito di Fig. 12.

Per semplificare la grafica sono stati omessi i particolari relativi alla Ca, alla rete Z e al magnete responsabile della coppia antagonista. Nella realtà, però, essi sono presenti.

Il flusso di un magnete interagisce con la corrente che genera il flusso nell'altro magnete, quindi si ha una coppia motrice funzione delle correnti in gioco.

Parallelemente a questo, il secondo trasformatore TV monitorizza la tensione di rete e, attraverso un attenuatore VD, ne invia una parte al secondo adattatore di livello A. I due trasformatori TA e TV hanno un duplice scopo:

1. isolano attraverso un accoppiamento elettromagnetico il dispositivo dalla rete elettrica
2. riducono le grandezze considerate (corrente e tensione) di un determinato fattore di attenuazione (rapporto spire fra il primario e il secondario).

L'effetto di quest'ultima operazione consente di conteggiare grandi potenze di assorbimento, utilizzando dispositivi capaci di leggere piccole grandezze elettriche.

La lettura digitale è ridotta di un certo fattore "K" (stabilito dal progettista); che, al momento della visualizzazione a display, sarà reinserito numericamente.

I wattmetri digitali

I moderni wattmetri fanno riferimento a uno degli schemi di principio visibili nelle Fig. 13 e 14.

Vediamo il wattmetro di Fig. 13 (commentando la Fig. 13, la variante di Fig. 14 sarà di semplice comprensione).

Gli elementi che compongono i vari blocchi sono riportati in Tabella 1.

La linea elettrica a 220V 50Hz passa attraverso un primo trasformatore di corrente TA che, avendo come carico lo shunt CS, converte la corrente in tensione.

Questa tensione è inviata al primo adattatore di livello A, il quale garantisce in ingresso al moltiplicatore X che il livello di tensione non superi mai un certo range stabilito.

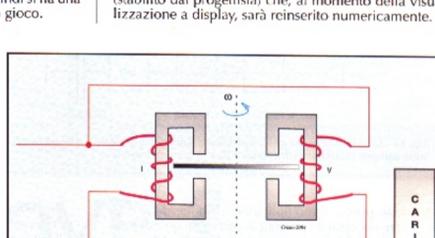


Fig. 12 - Connessione tipo delle due bobine di rilevamento Tensione/Corrente. Le linee di flusso magnetico generano una rotazione di equilibrio proporzionale all'assorbimento elettrico

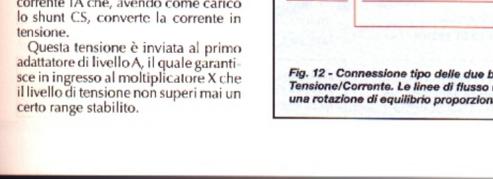


Fig. 13 - Una possibile configurazione di un wattmetro digitale è visibile in questa figura. Molti blocchi sono di uso frequente nelle moderne strumentazioni elettroniche

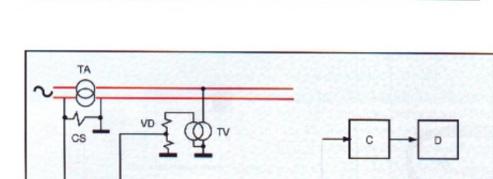


Fig. 14 - Ulteriore schema per un possibile wattmetro digitale. I dati generati sono sempre trasmessi attraverso il Bus di comunicazione

A questo punto, il moltiplicatore dispone delle due grandezze necessarie (tensione e corrente), quindi procede con la moltiplicazione matematica ($P = VI$).

Tutti gli stadi presenti da questo punto in avanti sono sempre trasmessi da questo punto in avanti

Nei mesi scorsi abbiamo già visto come funziona e a cosa serve il blocco V/f (convertitore tensione frequenza).

La frequenza generata può essere inviata per la visualizzazione a due dispositivi differenti:

1. Gruppo SM e MC
2. Gruppo C e D

Il primo dei due circuiti effettua una misurazione alla vecchia maniera: con gli impulsi di frequenza disponibili si comanda un motore passo-passo che effettua un movimento in avanti al sopraggiungere di ogni onda quadra. Lo stadio MC è composto da un ruotismo meccanico che sposta degli ingranaggi a ogni movimento del motore.

Dato che questi ingranaggi sono connessi a dei cilindretti sui quali sono trascritti dei numeri, la somma di più cilindretti compone il numero corrispondente agli scatti (ovvero ai kilo-Watt richiesti dal carico).

Il secondo gruppo C e D effettua una lettura più immediata e totalmente elettronica. Lo stadio C conta gli impulsi inviati dal V/f e permette allo stadio D (display) una visualizzazione numerica (previo reinserimento del fattore di attenuazione K accennato in precedenza).

Se, invece, il commutatore è posizionato sull'ingresso del circuito S&H, la conversione è effettuata da un altro tipo di convertitore: il convertitore ad approssimazioni successive.

Nulla di più semplice poteva presentarsi. Sappiamo bene come funziona questo convertitore e, in particolare, sappiamo cosa succede nel Sample & Hold (S&H).

Per una buona comprensione di quanto esposto, consiglio la rilettura delle trattazioni:

- "Convertitore V/f", Il Cinescopio, ottobre 2003, pag. 80
- "Convertitore ad approssimazioni successive", Il Cinescopio, dicembre 2003, pag. 63
- "Circuiti a campionamento "S&H"", Il Cinescopio, marzo 2004, pag. 59.

Bibliografia
Appunti sul corso di "Misure Elettroniche" prof. M. Rinaldi G. Pasini D.I.E. Università di Bologna

40
CIN Ottobre 2004