

MISURE di ENERGIA ELETTRICA

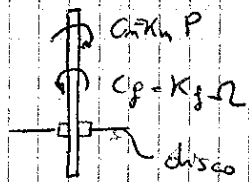
Il contatore analogico ad induzione ha una precisione del %, ha durata di circa 20 anni senza aver bisogno di manutenzione e hanno una vita di circa 40-50 anni.

Contatore monofase ad induzione

Energia elettrica \bar{E} :
$$\bar{E}(t) = \int_0^t v(\tau) i(\tau) d\tau$$

L'unità di misura usata universalmente è il kWh. $1 \text{ kWh} = 3600 \text{ kJ}$.

Principio di funzionamento



C_m : coppia motrice proporzionale alla potenza P

C_g : coppie frenante proporzionali alle velocità di rotazione Ω dell'elice.

$$C_m = C_g \Rightarrow K_m P = K_g \Omega \Rightarrow P = \frac{K_g}{K_m} \Omega$$

$$\Delta E = \int_{t_1}^{t_2} K_p \Omega dt = K \Delta n$$

$\frac{1}{K} = N$: numero giri per kWh

Si hanno 2 elettromagneti: 1 voltmetrico e l'altro ampereometrico

In più si ha un magnete permanente che crea C_g .

L'elettromagnete ampereometrico genera un flusso Φ_A proporzionale a I_1 ed in fase con esso. Il flusso attraversa il disco e genera una forza elettromotrice indotta: $\bar{E}_1 = -j\omega \Phi_A$

E_1 genera una corrente circolatoria sul disco

$$\bar{I}_1 = -\frac{j\omega \Phi_A}{Z_x}$$

L'elettromagnete voltmetrico genera un flusso Φ_B sfasato di 90° in ritardo.

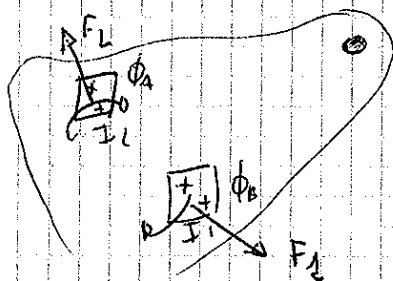
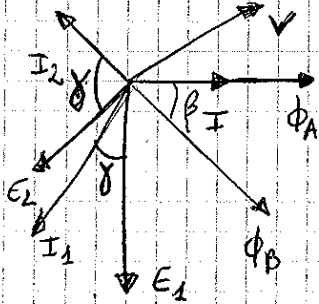
Si genera una fem $\bar{E}_2 = -j\omega \Phi_B$ ed una corrente

$$\bar{I}_2 = \frac{-j\omega \Phi_B}{R + jX}$$

Nel disco corrono 2 correnti che circolano nel disco. corrono anche i 2 flussi Φ_A e Φ_B ortogonali al piano del disco

Perché $\Phi_A \perp I_1$ e $\Phi_B \perp I_2$ si generano 2 forze F_1 e F_2 .

Se costruiamo il sistema in modo che F_2 sia opposto ad F_1 si ha che



$$C(t) \propto \phi_B \dot{I}_1(t) - \phi_A \dot{I}_2(t) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow C_m \propto \phi_B I_1 \cos(\phi_B I_1) - \phi_A I_2 \cos(\phi_A I_2)$$

$$\cos(90^\circ + \delta - \beta) \quad \cos(90^\circ + \delta + \beta)$$

$$I_1 = \frac{\omega \phi_A}{\sqrt{R^2 + X^2}} \quad ; \quad I_2 = \frac{\omega \phi_B}{\sqrt{R^2 + X^2}}$$

Si ottiene che:

$$C_m \propto \phi_A \phi_B \sin(\beta)$$

Affinché $C_m \neq 0$ ϕ_A deve essere sfasato rispetto a ϕ_B . Non funziona in continuo. Dip

ϕ_A e ϕ_B dipendono da

- ω
- X induttanza.
- R : questo dipende dalla temperatura.

$C_p \propto R$. La coppia resistente dipende da X e da R . Al variare della temperatura la variaz. di resistenza è quasi compensata perché C_p e C_m aumentano e diminuiscono insieme.

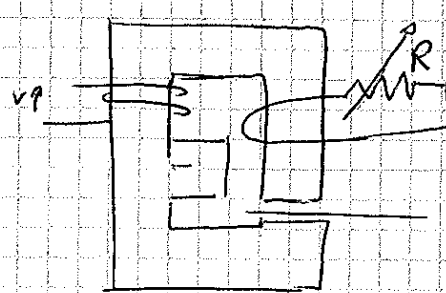
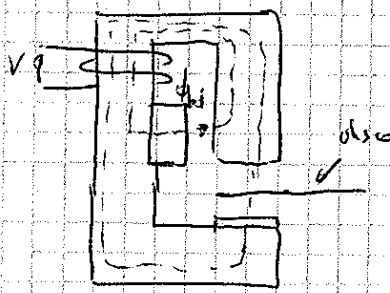
Cause di incertezza

Una delle ipotesi è che ϕ_A e I siano in fase tra loro. In realtà non è proprio così. Si hanno dei problemi di isteresi e correnti parassite. In realtà ϕ_e ed I sono sfasati di un piccolo angolo δ_a .

Abbiamo anche supposto che ϕ_B e V siano sfasati di 90° . In realtà esiste un δ_b di $90^\circ \pm \delta_b$.

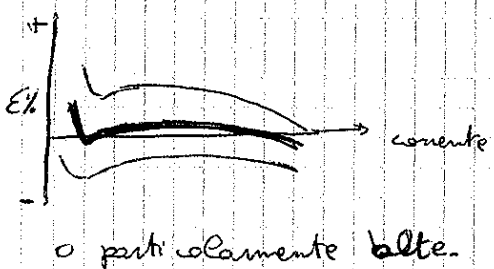
Abbiamo 2 angoli $\delta_a \approx 0$ e $\delta_b \approx 90^\circ$. A noi serve che $-\delta_a + \delta_b = 90^\circ$.

Aggiungiamo all'elettromagnete un pezzo di circuito che riesce un flusso secondario. Un'altra soluzione:



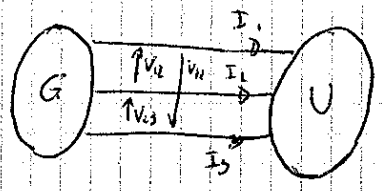
Si introduce una resistenza variabile con cui si riesce a portare a zero l'errore dovuto a isteresi e correnti parassite.

Abbiamo fatto anche l'ipotesi che esistano solo C_m e C_p . Esiste anche la coppia di attrito. Questo non può essere compensato ed è la principale componente d'incertezza.



Si può cambiare la polarizzazione della coppie di elettro. Di solito si fa in modo che sia mediamente nulla. Nel caso evidenziato si ha che il contatore sceglie molto e correnti basse.

Contatore tri fase



$$P = P_{mp} + P_{ip}$$

$$\Delta E = \int_{t_1}^{t_2} P dt = \int_{t_1}^{t_2} P_{mp} dt + \int_{t_1}^{t_2} P_{ip} dt$$

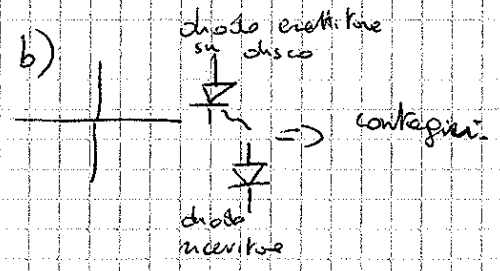
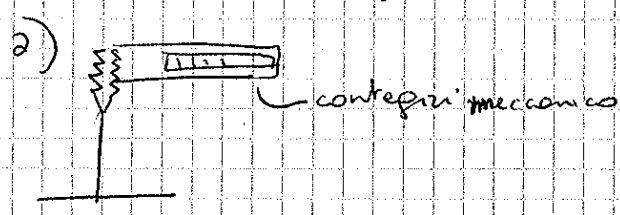
Mettiamo 2 contatori in inserzione cron.

Se abbiamo 4 fili: si fa l'inserzione cron (con 3 contatori)

Contatore tri fase ad induzione

Si duplica la struttura del contatore monofase, mettendo 2 dischi collettori sullo stesso albero. (Per 3 fase + N si usano 3 dischi).

Le sistemi di conteggio:

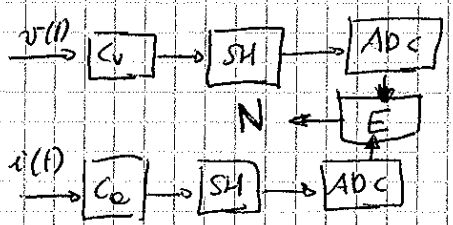


Contatori di tipo elettronico

Trasmettono le letture attraverso la linea. Piccolo problema: il segnale digitale deve essere comparabile con la potenza di linea. Ci sono degli istanti in cui la potenza è nulla (1/4 in un periodo). Normalmente quando I=0 vengono mandati dei segnali digitali. La conseguenza è che le frequenze con cui si può mandare un segnale è molto basse (Tuttavia non è un grosso problema). Il problema principale è del rumore (compromesso tra gen di segnali che deve dare un segnale suff. forte e il rumore. Normalmente si mettono dei filtri LC per ridurre il rumore).

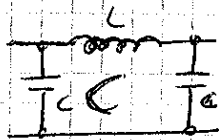
Non si sa bene come sono fatti i contatori numerici.

Supponiamo sia totalmente numerico



- C_v, C_i: trasformatori di tipo voltmetro (elettromeccanico)
- SH: Sample & Hold
- ADC: convertitori AD
- E: elaboratore numerico
- N: energia misurata

È possibile di misurare C_v e C_d in un trasformatore e dei filtri.



Il filtro deve avere la freq. di risonanza a 50 Hz.

Il convertitore AD può essere ad approssimazioni successive.

È possibile che si usi un solo ADC ~~con~~ con un commutatore (una volta campione tensione, una volta corrente). In questo caso si fa un errore di fase tra I e V . Non si ha più bisogno di un interruttore magnetotermico, ne è comandato da μP . Nei contattori ad indurre il magnetotermico era pochi un po' lunghi, oggi sono precisi.

2 problemi:

- taratura. In Italia non esiste un laboratorio di taratura. Vengono richiesti i tecnici del costruttore. La verifica di taratura quanto ve fatta? Non c'è un esponente tale da dire quando fare la verifica.

Watt metri: 3 portate: voltmetrica, ampereometrica e wattmetrica. Il wattmetro di tipo digitale è fatto con elettronica protetto il contatore elettronico.

Verifica del contatore d'energia

Norma CEI 13-13 (contattori in classe 2)

Sul contatore devono essere di carattere:

- I_b : corrente di base rispetto a cui vengono fatte le prove.
- I_{max} : portata ampereometrica del contatore
- $V_{riferimento}$: tensione di riferimento
- frequenza di riferimento: 50 Hz
- Costante del contatore: relazione tra energia e numero di giri del disco.

Si fanno 2 tipi di prove con $\cos \varphi = 1$ e 2 con $\cos \varphi = 0,5$.

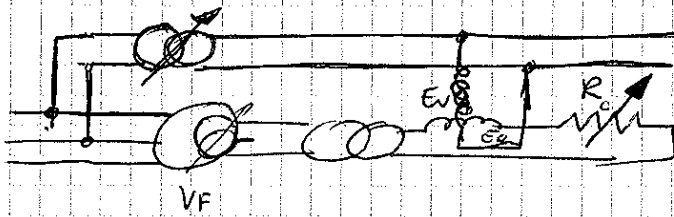
A parte di $\cos \varphi$ si fa una prova a base corrente ed una per correnti medie. (Correnti base $E_r = 2,5\%$; correnti medie $E_r = 2\%$)

Le prove sono fatte $V_{prova} = V_{rif.}$ e freq. per e quelle di riferim.

La taratura viene fatta per confronto con un contatore campione (precisione del $\%$). Il problema è la potenza messa in gioco durante la taratura.

Si usa il trucco del carico fittizio. Un contatore ha 6 morsetti e sono separati tra loro. Io posso, in termini di prova, dare una tensione di prova

è una corrente di prova. Collegiamo il circuito voltmetrico al generatore di tensione e il circuito amperometrico ad un generatore di corrente.



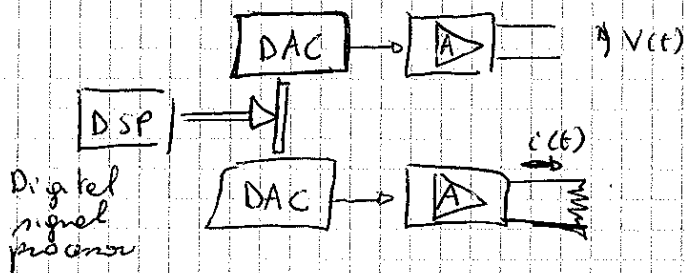
VF: generatore di tensione
 R: resistore di basso valore
 Ev: equipaggio voltmetrico
 Ea: equipaggio amperometrico.

Il generatore di corrente sfasa la tensione di ingresso con quella in uscita. Si può usare un motore a rotore avvolto con rotore bloccato.

Se non si ha un contatore campione si può usare un wattmetro campione.

$$E_c = \frac{P_w \cdot t_m}{3,6 \cdot 10^6} \quad (\text{La Potenza deve essere costante nell'intervallo di osservazione})$$

I trasformatori non sono critici. L'elemento critico è il motore a rotore bloccato. Oggi si usa una macchina elettronica che genera V_{prova} , I_{prova} ed è detta "sintetizzatore numerico".



Il sintetizzatore numerico consente un ottimo controllo delle forme d'onda, può essere retroazionato, e consente la generazione di forme d'onda non sinusoidali.

Anche i segnali di tensione e corrente non sono più sinusoidali (perfetti).
Problemi teorici se segnali non perfetti sinusoidali

$$p(t) = v(t) i(t)$$

$$P = \frac{1}{T} \int p(t) dt$$

Rimangono definite Q e S (o A). È stata aggiunta D (potenza pulsante o distruttiva) per far tenere i conti.

Gli strumenti sono collaudati per il sinusoidale. I trasformatori di misura (TA e TV) sono inadeguati.

Per il momento si continuano ad usare gli strumenti come sono stati costruiti fino ad ora sperando di sommare misure coerenti.