

PARTICOLARITA' DELLE PROVE SULLE MACCHINE ELETTRICHE

I risultati, oltre che dagli errori strumentali, sono influenzati dalla scarsa stabilità in tensione della rete di alimentazione. Infatti, se è ben vero che l'ente elettrico assicura una ottima stabilità della frequenza, non altrettanto può dirsi della tensione che inevitabilmente risente delle continue variazioni di carico dell'utenza prossima. Ne discende che le rilevazioni sono affette da imprecisioni significative, cosicché le curve che interpretano i dati sperimentali non raccordano i punti ma vi passano in mezzo: la interpolazione resta affidata alla sensibilità ed all'esperienza dell'operatore. Capita poi talvolta di trovare, nella elaborazione dei dati, risultati assolutamente discordanti dagli altri: sono da considerare frutto di errori grossolani e quindi da ignorare completamente.

PROVE A VUOTO ED IN CORTO CIRCUITO DI UN ALTERNATORE

Si eseguono, se possibile, a velocità nominale. Eventuali errori di numero di giri richiedono nella prova a vuoto una correzione: lineare per la tensione e con esponente circa 1.3 per le perdite nel ferro. Nella prova in corto i risultati si possono accettare a meno che lo scarto di velocità non sia molto consistente: infatti la corrente di corto circuito può vedersi come il rapporto tra una f.e.m. ed una reattanza entrambe proporzionali alla frequenza.

Rilevazioni effettuate: n° di giri, corrente di eccitazione, coppia trasmessa all'alternatore, tensione a vuoto (o corrente di corto circuito). Se ne deducono: caratteristica a vuoto, andamento delle perdite al variare della tensione a vuoto, separazione delle perdite nel ferro da quelle meccaniche; retta di corto circuito, andamento delle perdite al variare della corrente di corto circuito, separazione delle perdite nel rame da quelle meccaniche. Inoltre: impedenza sincrona in funzione della corrente di eccitazione, suo valore iniziale ed in corrispondenza alla tensione nominale; rendimento a pieno carico.

CORTO CIRCUITO E FALSO PARALLELO DELL'ALTERNATORE

Il cortocircuito dell'alternatore evolve su tre fasi: fase sub-transitoria, fase transitoria, fase permanente. Si ha inoltre una componente omopolare.

Nella fase permanente, che si instaura dopo l'estinzione del transitorio, la corrente è limitata dalla reattanza sincrona ed assume valori non molto diversi dal valore nominale.

La fase transitoria è caratterizzata da una corrente inizialmente legata alla reattanza transitoria X' che esprime il flusso disperso tra avvolgimento di statore ed avvolgimento di campo. La componente transitoria si estingue secondo una costante di tempo T' ben apprezzabile anche nel piccolo alternatore impiegato nelle prove. Anche la reattanza X' si determina con ragionevole precisione.

La fase sub-transitoria è di breve durata ma è la più pericolosa. All'inizio di questa fase la corrente è limitata dalla reattanza sub-transitoria X'' , correlabile al flusso disperso tra statore e gabbia smorzatrice (spesso in via cautelativa si assume la reattanza sub-transitoria uguale alla pura reattanza di dispersione di statore). Il fenomeno dura pochi cicli anche nei grandi alternatori; nella piccola macchina di prova se ne costata la presenza, ma una valutazione quantitativa è problematica.

Nei transitori di falso parallelo si hanno ancora aspetti simili a quelli di corto circuito, cui si sovrappongono però aspetti transitori di altra natura connessi alle pendolazioni di angolo di coppia che il falso parallelo induce nella macchina.

INSERZIONE IN RETE DI UN TRASFORMATORE A VUOTO

Ricordiamo che $e_1 = -N_1 d\Phi/dt$ e quindi che $\Phi = -\int e_1 dt + \Phi_0$. In condizioni operative normali la costante di integrazione Φ_0 è tale da assicurare valor medio nullo al flusso in ciascuna colonna di trasformatore, ma all'inserzione del trasformatore in rete ciò non è generalmente vero. Infatti il flusso del trasformatore è inizialmente nullo ed, a secondo del valore iniziale di e_1 , può accadere che assuma valori assai elevati nel transitorio iniziale: ad esempio se all'atto dell'inserzione la e_1 è nulla, dopo un semiperiodo il flusso raggiunge in modulo un valore doppio del valore massimo in condizioni operative normali. D'altronde, nella equazione di equilibrio elettrico dell'avvolgimento primario di un trasformatore a vuoto, generalmente si ammette $v_1=e_1$: il valore iniziale di e_1 è quindi del tutto casuale. La presenza di magnetismo residuo può nei casi più sfortunati aggravare la situazione. Con valori di flusso e quindi anche di induzione assai maggiori dei consueti, si arriva facilmente a condizioni di saturazione così estreme che la corrente di magnetizzazione, usualmente trascurabile, assume valori elevatissimi.

Le considerazioni sopra svolte sono solo indicative. È infatti vero che con elevata corrente a vuoto non vale più $v_1=e_1$. Nei trasformatori trifase, poi, il vincolo di sommatoria nulla delle correnti interferisce sulle considerazioni che si potrebbero fare fase per fase. Non c'è invece vincolo di sommatoria nulla dei flussi dati i vistosi flussi dispersi.

L'entità dell'inconveniente è inoltre legata ai dati di progettazione del circuito magnetico del trasformatore. Trasformatori già piuttosto saturi in condizioni normali sono più soggetti a sovracorrenti di inserzione di altri progettati per induzioni usuali relativamente basse

Il fenomeno resta comunque assai significativo: non è insolito ritrovare correnti di inserzione dieci volte la nominale. Non sono da temere effetti di surriscaldamento, semmai effetti meccanici da azioni elettrodinamiche. In ogni caso il progettista delle protezioni a monte deve tenerne conto.

IDENTIFICAZIONE DEGLI AVVOLGIMENTI DI UN TRASFORMATORE TRIFASE SUPPOSTI NON CONTRASSEGNA TI.

Si distinguono gli avvolgimenti di bassa e di alta tensione dalle resistenze, orientativamente proporzionali al quadrato delle tensioni. Se si applica una tensione monofase ad un avvolgimento scelto a caso, si stabilisce in primo luogo quali sono gli avvolgimenti sulle colonne laterali e centrali nonché la corrispondenza tra avvolgimento AT e avvolgimento BT di ogni colonna. Per identificare principi e fini si parte dal principio che la somma dei flussi nelle colonne è circa nulla e quindi anche la somma delle f.e.m. (sia primarie che secondarie) prese da principio a fine è quasi nulla qualsiasi sia il sistema di tensioni applicato: basta allora verificare che la tensione somma della tensione nell'avvolgimento alimentato e di un altro avvolgimento dello stesso lato (AT o BT) sia minore della tensione di alimentazione

per concludere che si è collegato un principio con una fine. Lo stesso sull'altro lato (BT o AT) a partire dalla tensione dell'avvolgimento sulla stessa colonna di quello alimentato.

TIPI DI SERVIZIO E SOVRACCARICABILITÀ

Le norme prevedono diversi tipi di servizio per le macchine elettriche:

- S_1 - servizio continuo, nel quale la macchina può raggiungere il regime termico con flusso termico in entrata (perdite) e flusso termico ceduto all'ambiente in equilibrio. Vale $\Delta\theta_0 = R_t P_p$ ove $\Delta\theta_0$ è il salto termico di regime, R_t è la resistenza termica e P_p la potenza perduta.
- S_2 - servizio di durata limitata, nel quale la macchina funziona per un certo intervallo di tempo partendo da temperatura ambiente, dopodiché ha tempo di raffreddarsi fino al successivo impiego. Poiché la macchina in queste condizioni non raggiunge l'equilibrio termico, può essere sottoposta a condizioni di carico (e quindi a perdite) più gravose rispetto al caso precedente. Un'idea orientativa in proposito ci si può fare applicando alla macchina la teoria del corpo omogeneo.
- da S_3 a S_8 - servizi ciclici, nei quali la macchina opera in varie situazioni di funzionamento secondo un ciclo prefissato. In via orientativa la teoria del corpo omogeneo porta a concludere che la temperatura della macchina risulta dalla somma: a) di una temperatura media eguale a quella che si avrebbe in servizio continuo a parità di valor medio delle perdite, b) di una oscillazione di temperatura la cui ampiezza è tanto più piccola quanto più la durata del ciclo è piccola rispetto alla costante di tempo termica della macchina.

Considerazioni dello stesso tipo portano a concludere che le macchine elettriche non piccolissime possono essere sovraccaricate in modo significativo per tempi contenuti senza che ciò comporti alcun danno: anche limitati superamenti della temperatura limite, purché episodici, possono essere accettati

PROVE DI RISCALDAMENTO E RAFFREDDAMENTO.

Se si semplifica il problema assimilando la macchina ad un corpo omogeneo la determinazione della costante di tempo termica si ottiene dalla curva di raffreddamento. Determinata infatti la pendenza iniziale $d\theta/dt$ della curva nell'intervallo di tempo immediatamente seguente alla soppressione delle perdite, la costante di tempo T_t si valuta dalla equazione $\Delta\theta/T_t = d\theta/dt$, ove $\Delta\theta$ è il salto termico tra macchina e ambiente all'inizio del raffreddamento.

Per farsi preliminarmente un'idea della costante di tempo termica, basta ricordare che $T_t = R_t C_t$. La capacità termica C_t si può valutare dalla massa della macchina. La resistenza termica R_t si può valutare orientativamente ricordando che vale $\Delta\theta_0 = R_t P_p$ ove $\Delta\theta_0$ è il salto termico di regime stimabile dalla classe di isolamento della macchina e P_p è la potenza perduta a pieno carico deducibile dal rendimento.

PROBLEMI DI AVVIAMENTO DEI MOTORI ASICRONI.

Il motore asincrono, specie nella sua esecuzione con gabbia in alluminio pressofusa, crea raramente problemi. Le uniche difficoltà possono essere all'avviamento per: a) corrente troppo elevata; b) coppia motrice troppo bassa.

a) La corrente elevata può costituire un grave inconveniente per la rete cui la macchina è connessa. Si possono provocare infatti cadute di tensione inaccettabili nelle linee e nei trasformatori a monte, anche in relazione al fattore di potenza che può risultare assai basso. D'altro canto, la corrente di avviamento elevata è una esigenza imposta dal fatto che, sia pur in via del tutto orientativa, si può assumere $I_{avv}/I_n \approx 2C_{Max}/C_n$: la necessità di una adeguata capacità di sovraccarico impone valori della corrente di spunto non inferiori a 4 – 5 volte la corrente nominale. Non ci sono invece problemi per la macchina a meno che non si debba avviare un elevato momento d'inerzia. Si dimostra infatti che nell'avvolgimento di rotore si dissipa durante l'avviamento una quantità di energia eguale a quella immagazzinata nelle masse rotanti; ed una quantità circa proporzionale secondo il rapporto R_s/R_r' si dissipa nell'avvolgimento di statore: se l'inerzia delle masse rotanti è elevata ne consegue una "iniezione" di energia termica pericolosa per la macchina.

b) La coppia di spunto bassa è un problema che riguarda in pratica solo macchine ad elevato rendimento: ne sono quindi esenti le macchine piccole e medio-piccole. Nel caso di macchine medio-grandi, il costruttore non ha difficoltà ad ovviare all'inconveniente, anche senza soluzioni complesse tipo rotore avvolto o doppia gabbia, semplicemente favorendo l'addensamento di corrente nella cava rotorica. La soluzione a rotore avvolto è pressoché necessaria nelle macchine molto grandi perché risolve contemporaneamente il problema della coppia bassa e della corrente elevata. Possono poi imporsi soluzioni tipo doppia gabbia nei casi in cui si richiede allo spunto una coppia molto elevata ovvero, talvolta, quando la coppia di spunto naturale della macchina viene ridotta dagli accorgimenti adottati per attenuare la corrente di spunto.

CIRCUITO EQUIVALENTE E DIAGRAMMA CIRCOLARE DELLA MACCHINA ASINCRONA

La macchina asincrona è usualmente schematizzata con il noto circuito equivalente di tipo trasformatorico ovvero con l'altrettanto noto diagramma circolare che ne è una interessante rappresentazione grafica. La identificazione del modello si fa attraverso le prove a vuoto (a tensione nominale) ed a rotore bloccato; quest'ultima si esegue a tensione ridotta con corrente nominale od anche minore della nominale se vi è pericolo di surriscaldamento. Va inoltre misurata la resistenza statorica R_s .

Dalla prova a vuoto discendono i parametri del ramo in parallelo del circuito equivalente. Dalla prova a rotore bloccato si determinano i parametri del ramo principale $R_{eq}' = R_s + R_r'$ e $X_{eq}' = X_{sd} + X_{rd}'$. Poichè la resistenza statorica è nota è possibile separare R_s da R_r' . Non è invece possibile separare le due reattanze di dispersione.

Potenze, curve di separazione, curva di saturazione.

Nella teoria della macchina asincrona si dà assai spesso una eccessiva enfasi al circuito equivalente trasformatorico ed al diagramma circolare che ne è l'espressione grafica. In realtà andrebbe messo in conto che R_R' e X_{Rd}' sono spesso in realtà grandezze non costanti ma funzioni a loro volta dello scorrimento. Basta infatti che la barra rotorica superi 1.3 cm di profondità se di alluminio o 1 cm se di rame per avere allo spunto significativi aumenti della resistenza equivalente rotorica e significative riduzioni della reattanza di dispersione equivalente rotorica.

Si tratta di un aspetto sostanzialmente utile perché aumenta la coppia di spunto ed il fattore di potenza della corrente di spunto e il costruttore certo non lo evita. Ciò però, assieme ad altri elementi, quali ad esempio le perdite nel ferro rotorico, è causa di inattendibilità della prova a rotore bloccato ai fini della identificazione del circuito equivalente. Esempi numerici illustrano il problema.

CENNO AI MOTORI A PASSO

Nella loro forma più schematica i motori a passo (step by step motors) sono macchine sincrone in cui l'avvolgimento indotto è percorso da corrente continua tale da provocare un campo risultante orientato secondo una direzione prefissata. Il sistema trova stabilità quando il campo di induttore, per lo più ottenuto con magneti permanenti, assume lo stesso orientamento; il sistema reagisce ad eventuali sollecitazioni tendenti a spostarlo da tale assetto con coppie che possono essere rilevanti. Ad un cambiamento del sistema di correnti continue di indotto consegue un movimento "a passo" e l'assestamento sul nuovo assetto di equilibrio. La variazione del sistema di correnti continue di indotto può essere ciclica con frequenza tale da rendere fluido e non più a scatti il moto e la struttura assume la funzione di motore sincro pilotato in frequenza.

In certe applicazioni l'induttore è sostituito da una struttura magnetica anisotropa priva di supporto magnetico. Le coppie che si ottengono in questi casi, connesse al fatto che il sistema tende ad assestarsi sul minimo di energia e cioè nella condizione in cui il flusso segue il percorso più lungo possibile nel ferro, sono minori rispetto al caso precedente.