

MACCHINE SINCRONE TRIFASE

1. PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO

Lo statore è uguale a quello della macchina asincrona trifase: è di materiale ferromagnetico laminato e nelle cave ricavate alla periferia del traferro è alloggiato un avvolgimento trifase percorso da correnti alternate. Il rotore è sede di un avvolgimento di eccitazione percorso da corrente continua i_e , detta *corrente di eccitazione*, che viene addotta tramite un dispositivo ad anelli e spazzole, da una sorgente esterna a tensione v_e . Esistono due diversi tipi di struttura di rotore: a poli lisci ed a poli salienti. La figura 1.1.a mostra il rotore di una macchina a poli lisci. L'avvolgimento di eccitazione (o di campo) è disposto nelle cave distribuite lungo la periferia del rotore. Il traferro ha spessore costante ed il circuito magnetico è isotropo. La figura 1.1.b mostra una macchina a poli salienti. L'avvolgimento di eccitazione è costituito da bobine avvolte sui corpi dei poli. Il traferro in questo caso ha spessore variabile ed il circuito magnetico è anisotropo; in particolare vengono evidenziati l'asse polare, in cui il traferro è minimo e l'asse interpolare, in cui il traferro è massimo.

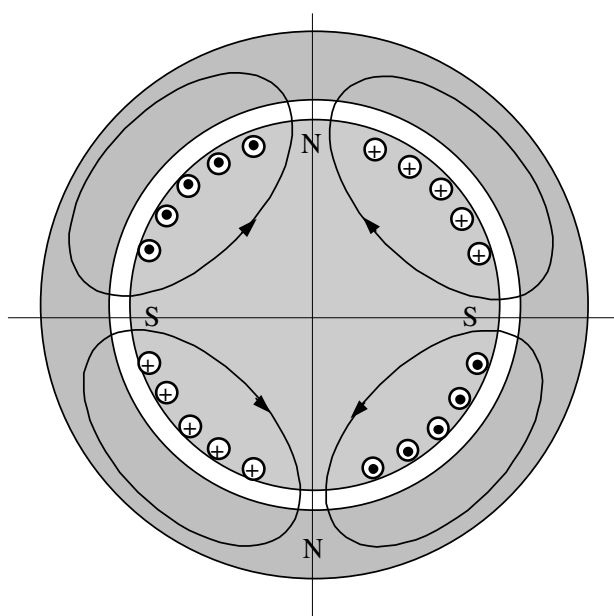


Figura 1.1.a
Macchina sincrona a poli lisci

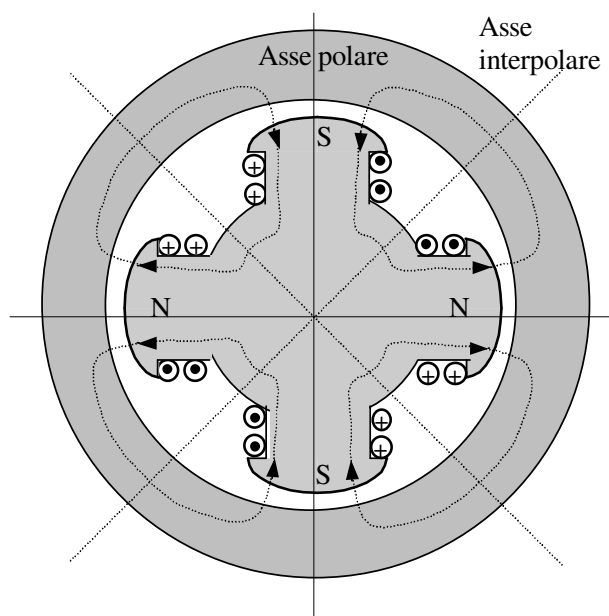


Figura 1.1.b
Macchina sincrona a poli salienti

L'avvolgimento di eccitazione, percorso dalla corrente continua i_e , crea una f.m.m. al traferro e quindi un campo magnetico al traferro. Si possono distinguere successivamente un "polo nord" (flusso "uscente" dal polo) e un "polo sud" (flusso "entrante" nel polo). La distanza fra l'asse di un polo nord e di un polo sud misurata al traferro è pari al passo polare τ la cui espressione è la seguente:

$$\tau = \frac{\pi R}{p} \quad (1.1)$$

dove R è il raggio interno dello statore e p il numero di coppie di poli dell'avvolgimento

L'andamento spaziale del campo di eccitazione lungo la periferia del traferro risulta sinusoidale, a meno di armoniche superiori che è possibile trascurare in prima approssimazione.

Nella macchina a poli lisci in particolare le matasse, tutte in serie tra loro, producono un campo al traferro con andamento a "gradini" ottenuto per somma dei campi di andamento "rettangolare" generati da ogni matassa. L'andamento, mostrato in Fig. 1.2.a è tanto più prossimo a quello sinusoidale quanto maggiore è il numero di cave con conduttori percorsi da i_e .

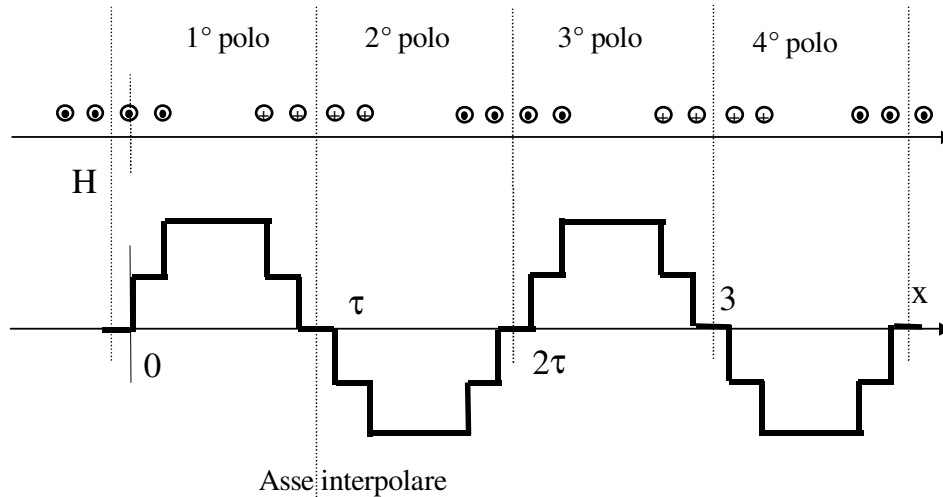


Fig. 1.2 Campo di rotore al traferro di una macchina sincrona a poli lisci

La figura 1.3 mostra parte del circuito magnetico di una macchina anisotropa, costituita da due poli e relativa corona d'indotto. Come si vede, il traferro lungo l'espansione polare non è costante passando dal valore minimo δ_0 , in mezzeria dell'espansione polare, a quello di valore circa doppio agli estremi dell'espansione polare. Al di fuori delle espansioni polari il traferro assume valori estremamente elevati. Con tale configurazione il campo al traferro assume andamento sinusoidale nello spazio, annullandosi per simmetria sull'asse interpolare (Fig. 1.4).

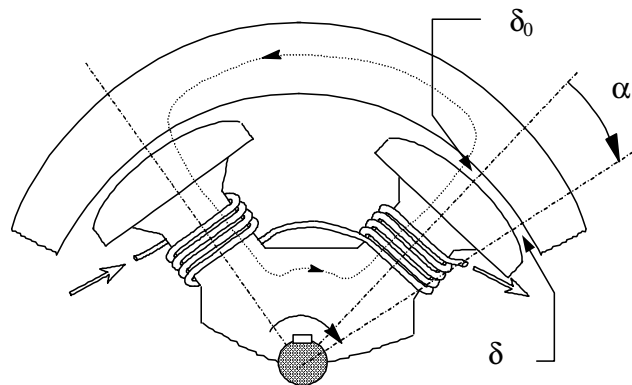


Figura 1.3

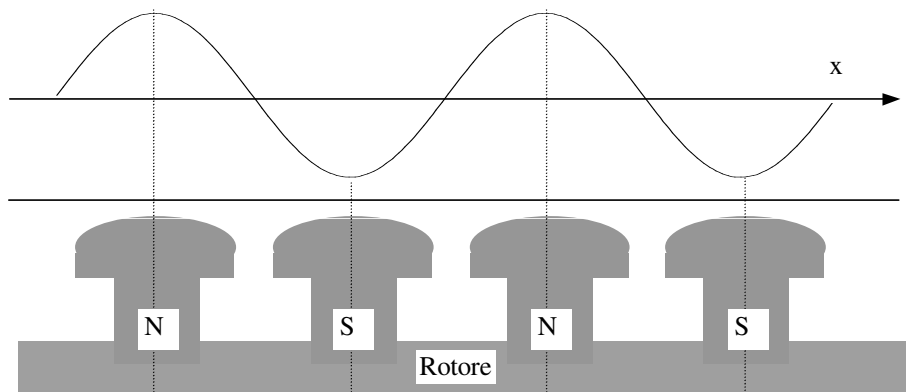


Fig. 1.4 Campo di rotore al traferro di una macchina sincrona a poli salienti

Funzionamento da generatore

L'impiego precipuo delle macchine sincrone è quello da generatore ("alternatore") nelle centrali di produzione dell'energia elettrica, ove convertono potenza meccanica fornita da un motore primo (es. una turbina) in potenza elettrica (ceduta dallo statore alla rete trifase). Il rotore produce un campo al traferro ad andamento spaziale sinusoidale. Quando si pone in rotazione il rotore alla velocità angolare costante ω_m , il campo di eccitazione, solidale col rotore, ruota al traferro alla velocità $\omega_r = \omega_m$. Il campo rotante così prodotto induce nell'avvolgimento trifase che è alloggiato nelle cave di statore un sistema trifase simmetrico di f.e.m., sinusoidali nel tempo con pulsazione ω data dalla seguente relazione:

$$\omega = p \omega_m \quad (1.2)$$

Se lo statore alimenta un carico equilibrato, come in Fig. 1.5, esso diventa sede di tre correnti equilibrate di pulsazione ω che producono un campo rotante statorico. Inoltre, se gli avvolgimenti di statore e rotore hanno uguale numero di coppie polari, il campo rotante statorico ruota con velocità angolare $\omega_s = \omega/p = \omega_m$. Il campo rotante statorico ruota alla stessa velocità del campo rotante rotorico, generando un unico campo risultante al traferro. Il campo risultante ruota pertanto alla stessa velocità del rotore, da cui il nome di macchina *sincrona*.

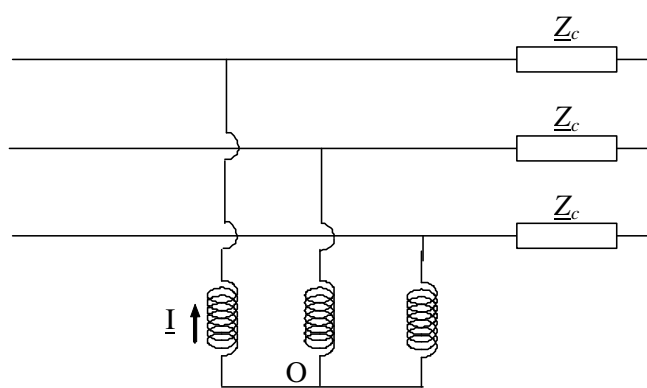


Figura 1.5

Si ricordi che nel caso della macchina asincrona, i campi rotorico e statorico ruotano alla stessa velocità generando un unico campo risultante al traferro, ma tale velocità differisce da quella di rotazione del rotore (scorrimento).

Si noti che il campo risultante al traferro di una macchina sincrona, essendo sincrono con il rotore, non induce in esso alcuna f.e.m.. Il rotore non è pertanto sede di correnti parassite, e può essere realizzato come blocco compatto, non laminato, di materiale ferromagnetico.

Ai due campi rotanti rotorico e statorico è associata una coppia elettromagnetica che si esercita tra rotore e statore; nel funzionamento da generatore tale coppia è resistente. La potenza meccanica fornita all'albero della macchina per vincere la resistenza della coppia elettromagnetica, viene pertanto trasformata, a meno delle perdite interne della macchina, in potenza elettrica ceduta al carico collegato allo statore.

Regolazione della frequenza

Come evidente dalla equazione (1.2), la regolazione della frequenza delle tensioni concatenate della rete alimentata dall'alternatore è strettamente legata alla regolazione della velocità di rotazione del rotore:

$f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{p \omega_m}{2\pi}$, ed essendo $\omega_m = \frac{2\pi n}{60}$ si ottiene $n = \frac{60f}{p}$. La frequenza industriale italiana,

ovvero la frequenza normalizzata della rete di trasmissione è pari a 50 Hz. Per ottenerla, gli alternatori di centrale devono pertanto ruotare alla velocità $n = 1500$ giri/min se dotati due coppie

polari, o alla velocità $n = 3000$ giri/min se dotati di una sola coppia di poli (in tal caso prendono il nome di *turboalternatori*).

Regolazione della tensione

La regolazione della tensione concatenata di linea può essere ottenuta regolando la corrente di eccitazione i_e del rotore. Se si considera il funzionamento a vuoto dell'alternatore, che si ha quando ad esso non sono collegati carichi elettrici, si ha: $V = \sqrt{3} E$, dove $E = \omega K_a N \Phi$. Il flusso Φ dipende a sua volta linearmente dalla corrente di eccitazione che lo genera, ovvero da i_e . La regolazione di V potrebbe anche avvenire agendo sulla velocità angolare del rotore ω_m , e quindi su ω , ma tale regolazione non consentirebbe di fissare rigorosamente la frequenza al valore normalizzato.

Funzionamento da motore

La macchina sincrona può anche essere utilizzata da motore, assorbendo potenza elettrica dalla rete e trasformandola, a meno delle perdite, in potenza meccanica trasferita all'albero. La coppia elettromagnetica in questo tipo di funzionamento è motrice, e mantiene in moto sia il rotore della macchina sia il carico meccanico ad essa collegato. L'utilizzo di questo tipo di macchina ha recentemente trovato vasta applicazione con una versione semplificata del rotore, dotato di magneti permanenti per creare il campo rotorico. Tale soluzione risulta molto vantaggiosa in quanto evita l'utilizzo di contatti striscianti e spazzole necessarie per l'adduzione di corrente ad un avvolgimento rotante. Affinché si sviluppi una coppia motrice nella macchina, occorre il sincronismo tra campo rotante generato dallo statore e di rotore, il che si verifica solo quando il motore è già avviato e ruota alla velocità $\omega_m = \omega/p$. Il motore sincrono non può pertanto autoavviarsi, e deve essere "lanciato" con qualche altro sistema. La soluzione tecnica più semplice consiste nel dotare il rotore della macchina di una gabbia costituita da sbarre disposte in cave praticate nelle espansioni polari e chiuse in cortocircuito da anelli frontali. L'alimentazione del rotore viene staccata e lo statore collegato alla linea trifase. Il motore si avvia come un normale motore asincrono a gabbia, fino ad una velocità prossima a quella di sincronismo con il campo rotante statorico. A questo punto si eccita il rotore, che viene accelerato dal campo statorico fino a raggiungere il sincronismo. Il vantaggio dei motori sincroni è la possibilità di mantenere rigorosamente costante la velocità, dato che essa dipende esclusivamente dalla frequenza di alimentazione dello statore. Una tipica applicazione nel campo delle grandi potenze si ha nell'industria della carta, dove il perfetto sincronismo di diversi motori consente di evitare la rottura dei fogli.

2. MACCHINA A POLI LISCI

EQUAZIONI INTERNE

Si consideri una macchina sincrona a poli lisci (**macchina isotropa**) che funzioni con una velocità di rotazione costante ω_m e si suppongano valide le ipotesi di campo illustrate nel capitolo relativo al campo rotante. In particolare quindi si suppone che la macchina funzioni in assenza di saturazione del materiale ferromagnetico (**macchina non satura**). L'avvolgimento di eccitazione, alimentato con la tensione costante v_e è percorso dalla corrente costante i_e . Seguendo un procedimento già illustrato per il trasformatore e la macchina asincrona, l'applicazione della legge della induzione elettromagnetica all'avvolgimento di eccitazione porta a scrivere la seguente equazione dove R_e è la resistenza elettrica dell'avvolgimento.

$$v_e = R_e i_e \quad (2.1)$$

L'avvolgimento di statore è percorso da una terna equilibrata di correnti con pulsazione ω , il cui valore è legato alla velocità di rotazione del rotore dalla relazione (1.2). Il campo magnetico principale (quello associato alle linee di campo che attraversano il traferro e si concatenano quindi sia con l'avvolgimento di rotore che con quello di statore) varia sinusoidalmente lungo la periferia del traferro e ruota alla stessa velocità del rotore. Il flusso Φ della induzione magnetica che si concatena con la spira centrale della prima fase di statore varia quindi nel tempo con legge sinusoidale con pulsazione ω . Con riferimento alla figura 2.1 per i versi positivi delle grandezze, applicando la legge della induzione elettromagnetica ad una fase di statore, e trasformando secondo Steinmetz la relazione trovata (in cui compaiono solo grandezze sinusoidali isofrequenziali), si ottiene la seguente equazione per i fasori rappresentativi di tali grandezze.

$$\underline{V} = -(R + j\omega L_d)\underline{I} - j\omega N k_a \underline{\Phi} \quad (2.2)$$

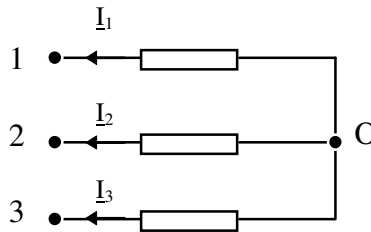


Figura 2.1 - Avvolgimento di statore.

Nella (2.2) R è la resistenza elettrica della fase statorica L_d il coefficiente di autoinduzione di dispersione della fase stessa (associato alle linee di campo che si concatenano solo con la fase considerata, non attraversando il traferro, bensì richiudendosi nel traferro stesso), N il numero totale di conduttori attivi per polo, k_a il fattore di avvolgimento, $\underline{V}$ la tensione ai capi della fase (con riferimento alla figura 2.1, tensione del terminale accessibile rispetto al centro O), $\underline{I}$ la corrente nella fase.

Se una macchina si trova lontana dalla saturazione del circuito magnetico, in una regione in cui la caratteristica magnetica del materiale ferromagnetico è pressoché lineare, si può applicare la sovrapposizione degli effetti e scomporre il flusso principale al traferro in una componente generata dalla corrente di eccitazione che percorre l'avvolgimento rotorico ed una componente generata dalle correnti che percorrono l'avvolgimento statorico (*reazione d'armatura*). In tali condizioni la reazione di armatura è descrivibile semplicemente mediante un coefficiente di autoinduzione fittizio L_r della fase di statore considerata, cui si associa la *reattanza di reazione* X_r :

$$\begin{aligned} \underline{\Phi} &= \underline{\Phi}_a + \underline{\Phi}_e \\ \underline{\Phi}_a &= j \omega L_r \underline{I} = j X_r \underline{I} \end{aligned} \quad (2.3)$$

Vengono inoltre definite la *reattanza sincrona* X_s e la *impedenza sincrona* $\underline{Z}_s$ della macchina sincrona non satura, tramite le seguenti relazioni:

$$\begin{aligned} X_s &= \omega L_d + X_r \\ \underline{Z}_s &= R + jX_s \end{aligned} \quad (2.4)$$

Con le posizioni fatte l'equazione (2.2) diviene:

$$\begin{aligned}\underline{V} &= -(R + j\omega L_d)\underline{I} - j\omega N k_a \underline{\Phi} = -(R + j\omega L_d)\underline{I} - j\omega N k_a (\underline{\Phi}_a + \underline{\Phi}_e) = \\ &= -(R + j(\omega L_d + X_r))\underline{I} - j\omega N k_a \underline{\Phi}_e = -(R + jX_s)\underline{I} - j\omega N k_a \underline{\Phi}_e \\ &= -\underline{Z}_s \underline{I} - j\omega N k_a \underline{\Phi}_e = -\underline{Z}_s \underline{I} + \underline{E}_0\end{aligned}\quad (2.5)$$

Il campo magnetico di eccitazione ruota alla velocità del rotore, come quello di statore. In ogni punto del traferro esso è una funzione sinusoidale del tempo con pulsazione ω ; sia β l'angolo di fase di tale grandezza. Per il flusso di eccitazione vale la legge di Hopkinson:

$$N_e k_{ae} i_e e^{j\beta} = \underline{R} \underline{\Phi}_e \quad (2.6)$$

dove N_e rappresenta il numero di spire dell'avvolgimento di eccitazione, k_{ae} un fattore di avvolgimento e $\underline{R}$ la riluttanza del circuito magnetico.

Le equazioni interne della macchina sincrona non satura sono quindi le (2.1), (2.5) e (2.6), a cui va aggiunta la (1.2) che fornisce la relazione tra pulsazione di statore e velocità di rotazione del rotore. E' da notare che l'impedenza sincrona della macchina può essere misurata sperimentalmente mediante una prova a vuoto ed una in corto circuito.

La prova a vuoto di una macchina sincrona consiste nel fare ruotare la macchina alla velocità di regime, lasciando i morsetti di indotto (statore) aperti. Viene quindi misurata la tensione concatenata di statore in corrispondenza a diversi valori della corrente di eccitazione. Viene quindi tracciata **la curva di magnetizzazione (caratteristica a vuoto)** (vedi figura 2.2.a) che fornisce la tensione ai morsetti di statore in funzione della corrente di eccitazione. A causa della saturazione del materiale ferromagnetico la curva non è rettilinea.

La prova in cortocircuito di una macchina sincrona consiste nel fare ruotare la macchina alla velocità di regime, con i morsetti di indotto in cortocircuito. Viene quindi misurata la corrente in ciascuna fase di statore in corrispondenza a diversi valori della corrente di eccitazione. Viene quindi tracciata **la caratteristica di cortocircuito** (vedi figura 2.2.b).

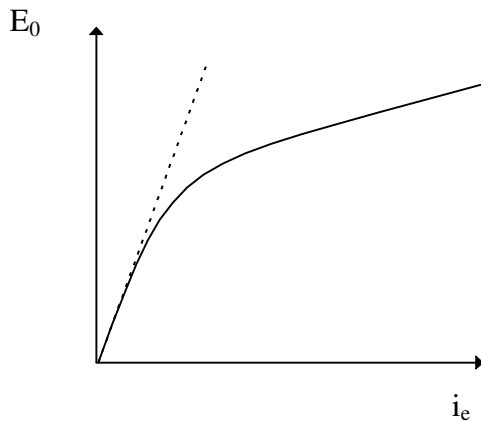


Figura 2.2.a
Caratteristica a vuoto

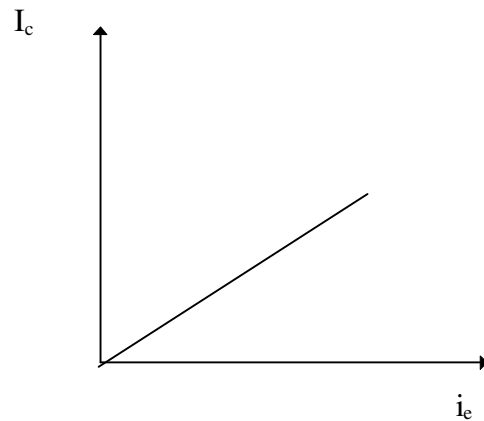


Figura 2.2.b
Caratteristica di cortocircuito

Dalla conoscenza della caratteristica a vuoto (il tratto lineare) ed in cortocircuito si ottiene l'impedenza sincrona, mediante la seguente relazione:

$$\underline{Z}_s = \frac{\underline{E}_0}{\underline{I}_c} \quad (2.7)$$

EQUAZIONI ESTERNE

Nelle equazioni interne compaiono le seguenti 11 grandezze reali incognite, corrispondenti a 3 grandezze complesse e 4 grandezze reali: v_e , i_e , $\underline{V}$, $\underline{I}$, β , $\underline{\Phi}_e$, ω , ω_m . Le equazioni interne (1.2), (2.1), reali, e (2.5) e (2.6), complesse, corrispondono a sei equazioni reali. Per chiudere il sistema è pertanto necessario definire altre quattro equazioni reali, posto che la fase di una delle variabili complesse $\underline{V}$ o $\underline{I}$ è arbitraria e può essere posta uguale a zero. Per individuare univocamente il funzionamento della macchina sincrona è necessario considerare la sua connessione con l'esterno. Ad esempio, se la macchina viene portata in rotazione ad una velocità ω_{m0} da un motore primo, l'avvolgimento di eccitazione è alimentato con la tensione v_{e0} e lo statore è chiuso su di una stella di impedenze, ciascuna di valore $\underline{Z}_L$, le equazioni di collegamento con l'esterno sono le seguenti:

$$\begin{aligned}\omega_m &= \omega_{m0} \\ v_e &= v_{e0} \\ \underline{V} &= \underline{Z}_L \underline{I}\end{aligned}\tag{2.8}$$

Le equazioni esterne (2.8), unitamente alle equazioni interne, costituiscono un sistema di 10 equazioni in 10 incognite (avendo ad esempio posto nulla la fase della corrente $\underline{I}$) la cui soluzione individua il regime di funzionamento della macchina.

CIRCUITO EQUIVALENTE

La figura (2.3) mostra il circuito equivalente di ciascuna fase di statore. La legge di Kirchhoff delle tensioni per tale circuito risulta infatti coincidente con l'equazione interna (2.5). Nella figura 2.3 sono state indicate sia la reattanza di reazione che la reattanza di dispersione. La reattanza sincrona è data dalla loro serie. Si noti che la f.e.m. $\underline{E}_0$ è regolabile a piacere variando la corrente di eccitazione oppure variando la velocità angolare del rotore. Si noti inoltre che variando la velocità di rotazione del rotore viene modificato anche il valore della pulsazione delle grandezze di statore e quindi anche il valore della reattanza sincrona e della reattanza di reazione.

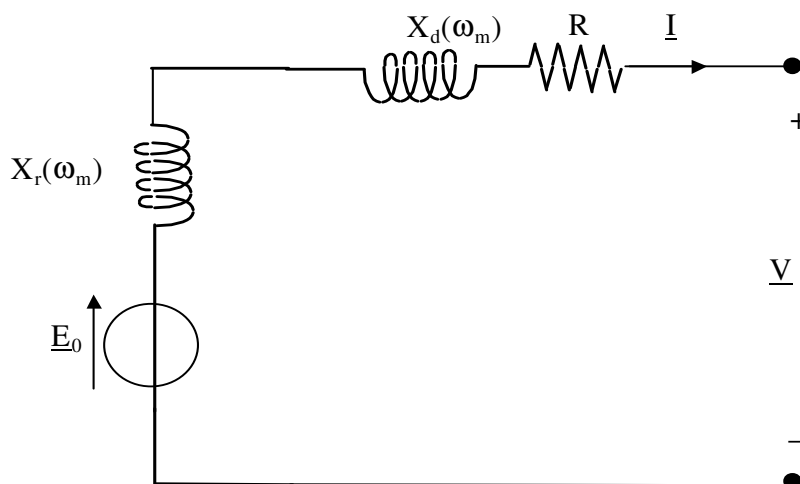


Figura 2.3 - Circuito equivalente per fase della macchina sincrona a poli lisci non satura

3. PARALLELO CON UNA RETE TRIFASE DI POTENZA INFINITA

Si supponga di collegare l'avvolgimento statorico di una macchina sincrona ad una rete trifase, già alimentata da altri alternatori. Si supponga inoltre che la potenza di questi ultimi sia tale da poter considerare che il valore efficace e la frequenza della terna di tensioni concatenate della rete siano indipendenti dalle correnti assorbite dalla macchina sincrona che viene collegata (rete di potenza infinita). Per potere effettuare correttamente il parallelo con la rete di potenza infinita è necessario portare prima la macchina sincrona in un regime di funzionamento, a vuoto, in cui le tensioni concatenate presenti ai morsetti della macchina coincidano in valore efficace, frequenza e fase con quelle della rete. Se così non fosse infatti, alla chiusura dell'interruttore di collegamento della macchina con la rete si svilupperebbero nello statore della macchina sincrona delle correnti di valore elevato che potrebbero provocare un grave danneggiamento della macchina stessa.

Con riferimento alla figura 3.1, la sequenza delle operazioni da eseguire per effettuare il parallelo è la seguente:

1. La macchina viene portata in rotazione, a vuoto, alla velocità di sincronismo imposta dalla frequenza della rete ($n = 60 f / p$) dal motore primo M che in questo caso deve fornire solo la coppia necessaria a vincere gli attriti interni della macchina, essendo nulle la corrente di eccitazione e quella di armatura e pertanto anche la coppia elettromagnetica.
2. Viene alimentato l'avvolgimento di eccitazione con una tensione tale da ottenere ai morsetti della macchina un sistema di tensioni concatenate avente una frequenza ed un valore efficace coincidenti con quelli della rete e misurati mediante i voltmetri V e V' ed i frequenzimetri f ed f '. La macchina opera ancora a vuoto e quindi ancora il motore M deve fornire solo la coppia necessaria per vincere gli attriti.
3. Si agisce sul motore M, con una regolazione fine della velocità, per portare tensioni concatenate di rete e di macchina a coincidere in frequenza e in fase. A tale scopo si utilizzano tre lampade (che assorbono una corrente trascurabile, per cui la macchina si può a tutti gli effetti considerare funzionante a vuoto) che si spengono solo quando le due terne di tensioni concatenate coincidono in valore efficace e fase. Quando le tre lampade sono spente (in realtà le tre lampade si illumineranno e si spegneranno con una frequenza tanto più bassa quanto più la frequenza della macchina è prossima a quella della rete), viene chiuso l'interruttore T ed il parallelo è concluso.

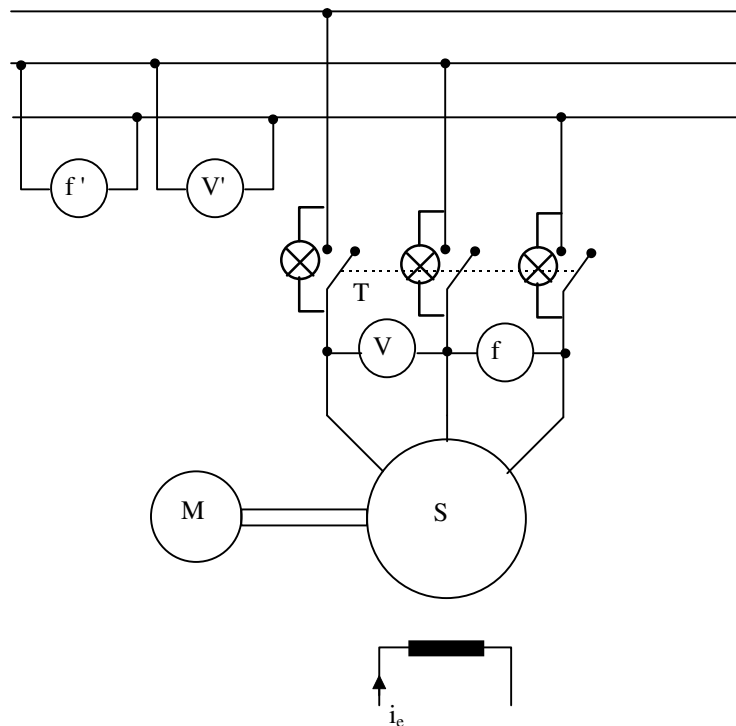


Figura 3.1 - Parallelo di una macchina sincrona (S) con una rete di potenza infinita

Al termine delle operazioni di parallelo, la macchina sincrona è sì collegata alla rete, ma funziona ancora a vuoto, in quanto le f.e.m. indotte nelle fasi di statore eguagliano le tensioni concatenate e quindi le correnti nelle fasi di statore risultano nulle. A partire da questa condizione di funzionamento è possibile portare la macchina sincrona a funzionare come generatore, erogando potenza sia attiva che reattiva alla rete, oppure come motore, assorbendo potenza elettrica dalla rete, oppure come compensatore sincrono, erogando solo potenza reattiva alla rete.

Funzionamento da generatore

Se, tramite il motore M, viene fornita potenza meccanica al rotore ha inizio un transitorio in cui il rotore tende ad accelerare e le f.e.m. indotte nelle fasi di statore si sfasano rispetto alle tensioni delle rete. Circola corrente nell'avvolgimento di statore e si crea una coppia elettromagnetica resistente. La condizione di regime viene raggiunta quando la coppia elettromagnetica resistente eguaglia la coppia meccanica fornita al rotore. La potenza meccanica assorbita all'albero dalla macchina viene trasformata in potenza elettrica ed erogata alla rete. E' quindi possibile variare la potenza elettrica reattiva erogata alla rete, semplicemente variando la corrente di eccitazione della macchina (vedi nel seguito il funzionamento da compensatore sincrono).

Funzionamento da motore

Se il motore primo M viene sostituito col carico meccanico che si intende trascinare, al rotore della macchina viene applicata una coppia resistente; ha inizio un transitorio in cui il rotore tende a rallentare e le f.e.m. indotte nelle fasi di statore si sfasano rispetto alle tensioni delle rete. Circola corrente nell'avvolgimento di statore e si crea una coppia elettromagnetica motrice. La condizione di regime viene raggiunta quando la coppia elettromagnetica motrice eguaglia la coppia meccanica resistente applicata al rotore. La potenza elettrica assorbita dalla rete viene trasformata in potenza meccanica erogata all'albero della macchina. Il principale ostacolo nella applicazione del motore

sincrono consiste nel valore nullo della coppia di spunto e quindi nella necessità di avere comunque a disposizione un motore di lancio. L'alternativa al motore di lancio esterno consiste nel sistema di autoavviamento. Quest'ultimo consiste in una speciale gabbia di scoiattolo che si dispone sul rotore entro cave ricavate sulle espansioni polari. Il motore si avvia quindi, una volta chiuso l'interruttore di rete, come un motore asincrono (l'avvolgimento di eccitazione è chiuso in corto circuito su una resistenza esterna). Giunti in prossimità della velocità di sincronismo, si eccita il rotore, che viene accelerato da parte dell'avvolgimento statorico fino a raggiungere il sincronismo.

Funzionamento da compensatore sincrono

Se, agendo sulla tensione di alimentazione dell'avvolgimento di eccitazione, si aumenta la corrente di eccitazione della macchina, ha inizio un transitorio in cui le f.e.m. indotte nelle fasi di statore, pur restando in fase con le tensioni imposte dalla rete di alimentazione, le superano in valore efficace. Facendo per semplicità riferimento ad una macchina con poli lisci e trascurando la resistenza statorica, si genera una corrente di armatura $\underline{I}$ che risulta in quadratura ritardo rispetto alla f.e.m. $\underline{E}_0$ ed alla tensione $\underline{V}$ (vedi figura 3.3.a). La potenza elettrica erogata ha solo una potenza reattiva puramente induttiva; tutto avviene come se la macchina sincrona fosse un condensatore (**condensatore rotante**) la cui capacità può essere variata a piacere semplicemente variando la corrente di eccitazione. Viceversa, se si diminuisce la corrente di eccitazione, la f.e.m. $\underline{E}_0$ risulta minore della tensione $\underline{V}$ e la corrente di armatura $\underline{I}$ risulta in quadratura anticipo rispetto ad $\underline{E}_0$ e $\underline{V}$ (vedi figura 3.3.b). La potenza elettrica erogata ha solo una potenza reattiva puramente capacitiva; tutto avviene come se la macchina sincrona fosse un induttore (**induttore rotante**) la cui induttanza può essere variata a piacere semplicemente variando la corrente di eccitazione.

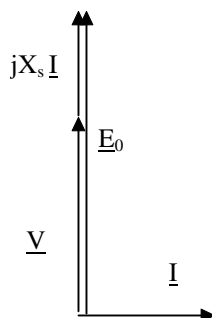


Figura 3.3.a

Diagramma fasoriale del condensatore sincrono

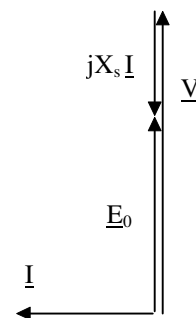


Figura 3.3.b

Diagramma fasoriale dell'induttore sincrono