



Zeno Martini (admin)

REATTANZE DI UN ALTERNATORE

10 April 2004

Domanda:

Gradirei sapere cosa significano le varie reattanze e le varie costanti di tempo inserite nei dati relativi ad un turboalternatore e perché sono così significative da essere inserite nella scheda tecnica della macchina.

Risponde admin

Esaminare in dettaglio ognuno dei parametri indicati non è impresa che si possa esaurire nello spazio di una risposta. Mi limiterò a descrivere in quali tipi di problemi essi intervengono.

Di una macchina sincrona, come di ogni macchina elettrica del resto, occorre conoscere il comportamento sia a regime (problemi di stabilità statica) sia in transitorio, quando il carico varia bruscamente (problemi di stabilità dinamica); in particolare, nel caso dei generatori, quando si effettua un cortocircuito trifase. Per il primo tipo di problemi il parametro determinante è la **reattanza sincrona**. Per il secondo la **reattanza transitoria** con le relative costanti di tempo, insieme alla **reattanza subtransitoria** che è fondamentale per conoscere il valore massimo della corrente negli istanti iniziali del cortocircuito, da cui dipendono, tra l'altro, gli sforzi sugli avvolgimenti, sui collegamenti generatore-trasformatore, sulle fondazioni dell'alternatore. La conoscenza dell'andamento della corrente di cortocircuito è d'altra parte fondamentale per il corretto coordinamento delle protezioni nella rete alimentata.

L'andamento effettivo della corrente a partire dal momento in cui si verifica il cortocircuito può essere rilevato con un oscillogramma. Prima di assumere il suo valore di regime, essa raggiunge valori più elevati che si smorzano progressivamente. Nulla di particolarmente strano. In un circuito ohmico-induttivo la corrente è la somma della componente alternata a regime, di valore E/Z , se E è il valore della tensione di fase e Z l'impedenza, e di una componente unidirezionale smorzata secondo la costante di tempo L/R . Il problema è che nella macchina sincrona l'impedenza, che praticamente è costituita dalla sola reattanza, nettamente prevalente sulla resistenza, non ha un valore definito, ma varia istante per istante, perché il flusso magnetico, da cui essa dipende, non assume immediatamente la configurazione di regime. Come ogni sistema fisico del resto, quando esso deve modificare la sua situazione energetica. Ad ogni configurazione del

flusso corrisponde un diverso valore dell'induttanza, fondamentalmente per il diverso percorso delle linee magnetiche, ma anche per la modifica della permeabilità magnetica del ferro che dipende dall'induzione, quindi dal flusso (saturazione magnetica). Inoltre non c'è un solo circuito ed una sola induttanza, ma più induttanze (dell'avvolgimento d'armatura, dell'avvolgimento di campo, dei circuiti smorzatori), che sono, tanto per semplificare il problema, mutuamente accoppiati. Ognuno di questi circuiti ha anche una propria resistenza e nel circuito magnetico in ferro si hanno perdite per isteresi e correnti parassite di cui si tiene conto con una resistenza. Non è più definibile un'unica costante di tempo ma l'evoluzione globale, casomai, può essere vista come una successioni di evoluzioni, ognuna caratterizzata da una diversa costante di tempo che, insieme, danno luogo ad una è costante di tempo globale, se così si può dire. La situazione è complessa com'è intuibile, ma la natura non si pone l'obiettivo di semplificarci le cose. Qualcuno di noi però è molto tenace e non si arrende facilmente: la teoria completa della macchina sincrona è stata elaborata, insieme ad altri, da Park che ha stabilito le relazioni matematiche che definiscono il modello della macchina sincrona. I parametri caratteristici del modello possono essere individuati in modo pratico con l'analisi dell'oscillogramma della corrente di cortocircuito. Essa si può suddividere in 4 componenti da cui è possibile dedurre il significato di reattanze e costanti di tempo.

1. una corrente sinusoidale **permanente** di valore efficace I_{cp} . Il rapporto tra la tensione di fase E e questa componente è la **reattanza sincrona diretta**: $X_s = E/I_{cp}$
2. una corrente sinusoidale **transitoria** I_{ct} la cui ampiezza decresce nel tempo con legge esponenziale e costante di tempo t_D , dell'ordine di qualche secondo. Il rapporto tra la tensione di fase e la somma $I_{cp} + I_{ct}$ è la **reattanza transitoria diretta**: $X_{tD} = E/(I_{cp} + I_{ct})$
3. una corrente sinusoidale **subtransitoria** I_{st} la cui ampiezza decresce nel tempo con legge esponenziale e costante di tempo t_s , dell'ordine dei centesimi di secondo. Il rapporto tra la tensione di fase e la somma $I_{cp} + I_{ct} + I_{st}$ è la reattanza **subtransitoria diretta**: $X_{sbD} = E/(I_{cp} + I_{ct} + I_{st})$
4. una corrente **unidirezionale** che si smorza con costante di tempo t_D dell'ordine di alcuni secondi. Il valore iniziale di questa componente dipende dall'angolo δ formato tra l'asse magnetico di una fase di rotore e quello di rotore nell'istante iniziale del cortocircuito: $I_0 = (I_{cp} + I_{ct} + I_{st}) \cdot \cos \delta$.

Le reattanze sono generalmente espresse in p.u. (per unit). Sono cioè riferite alle grandezze nominali delle macchina, precisamente: $x_{pu} = X \cdot I_n / (U_n / 1,73)$ (in percentuale $x\% = x_{pu} \cdot 100$) dove X è il valore effettivo in ohm della reattanza considerata, I_n ed U_n corrente e tensione nominale della macchina. Come ordini di grandezza la reattanza sincrona $x_{spu}\%$ può variare tra il 40% ed il 200%; la transitoria $x_{tpu}\%$ tra il 10 ed il 15% di $x_{spu}\%$ nei turboalternatori (macchine isotrope),

e tra il 20% ed il 25% di x_{spu} nelle macchine a poli salienti (anisotrope); ed ancora più piccola è la subtransitoria.

La reattanza sincrona dipende dai percorsi magnetici che interessano statore e rotore, quindi dai flussi che si concatenano sia con gli avvolgimenti di armatura che di eccitazione e si può misurare alimentando lo statore, con l'eccitazione e gli eventuali avvolgimenti smorzatori aperti: $X_s = E/I$ dove E è la tensione stellata di alimentazione ed I il valore della corrente assorbita nelle condizioni specificate. Al variare dell'angolo d , X_s varia tra un massimo (quando $d=0^\circ$: X_{sD} , asse diretto) ed un minimo ($d=90^\circ$: X_{sQ} , asse in quadratura), differenza che è sensibile per le macchine a poli salienti, poco significativa per le macchine a poli lisci.

Se si effettua la stessa misura cortocircuitando l'avvolgimento di eccitazione, si ha il valore della reattanza transitoria (che non dipende da d).

Se si cortocircuitano anche gli avvolgimenti smorzatori si ottiene la reattanza subtransitoria.

Le reattanze variano a seconda del grado di saturazione della macchina. Il grado di saturazione influenza soprattutto la reattanza transitoria ed in misura minore la subtransitoria. Per la maggior parte dei problemi inerenti la stabilità statica è sufficiente la conoscenza della reattanza sincrona non satura.

Induttanze (cioè reattanze diviso la pulsazione) e costanti di tempo sono anche detti parametri funzionali della macchina.