

CAPÍTULO 2

TIPOS DE SISTEMAS DE EXCITAÇÃO

2.1. CLASSIFICAÇÃO DOS SISTEMAS DE EXCITAÇÃO

Um sistema de excitação é desenvolvido de acordo com as necessidades a serem satisfeitas pelo gerador, quer sob o ponto de vista de controle quer por razões de manutenção. Estas con-

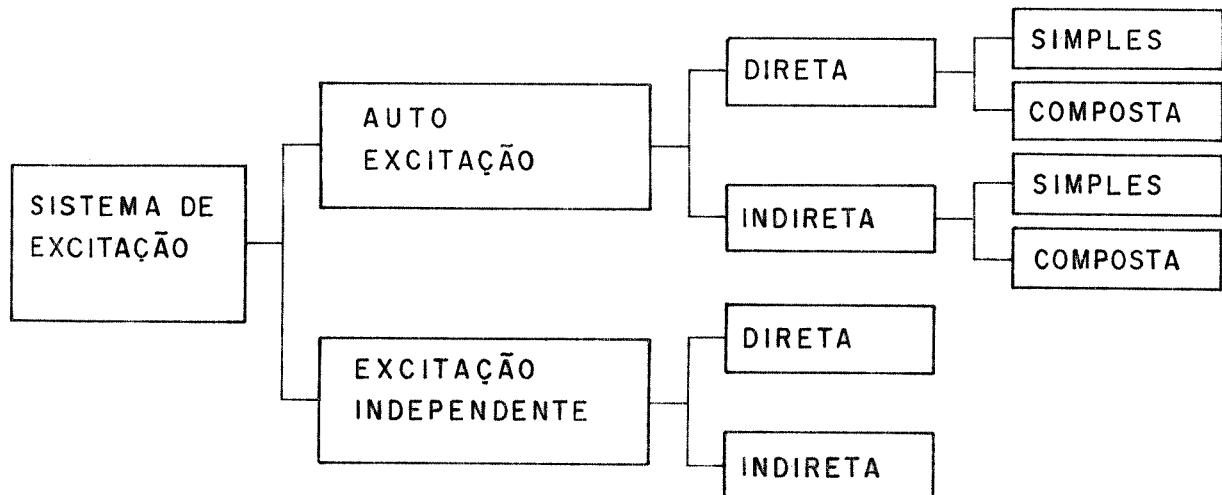


Figura 2.1 - Classificação dos sistemas de excitação segundo a origem da energia primária.

dições tem padronizado alguns circuitos básicos que são classificados segundo a origem da energia para suprimento do sistema de excitação [4,20,21,23]. Isto porque, praticamente toda instalação geradora requer que a excitação não seja dependente de uma fonte de suprimento de energia externa (com exceção do período de partida), isto é: a fonte de energia deve estar disponível tão logo a unidade alcance a velocidade nominal e tenha atingido uma certa tensão mínima. Esta classificação está mostrada na Figura 2.1.

2.2. AUTO-EXCITAÇÃO DIRETA SIMPLES

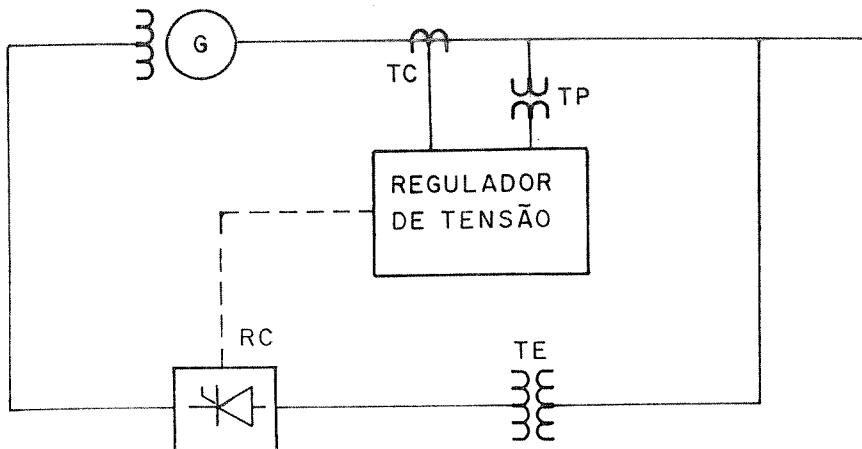
A Figura 2.2 ilustra a configuração básica do circuito. Neste arranjo a energia para excitação do campo é drenada dos terminais do gerador através de um transformador, retificada em uma ponte de tiristores e alimentada ao campo. Este arranjo é portanto muito simples [21,22,59,60].

Em alguns casos a tensão residual do gerador é suficiente para iniciar o processo de excitação. Entretanto, como a fonte de alimentação para os circuitos de controle do regulador de tensão não são capazes de funcionar com valor reduzido de tensão terminal no gerador, conecta-se uma ponte de diodos em paralelo com a ponte de tiristores. A ponte de diodos é removida tão logo a tensão terminal do gerador tenha alcançado um valor suficientemente alto para que a fonte de alimentação do circuito de controle possa operar. Para evitar o risco de não se conseguir elevar a excitação após um curto-círcuito (efeito des-

magnetizante), pode-se utilizar uma fonte de tensão separada (banco de baterias ou alimentação auxiliar).

O controle é muito rápido, já que o conversor tem resposta instantânea, e quanto maior a tensão de teto da excitatriz (tensão de saída com componente contínua máxima que pode ser obtida com tensão nominal nos terminais do gerador) maior a sua rapidez de resposta.

O maior problema da auto-excitação é o curto-círcuito na rede, isto porque a tensão de excitação diminui ou desaparece completamente, dependendo da impedância entre o gerador e o local da falta. A questão de se a auto-excitação pura é suficiente para uma dada instalação está intimamente relacionada a configuração do sistema e ao seu esquema de proteção. Considerando, por exemplo, um sistema isolado de um gerador alimentando uma barra com três consumidores conectados a mesma (Figura 2.3a), ocorrendo um curto-círcuito em um dos consumidores, este deve ser isolado seletivamente por um disjuntor ou fusível, de modo que o suprimento aos outros dois não seja interrompido. Por outro lado, a corrente de curto-círcuito do gerador tende rapidamente para zero (devido a perda de excitação). A questão é se o equipamento de proteção dos ramos pode responder antes que isto aconteça. Este será sempre o caso onde é utilizada proteção com resposta instantânea. Quando se utiliza fusível, sua curva característica de resposta deve estar abaixo da curva de corrente de curto-círcuito no tempo (Figura 2.3b), garantindo que o defeito seja eliminado. Caso uma proteção com estas características não possa ser utilizada, deve-se optar por uma excitatriz com composição série (item 2.3) ou com excitação independente (itens 2.5 e 2.6).



G - Gerador síncrono

RC - Retificador controlado

TE - Transformador de Excitação

TC - Transformador de corrente para medição

TP - Transformador de tensão para medição

Figura 2.2 - Auto-excitacão direta

As condições são diferentes para um sistema multimáquina com grandes geradores. Neste caso, a proteção deve desconectar a máquina imediatamente, caso ocorra uma falta em seus terminais ou na barra de alta-tensão. Entretanto, é necessário que o gerador continue operando durante faltas nas linhas de transmissão. Isto é garantido pela presença da reatância do transformador entre o local da falta e os terminais do gerador, assegurando um mínimo de tensão terminal disponível para excitação, e pelas constantes de tempo relativamente grandes das máquinas (2 segundos), que produzem um decaimento lento da corrente de curto-círcuito (curva 1 da Figura 2.3). Por outro lado, os relés de proteção de linha em redes de alta tensão operam tão rapidamente (3 a 5 ciclos) que dificilmente se tem dúvida de aber-

tura da linha defeituosa.

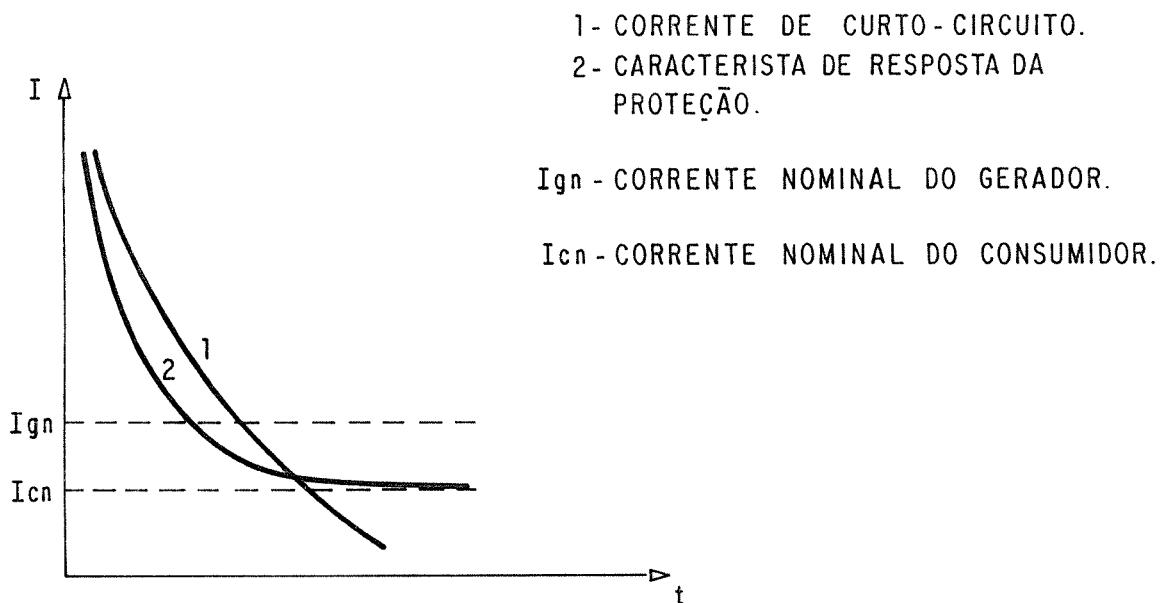
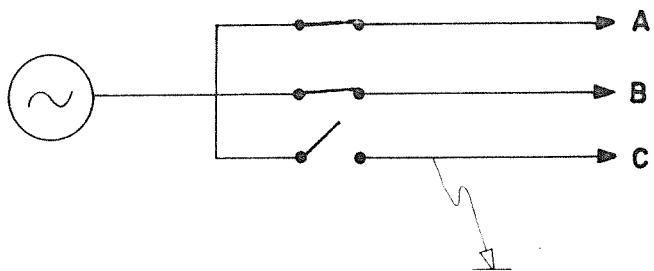
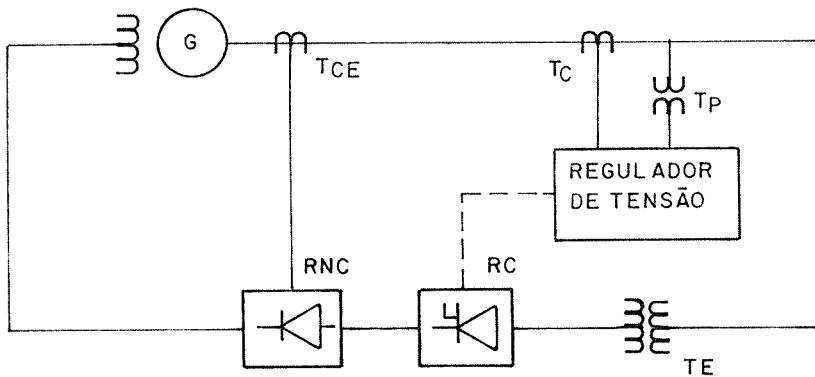


Figura 2.3 - Característica de proteção com fúsalvel para um sistema com auto-exitação simples

2.3. EXCITAÇÃO DIRETA COMPOSTA

Neste circuito ao sistema de excitação é adicionada uma ponte de diodos alimentada por um transformador de corrente com entreferro, Figura 2.4. A corrente do gerador circula no primário

rio, e no secundário é produzida uma tensão proporcional a esta corrente. A tensão retificada é somada aritimeticamente a tensão de saída do retificador controlado. Isto é realizado conectando as duas pontes retificadoras em série do lado de c.c.; por isto é chamada de composição série (Figura 2.4). O retificador pode ser monofásico ou trifásico, dependendo da potência.



RNC - Retificador não controlado

TCE - Transformador de corrente de excitação

Figura 2.4 - Sistema de excitação composto

O propósito da composição é assegurar que, na ocorrência de um curto-circuito, a excitação e por conseguinte uma corrente de curto-circuito mínima sejam mantidas durante a falta, garantido a atuação da respectiva proteção [22,45]. A contribuição do conversor de corrente é limitada pela saturação do entre ferro. Esta saturação, que em geral é projetada para pelo menos duas vezes a corrente nominal de armadura, deve estabelecer um compromisso entre o desempenho em curto-circuito e o custo do transformador.

2.4. AUTO-EXCITAÇÃO INDIRETA

Neste caso uma excitatriz separada é acoplada ao rotor do gerador. Com isto o conversor é dimensionado para a excitatriz, sendo assim de menor potência. Esta excitatriz pode ser de corrente contínua (Figura 2.5a) ou corrente alternada (Figura 2.5b). A versão com excitatriz de corrente-contínua normalmente é utilizada quando se está modernizando usinas que já possuem esta excitatriz acoplada ao eixo e utilizam reguladores ultrapassados. No caso de um novo projeto, adota-se a excitatriz de corrente-alternada. Para esta excitatriz pode-se obter um sistema sem escovas, montando-se os diodos retificadores, da excitatriz principal, no eixo do rotor. Deste modo não é necessário a manutenção em anéis coletores e também não são produzidas centelhas, sendo por isso ideal para instalações onde haja perigo de explosão.

No que diz respeito ao comportamento transitório, estes sistemas são mais lentos do que os sistemas diretos.

A questão de se utilizar ou não a auto-excitação indireta composta aplicam-se as mesmas considerações do item 2.2.

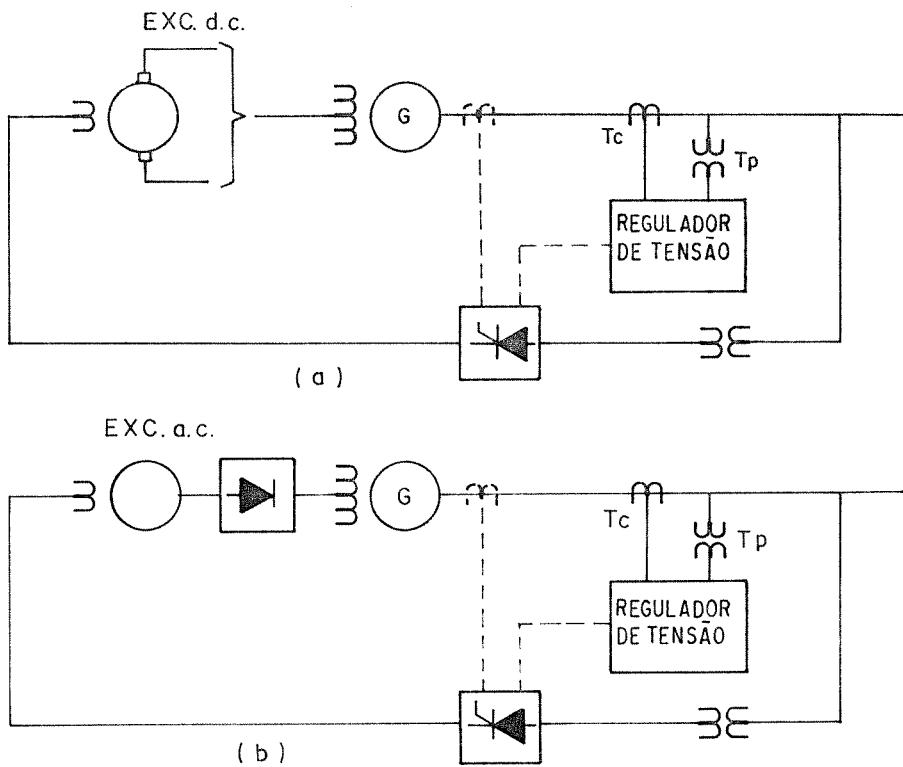


Figura 2.5 - Auto-excitacão indireta

2.5. SISTEMA DE EXCITAÇÃO INDEPENDENTE DIRETA

Para se obter uma unidade auto-suficiente, utiliza-se uma excitatriz rotativa acoplada ao eixo. Esta excitatriz pode ser um gerador de imã permanente (Figura 2.6a) ou um gerador auto-excitado (Figura 2.6b). No primeiro caso consegue-se alta confiabilidade com um desempenho não influenciado por curto-circuitos na rede, já que o gerador de imã permanente é muito robusto e não requer equipamento de excitação. Por outro lado produz uma tensão de saída que varia com a carga e a velocidade. O gerador auto-excitado necessita de seu próprio sistema de exci-

tação, mas ainda assim é geralmente mais barato e fornece uma tensão constante. A velocidade de regulação é muito alta e curtos-circuitos na rede não afetam o suprimento de excitação.

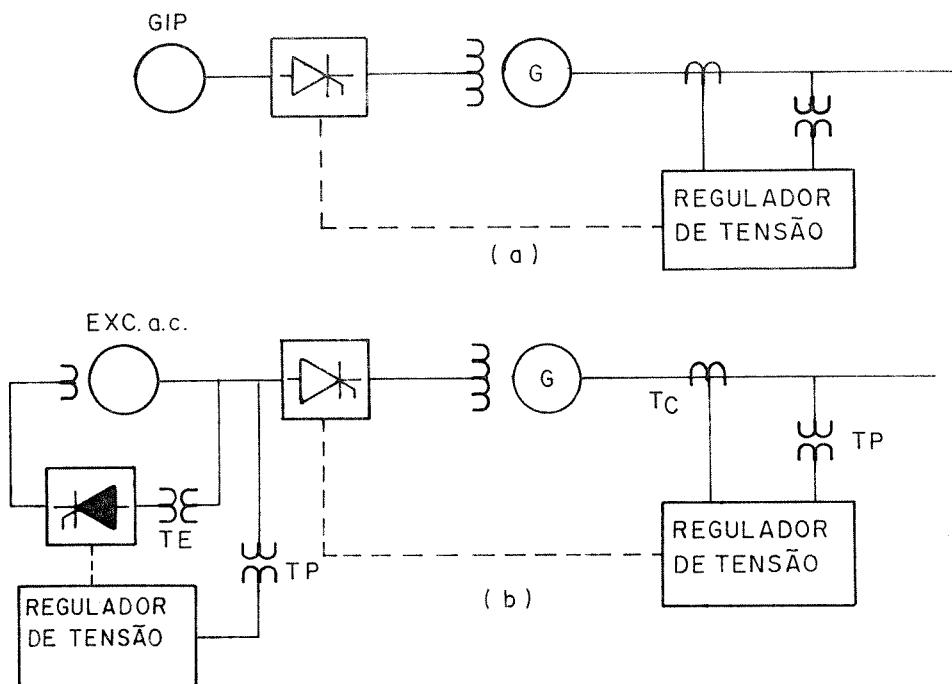


Figura 2.6 - Sistemas com excitação independente direta

O gerador de imã permanente quando projetado para a potência total de excitação, torna-se muito grande e caro. Uma solução é utilizar a excitação independente indireta.

2.6. EXCITAÇÃO INDEPENDENTE INDIRETA

O arranjo com duas excitatrizes (piloto e principal), Fi

gura 2.7, é uma solução mais econômica que a do item anterior. Neste caso, os geradores de alta potência podem ser controlados com um regulador de pequeno porte. A capacidade da excitatriz piloto também é bastante reduzida. Com isto obtém-se um arranjo robusto e tensão de excitação do enrolamento de campo do gerador principal independente de sua função terminal. A resposta deste sistema é melhorada projetando-se a excitatriz principal para operar em freqüência superior a do gerador (normalmente utiliza-se freqüências de 300 a 420 Hz). A rapidez de resposta do sistema de excitação é lenta em relação a excitação independente direta.

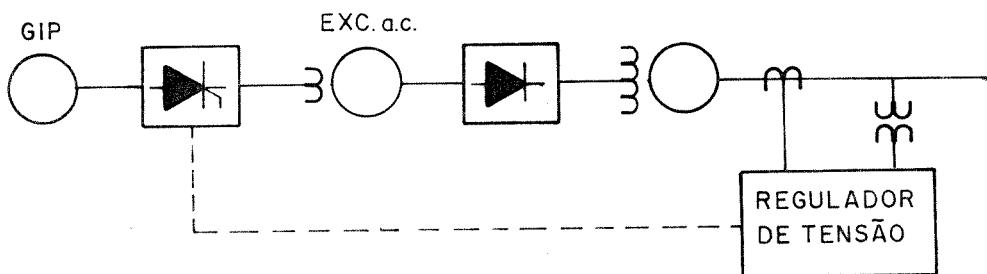


Figura 2.7 - Sistema de Excitação Independente Indireta

O sistema é robusto e a prova de curto-círcuito. Também neste caso pode ser utilizada a excitação sem escovas.

2.7. RESUMO

Dos sistemas estudados dois têm sido os preferencialmente especificados. O sistema de excitação independente indireta

(sem escovas) para turbogeradores de grande porte (usinas térmicas e nucleares) em razão da não exigência de resposta rápida destes sistemas que geralmente são localizados próximos aos centros de carga e da necessidade de corrente de excitação elevada necessária em função do menor número de espiras no enrolamento de campo quando comparado aos geradores de polos salientes e da maior tensão de excitação devido as reatâncias síncronas relativamente maiores. Correntes de campo elevadas causam problemas com o uso de escovas e anéis coletores. O sistema de auto-excitação direta em virtude do baixo custo e bom desempenho estão predominando nas novas instalações. No Brasil, por exemplo, as usinas hidroelétricas mais recentes (a partir da década de 1970), de médio e grande porte, têm seus geradores equipados com este sistema de excitação.

Os sistemas com auto-excitação e composição série têm sido especificados para grupos de geradores que operem isolados e sujeitos a variações bruscas de tensão, como no acionamento de motores de indução de grande potência (plataformas *off-shore*, embarcações).

A Tabela 2.1 mostra um quadro geral resumido das características apresentadas.

Tabela 2.1 - Resumo das características dos sistemas de excitação

TIPO DE SISTEMA DE EXCITAÇÃO	EXCITATRIZ ROTATIVA	COMPONENTES QUE NECESSITAM DE MANUTENÇÃO	RESPOSTA DO SISTEMA	ADEQUABILIDADE PARA CARGAS SÚBITAS	SELETIVIDADE NA INTERRUPÇÃO DE CURTO-CIRCUITO EM CONSUMIDORES
AUTO-EXCITAÇÃO	DIRETA SIMPLES	ANÉIS COLETORES	MUITO BOA	BOA	LIMITADA
	DIRETA COMPOSTA	ANÉIS COLETORES	MUITO BOA	MUITO BOA	BOA
	INDIRETA SIMPLES	ANÉIS COLETORES E COMUTADORES	REGULAR	REGULAR	LIMITADA
	INDIRETA COMPOSTA	ANÉIS COLETORES E COMUTADOR	REGULAR	REGULAR	LIMITADA
	DIRETA	ANÉIS COLETORES	BOA	BOA	BOA
	INDIRETA INDEPENDENTE	C.A.	—	—	MUITO BOA