|  |  |
| --- | --- |
| **Aula Nro: 12** |  |

Motores Síncronos

**Aplicações:**

- No passado a aplicação do motor síncrono era limitado em aplicações com velocidade constante. Atualmente, devido ao avanço da eletrônica de potência, pode-se se usar o motor síncrono com velocidade constante, alterando a frequência de entrada via conversor de frequência.

- Compensar a potência reativa das indústrias. Quando o motor trabalhar superexcitado, este se comporta como um capacitor, consumindo potência reativa negativa, Q(-), que equivale a gerar potência reativa positiva. Variando a corrente de campo, pode-se se controlar o valor de Q(-).

**I) Princípio de funcionamento:**

Aplicando correntes trifásicas ao estator, produzirá um campo girante no entreferro ($B\_{s})$. Por outro lado aplicando corrente contínua no circuito do rotor da máquina síncrona, este produzirá um outro campo (Br) que acompanhará o campo do estator. O princípio básico é que o rotor “persegue” o campo magnético do estator sem nunca alinhar-se com ele.

|  |
| --- |
|  |
| Fig 1:principio de funcionamento do motor síncrono |

Como o motor síncrono é fisicamente igual gerador síncrono, todas as equações básicas de velocidade, potência e conjugado são iguais. A única diferença é que agora a corrente (fluxo de potência) ingressa na máquina.

A velocidade do motor síncrono é constante (velocidade síncrona) e está dada pela equação (RPM):

$n\_{m}=\frac{120f\_{e} }{p}$

* 1. **Se a velocidade do motor síncrono é constante, como verificar a alteração da potência no eixo do motor?**

Resp: Através do ângulo de potência ou ângulo de carga “δ”. Quanto maior o ângulo, maior a potência no eixo.

No laboratório é possível verificar a abertura deste ângulo em relação a uma referência que gira na velocidade síncrona.

Vide: < https://drive.google.com/file/d/1CmSxLcCbQts1Pp5N5xv4UEWmIsVssEyN/view>.

**II) Diagrama de Potência**

O diagrama de potência está mostrado na figura abaixo.

|  |
| --- |
|  |
| Fig 2: Diagrama de potência do motor síncrono |

 $P\_{entrada}= P\_{saída}+P\_{pmec}+P\_{pH\&F}+P\_{pcobre}$

 $P\_{p}$ → potência de perda

**III) Circuito de potência e diagrama fasorial**

|  |
| --- |
|  |
| Fig3: Circuito Equivalente |







**IV) Equação de potência e Torque**

As equações de potência e torque aplicado ao gerador síncrono são validas também aqui.





, então:

A única diferença é que o ângulo de carga é negativo porque trabalha na região de motor como mostra a figura abaixo.



Obs: Se o torque no eixo (da carga) for maior ao torque induzido, o motor desacelera e perde sincronismo até parar. O campo magnético do estator ultrapassa repetidamente ao campo do rotor e o sentido do torque muda em cada ultrapassagem vibrando severamente. Este fenômeno é conhecido como “pólos deslizantes” ou “salto de pólos”. Se não desligar imediatamente, o enrolamento de armadura pode aquecer até queimar pela corrente elevadíssima porque ao único que limita essa corrente é a resistência de armadura (a reatância deixa de existir se a máquina parar).

**IV. Efeito da mudança de carga no motor síncrono sem alterar a corrente de campo.**

O que acontece aumentando a carga no motor síncrono mantendo fixa a corrente de campo?

Exemplo:

Um motor síncrono 60Hz, 208V, f.d.p. = 0,8, 45kVA, ligado em ∆ possui uma reatância síncrona de 2,5Ω e resistência de armadura desprezível. As perdas por atrito e ventilação são 1,5kW, perdas no núcleo 1kW. Inicialmente o eixo tem uma carpa de 15HP e o f.d.p.=0,8 (adiantado).

1. Esboce o diagrama fasorial do motor e determine IA, IL EA e δ
2. Suponha que a carga no eixo seja aumentada até atingir 30HP. Determine IA, IL EA , δ após a mudança.
3. Qual o novo fator de potência?
4. $P\_{saída}=15HP .\frac{0,746kW}{HP}=11,19kW$

 $P\_{ent}= P\_{saída}+P\_{pmec}+P\_{pH\&F}+P\_{pcobre}$

 $P\_{ent}= 11,19+1+1,5=13,69 kW$

 $I\_{L}= \frac{P\_{ent}}{\sqrt{3} .V\_{L}.\cos(ϕ) }=\frac{1369}{\sqrt{3} .208 .0,8}=47,5 A$

$I\_{A}= \frac{I\_{L}}{\sqrt{3}}= \frac{47,5}{\sqrt{3}}=27,4\overline{\left|cos^{-1}0,8\right.}= 27,4\overline{\left|36,87°\right.}$

 $I\_{A}$

 θ

 $V\_{T}$

 $E\_{A}=V\_{T}- I.Xsj $

 $E\_{A}=208\overline{\left|0°\right.}- 27,4\overline{\left|36,87°\right.}.2,5j$

 $E\_{A}=255,56\overline{\left|-12,407°\right.}$



1. Após o acréscimo de carga:

 $P\_{saída}=30HP .\frac{0,746kW}{HP}=22,38kW$

 $P\_{ent}= P\_{saída}+P\_{pmec}+P\_{pH\&F}+P\_{pcobre}$

 $P\_{ent}= 22,38+1+1,5=24,880 kW$

Como $E\_{A}$ é constante $P\_{ent3ϕ}=3.\frac{V\_{T}.E\_{a}}{Xs} sen δ$ = Pconvertida (devido a que RA=0)

δ' = $\frac{P\_{ent} .Xs}{3.V\_{T}.E\_{a}}= sen^{-1}\frac{24880 .2,5}{3 .208 .255,56}=23°$

 $E\_{A}= 255,56\overline{\left|-23°\right.}$

A corrente pode ser determinada a partir de:

 $I\_{A}^{'}=\frac{V\_{T}- E\_{A}'}{Xsj}=\frac{208\overline{\left|0°\right.}-255,56\overline{\left|23°\right.} }{j2,5}=41,4\overline{\left|15,6°\right.}$

 $I\_{L}=I\_{A}^{'} \sqrt{3}=71,71 A$

1. f.d.p. = cos (15,16°) = 0,965° ↑ (ficou menos capacitivo)

Resumo da alteração:$I\_{F}$ constante, implica em E’A constante

δ' ↑

 $τ\_{ind}$ ↑

 IA ↑

|θ| ↓

f.d.p. = cos θ ↑, ficou menos capacitivo ou mais indutivo

Conclusão: aumentando a carga mantendo constante a corrente de campo implica que o motor se torno menos capacitivo (consome menos Q(-)).

**4.1 Qual é o efeito se continuar aumentando carga no eixo sem variar a corrente de campo?**

Se continuar aumentando, o fator de potência ficará resistiva e depois indutivo como mostra a figura abaixo.



**Exercício Proposto**

Um motor síncrono 60Hz, 360,26V, f.d.p. = 0,8 (adiantado), 45kVA, ligado em Y possui uma reatância síncrona de 0,833Ω e resistência de armadura desprezível. As perdas por atrito e ventilação são 1,5kW, perdas no núcleo 1kW. Inicialmente o eixo tem uma carga de 15HP e o f.d.p.=0,8 (adiantado).

1. Esboce o diagrama fasorial do motor e determine $I\_{A}$IA, EA(fase) e δ.
2. Qual é a **carga nova adicional** aplicada ao eixo do motor síncrono se o fator de potência ficou unitário? Considere que as perdas ficam iguais após o acréscimo da carga. Esboce o diagrama fasorial do motor e compare com o diagrama o item “a” e determine $I\_{A}$IA, EA(fase) e δ

Observação: As respostas estão na outra página. Só veja as respostas para verificar sua resposta.

Respostas:

|  |  |
| --- | --- |
| 1. **fdp =0,8 adiantado; Carga eixo=15HP**

**IA=27,42∠36,87°****EA=222,458∠-4,712°**δ**=-4,71** | 1. **fdp =1**

**Carga Adicional=60,871Hp****IA=94,71[0°****EA=222,458∠-20,77**δ**=-20,77** |

Próxima Aula:

-Efeitos da corrente de campo no motor síncrono.

-Técnicas de partidas do motor síncrono.