
MOTORES CC 2

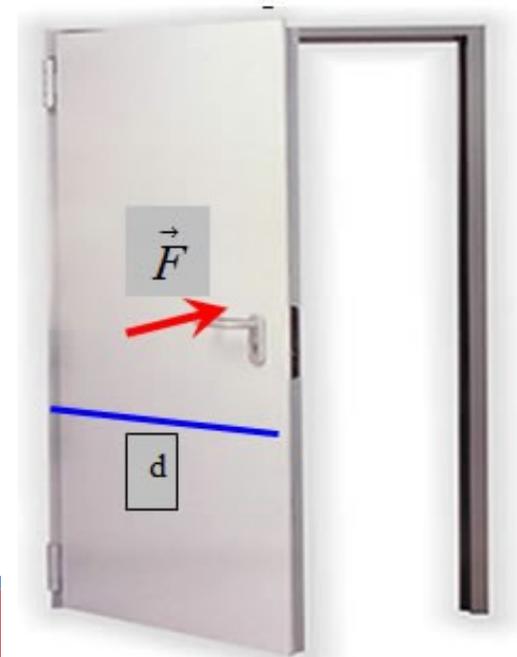
ADRIELLE C. SANTANA



Conjugado Eletromagnético

O Conjugado (Binário ou Torque) é definido como a tendência que tem o acoplamento mecânico de uma força e sua distância radial do ponto de aplicação da força ao eixo de rotação, para produzir rotação. É expresso em unidades de força e distância (N.m).

$$\vec{\tau} = \vec{d} \times \vec{F}$$



Conjugado Eletromagnético

Nas máquinas CC esse é conhecido como conjugado eletromagnético e é dado pela equação:

$$T = k\phi I_a$$

Da equação da força contra-eletromotriz,

$$E = k \cdot \phi \cdot n$$

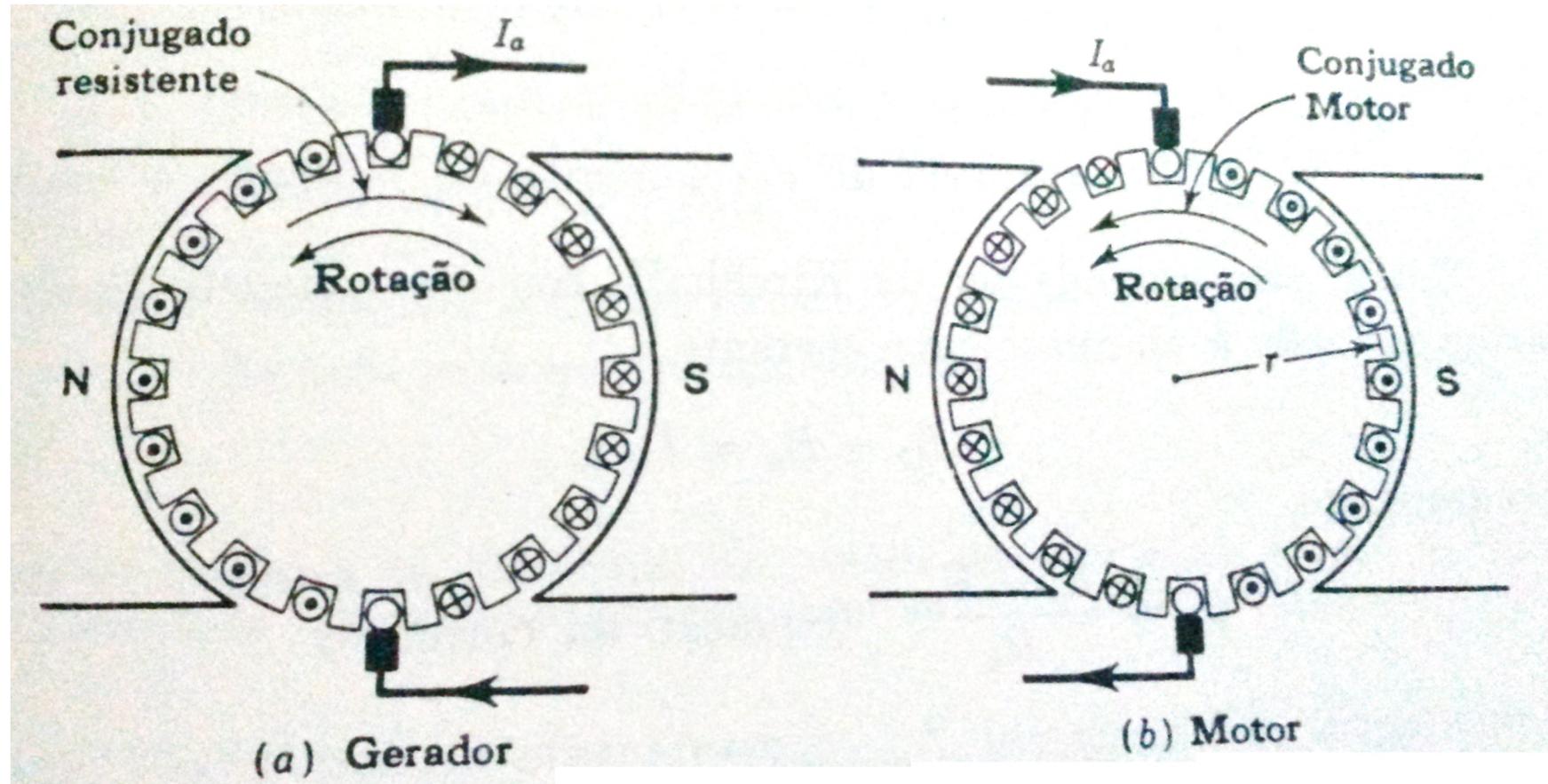
Tiramos uma relação entre o conjugado e a velocidade do motor:

$$T = \frac{EI_a}{\omega}$$

Conjugado motor e Conjugado resistente

Na figura a seguir temos duas máquinas idênticas. Uma funciona como gerador e outra como motor. No gerador uma força externa o faz girar no sentido anti-horário. Ele gera uma FEM e se acoplado a um circuito externo ele alimentará esse circuito surgindo então no seu enrolamento uma corrente. Condutores percorridos por corrente imersos num campo magnético tendem a ser submetidos a forças que se opõem ao movimento do gerador. Essas forças produzem um **conjugado resistente (T)** que se opõe ao **conjugado mecânico (T_m)** que externamente é aplicado ao gerador. T é dado pela equação anterior. T_m deve ser maior que T e ainda ser grande para vencer o atrito nos mancais e escovas, ventilação, correntes parasitas do induzido (que criam seu próprio conjugado resistente).

Conjugado motor e Conjugado resistente



Conjugado motor e Conjugado resistente

No motor uma fonte externa faz circular corrente pelo induzido. No sentido em que se encontra a corrente e pela interação de cada condutor com o campo em que está imerso, surgem forças que fazem o motor girar no sentido anti-horário. Agora estamos na mesma situação do gerador só que sem uma força mecânica externa girando o eixo.

É aqui que é gerada uma outra força nos condutores do induzido por eles estarem cortando linhas de indução e girando dentro de um campo magnético. Assim como no gerador essa força se opõe a circulação da corrente e, portanto, à fonte externa que alimenta o motor. Esta é a força contra-eletromotriz (FCEM). A resultante entre estas forças produz o **conjugado motor (T)**.

Conjugado motor e Conjugado resistente

Sendo assim, seja T_{av} o conjugado (torque) gasto com atrito nos mancais e escovas e correntes parasitas, dentre outras perdas. Seja T_m o conjugado mecânico recebido ou fornecido ao eixo do motor e T o conjugado resistente ou motor (gerador ou motor). Tem-se:

$$T_m = T - T_{av} \quad (\text{Nm}) \quad \text{para motores}$$

$$T_m = T + T_{av} \quad (\text{Nm}) \quad \text{para geradores}$$

Conjugado motor e Conjugado resistente

RESUMO (Conjugado Resistente) - Gerador

-> Torque mecânico externo no eixo -> corte de linhas de campo -> indução de fem no induzido -> induzido conectado a circuito externo -> começa a circular corrente nos condutores do induzido -> condutores + corrente + campo = força que se opõe ao movimento da força mecânica externa -> essa força produz **Conjugado Resistente** -> torque mecânico externo deve vencer conjugado resistente + atrito nos mancais e escovas + ventilação + histerese e correntes de Foucault.

$$T = K_t \cdot \phi \cdot I_a$$

Conjugado motor e Conjugado resistente

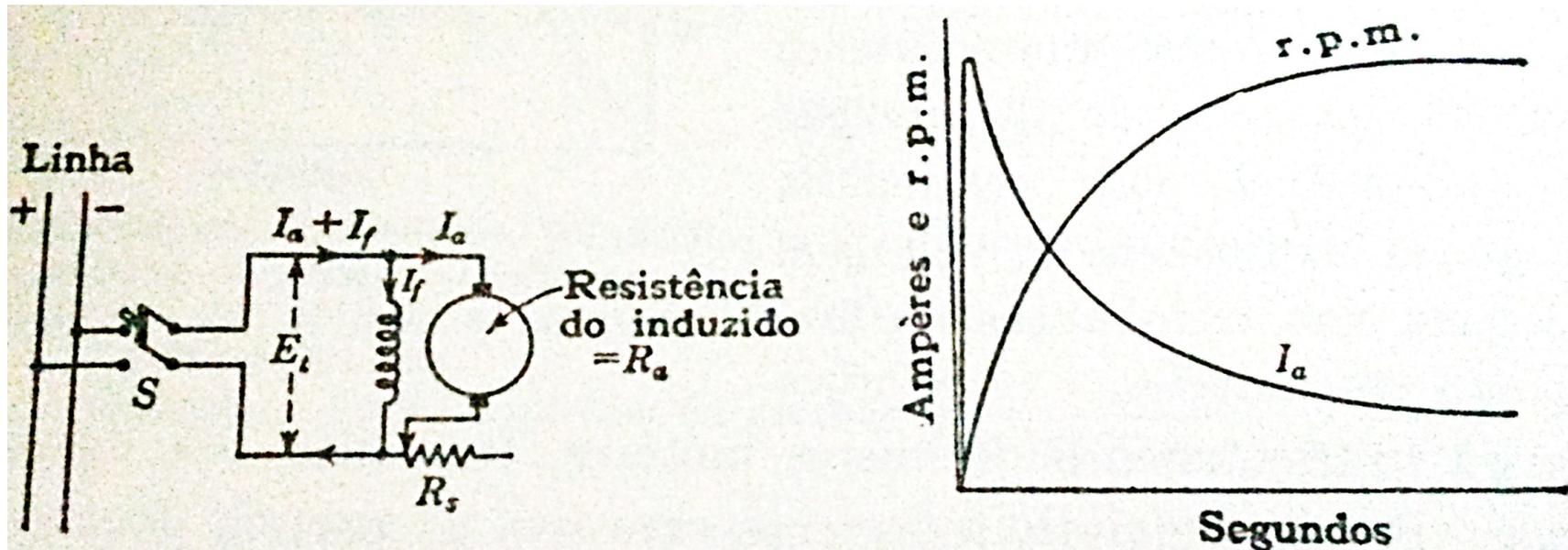
RESUMO (Conjugado Motor) – Motor

-> Fonte de tensão externa faz corrente circular nos condutores do induzido -> condutor + corrente + campo = força que causa rotação do rotor -> essa força produz **Conjugado Motor** -> Induzido gira cortando linhas de campo gerando fem no induzido -> essa fem é oposta à fonte de tensão externa -> recebe nome f_{cem} = força contra eletromotriz

$$T = K_t \cdot \phi \cdot I_a$$

Partida de Motores shunt de menos de 1 CV

Seja o shunt da figura abaixo:



Esse motor começa a girar simplesmente fechando-se a chave S. A corrente I_f se eleva elevando junto o fluxo ϕ . Com isso a corrente I_a aumenta também rapidamente até $I_a = (E_t - E_g)/R_a$. Como na partida E_g é zero e R_a é sempre um valor muito pequeno, I_a atinge seu valor máximo (muitas vezes seu valor nominal) na partida.

Partida de Motores shunt de menos de 1 CV

Como a equação do conjugado é então T cresce muito também, acelerando rapidamente o motor. Com o motor girando gera-se a E_g que se opõe à corrente I_a e é proporcional à velocidade.

Assim I_a diminui na medida em que a velocidade vai aumentando e esta variação cessa quando a velocidade torna-se constante.

Obs.: Se por algum motivo o rotor estivesse bloqueado, a alta corrente de partida nunca iria cair e o enrolamento se queimaria. Normalmente utilizam-se fusíveis ou outra forma de proteção contra sobrecorrente.

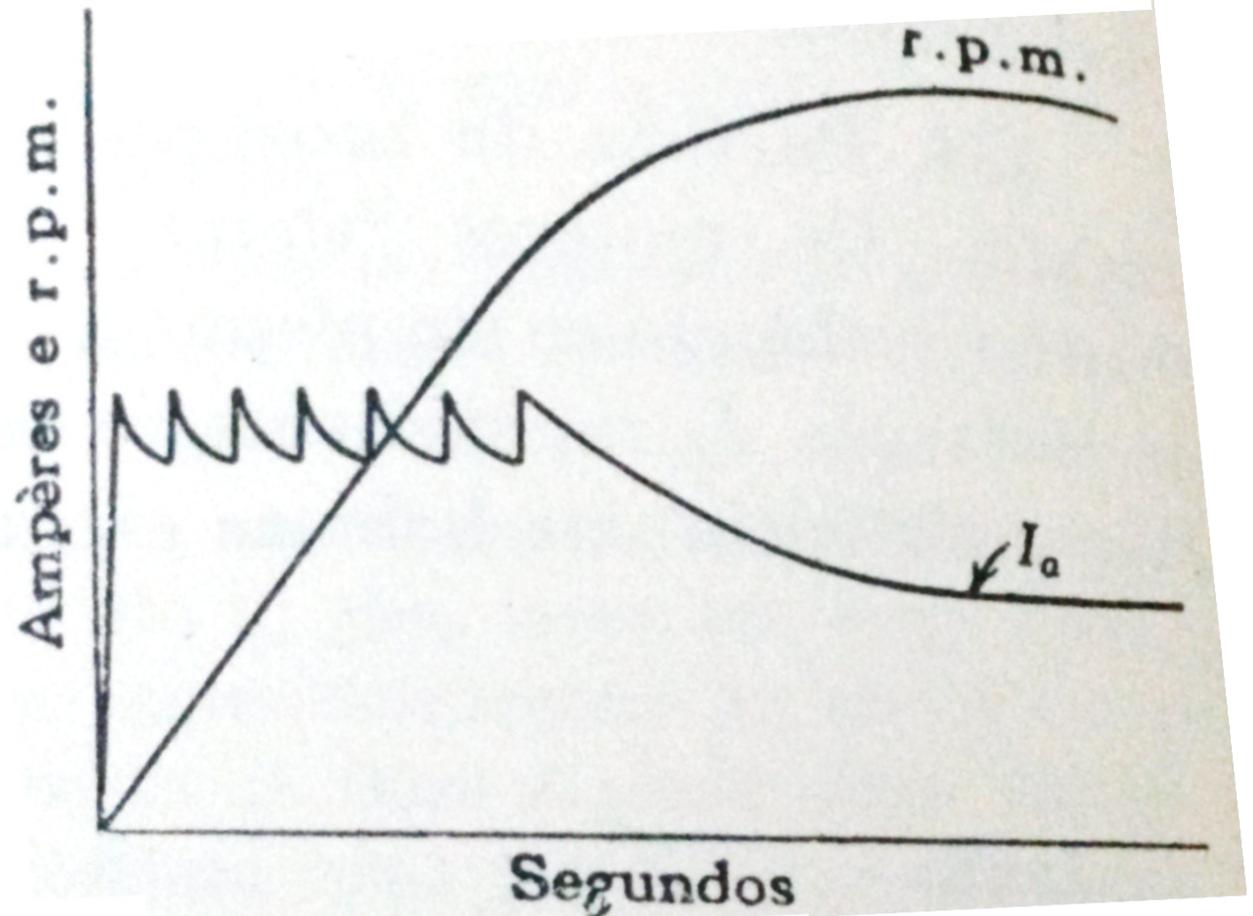
Partida de Motores shunt em Geral

Para motores shunt de médio e grande porte, a corrente de partida alta e a demora para se atingir uma boa velocidade (que levaria ao aumento de E_g e queda de I_a) por conta do elevado momento de inércia das partes em rotação, fariam a máquina se queimar antes de girar.

A solução é incluir uma resistência adicional ($R_s=R_p$) no circuito do induzido aumentando o R_a baixo. Esta resistência deve ser reduzida na medida em que o motor vai acelerando até ser zerada. O ideal é que seu controle não seja feito manualmente.

Partida de Motores shunt em Geral

Forma da I_a com o uso de R_s .



Controle de Velocidade em Motores shunt em Geral

Os motores shunt podem vir com reostatos (resistências variáveis) de campo os quais podem ser utilizados para enfraquecer o campo a fim de controlar a velocidade. Mas este reostato NÃO pode estar ligado na hora da partida (deve ser curto-circuitado) pois, a alta corrente de partida demorará a ser oposta pela FEM induzida E_g uma vez que a geração da E_g fica comprometida com um fluxo de campo mais baixo. Assim, o motor pode se queimar!

Partida de Motores shunt em Geral

EXEMPLO. Um motor “shunt” de corrente contínua, de 10 C. V. e 110 V, tem um rendimento de 88%, uma corrente de excitação de 2 A e uma resistência do induzido de 0,08 ohm. Calcular: (a) a resistência de partida R_s , necessária ao conjugado de partida com plena carga; (b) a corrente de partida se não se utiliza nenhuma resistência de partida.

Calcular potência absorvida da rede = 8352 W -> Com ela calcular a corrente

absorvida da linha = 75,9 A

-> Com ela calcular a corrente I_a nominal = 73,9 A

-> Calcular pela lei de Ohm a resistência total necessária no induzido = 1,49 Ω

-> Subtrair da resistência já existente no induzido (R_a) = 1,49 - 0,08 = 1,41 Ω = R_s

Lei de Ohm normal utilizando apenas R_a = 1375 A

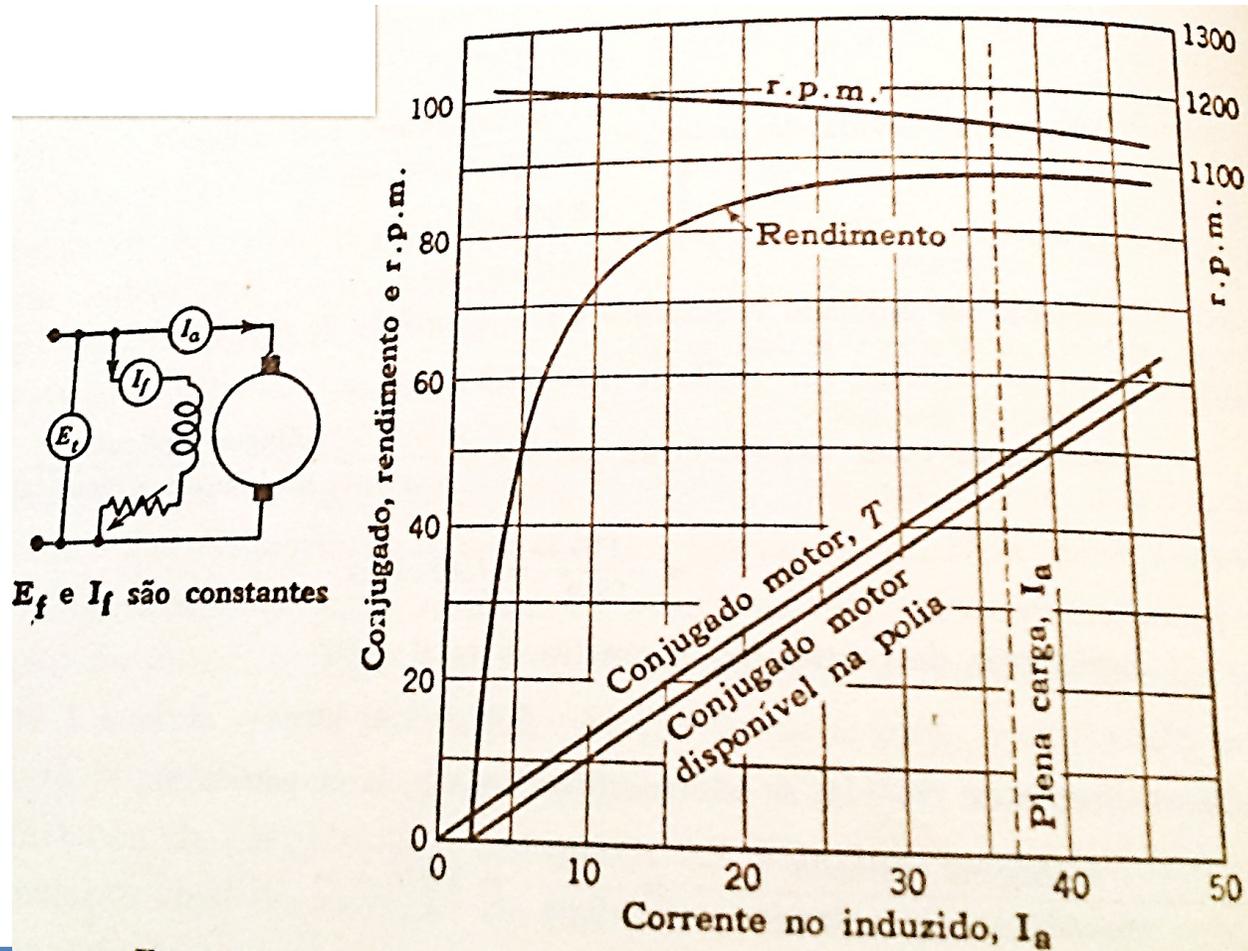
Características de Carga

As curvas da figura a seguir mostram como é a variação do conjugado e da velocidade com a corrente no induzido considerando tensão constante na entrada do motor e I_f também constante. Estas curvas são facilmente determinadas pelas fórmulas do conjugado e da velocidade já vistas.

$$n = k \frac{E - R_a I_a}{\varphi}$$

$$T = k \phi I_a$$

Características de Carga



E_f e I_f são constantes

Características de Carga

Pela figura anterior, a velocidade diminui com o aumento da carga ($T \rightarrow I_a$) pelo fato de E_g diminuir de modo a permitir uma maior circulação de corrente (se n cai E_g cai). As curvas foram obtidas aplicando-se diferentes conjugados resistentes e medindo para cada um a velocidade e corrente.

A velocidade é inversamente proporcional ao T .

Controle de velocidade pelo campo

A velocidade dos motores Shunt é quase constante variando pouco com a carga de acordo com a figura anterior. Um reostato de campo pode ser utilizado para o controle de velocidade como já comentado. Sem o reostato o motor gira a uma “velocidade de pleno campo”.

Para aumentar essa velocidade basta intercalar o reostato em série com a bobina de campo. Para reduzir essa velocidade pode-se inserir um reostato em série com o induzido (se I_a cai o E cai e n cai).

Exemplo

Um motor shunt de 10 CV, 110V, gira com 900 rpm quando absorve uma corrente I_a de 75A a plena carga. $R_a=0,08$ ohms. Calcular:

A) A FCEM; (usar fórmula do motor = 104 V)

B) O conjugado motor a plena carga. (usar fórmula do conjugado = 82,76 Nm)

C) Se utilizar resistor de campo que reduza este a 80% qual a nova FCEM, I_a e o T?

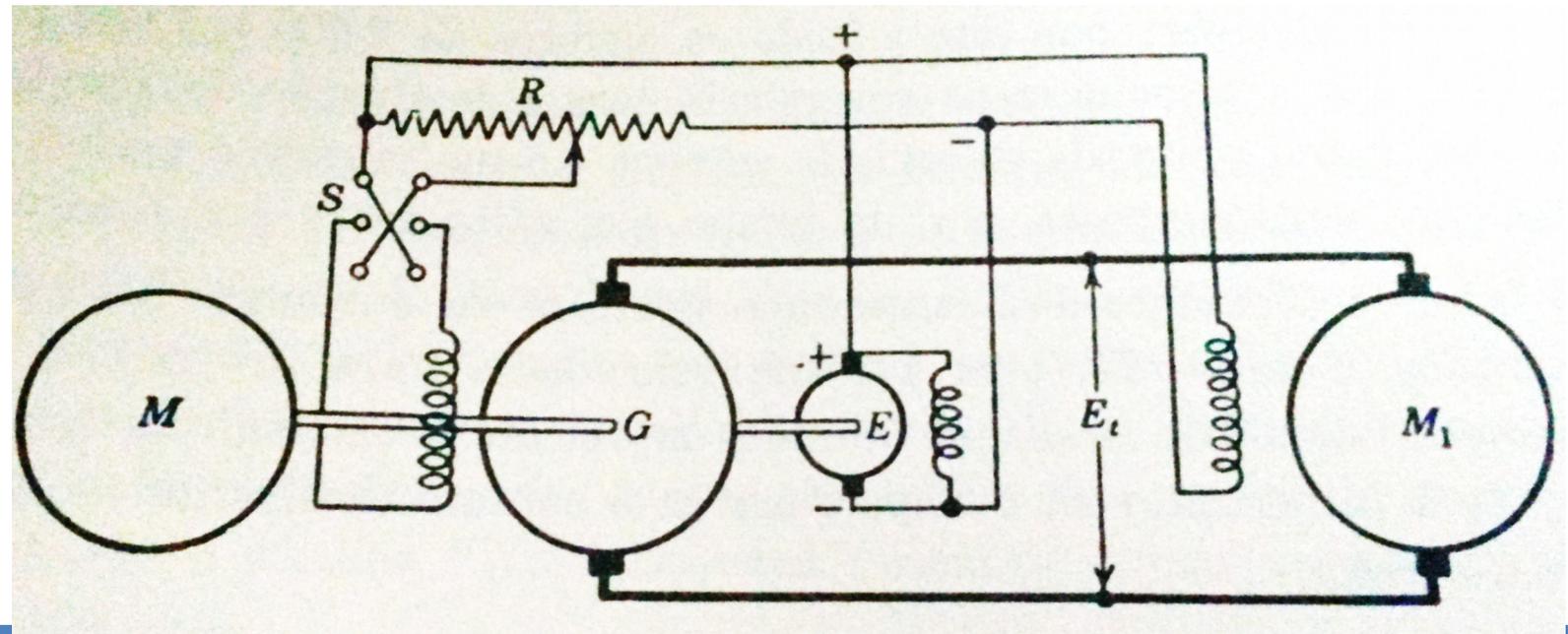
$$FCEM = 0,8 * 104 = 83,2 \text{ V}$$

Usar fórmula do motor para $I_a = 335 \text{ A}$

Usar fórmula do conjugado novamente = 295,73 Nm

Sistema Ward-Leonard de regulação de velocidade

Nesse esquema se utilizam unidades independentes de gerador e motor para fazer a regulação de velocidade do motor de interesse. Tem-se um motor M_1 o qual se quer controlar a velocidade, um gerador G com excitação independente o qual alimenta M_1 , um pequeno gerador CC chamado aqui de E (auto-excitado) fornecedor de corrente de excitação para G e para M_1 e M aciona G e E .



Sistema Ward-Leonard de regulação de velocidade

$$I_a = (E_t - E_g) / R_a$$

M pode ser um motor diesel ou CA de velocidade constante.

Sendo assim a tensão gerada em E, as correntes de excitação de G e M_1 , a tensão E_t e a velocidade de M_1 ficam constantes também.

A velocidade e sentido de rotação de M_1 são alterados variando-se respectivamente, o reostato R e o interruptor inversor S.

- Com reostato totalmente à direita: M_1 gira a plena velocidade;
- Para inverter o giro basta deslizar R até o extremo da esquerda (diminui campo que diminui E_t que diminui I_a) e inverter S e voltar com R (inverte-se aqui o sentido da corrente no campo de G);
- Com R mais a direita: aumenta campo de G que aumenta E_t que aumenta I_a que acelera o motor (chave S conecta embaixo);
- Com R mais à esquerda: I_a se inverte (E_t menor que E_g na fórmula) criando conjugado negativo, a velocidade cai até estabilizar (quando E_g se torna menor que E_t novamente).