

# Geradores CC - Parte 2

Adrielle C. Santana

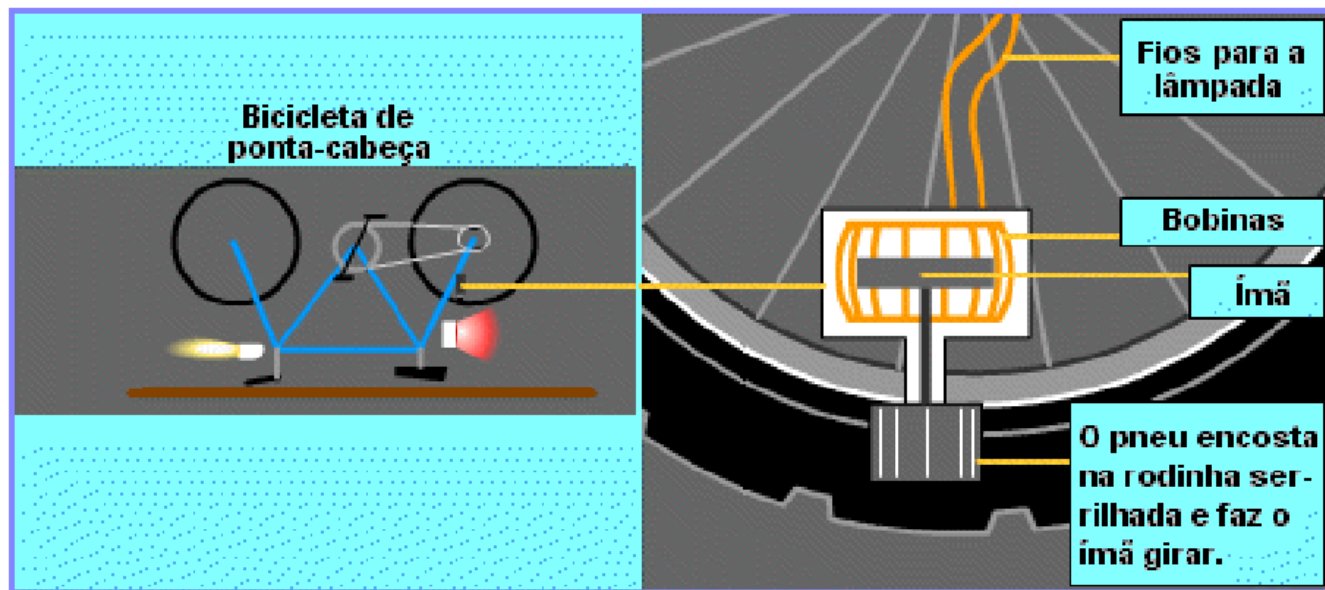
# Aplicações dos Geradores CC

- ▶ Atualmente com o uso de inversores de frequência e transformadores, tornou-se fácil a manipulação da Corrente Alternada.
- ▶ Como os geradores CA dão menos manutenção e são mais baratos que os geradores CC eles têm sido os mais usados atualmente.
- ▶ Os geradores CC pode ser encontrados em algumas hidrelétricas na geração de energia elétrica.



# Aplicações dos Geradores CC

## ► Dínamos de Bicicletas



# Vantagens

- ▶ Facilidade em controlar velocidade;
- ▶ Alto torque na partida em baixas rotações;
- ▶ Flexibilidade (excitações);
- ▶ Simplicidade, baixo custo e pequeno porte dos conversores CA/CC.



# Desvantagens

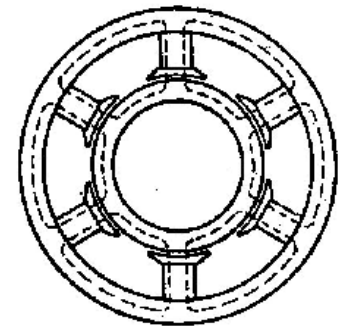
- ▶ Maiores e mais caros que os CA;
- ▶ Maior manutenção (comutadores e escovas);
- ▶ Arcos elétricos e faíscas (não pode ser usado perto de inflamáveis);
- ▶ Tensão entre lâminas (Anel de fogo);
- ▶ Medidas especiais de partida.

# Anel de Fogo

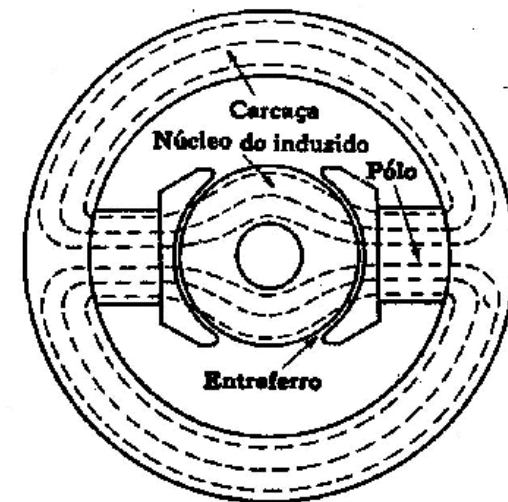
- ▶ **Anel de Fogo**
- ▶ Na geração de altas tensões (380V, 440V) caso o número de lâminas do comutador seja pequeno, perceber-se-á uma diferença de potencial entre lâminas adjacentes (que estariam no mesmo potencial se fosse mais lâminas) gerando um grande centelhamento conhecido como “Anel de Fogo”.

# Número de Polos

- ▶ Considerando que as máquinas foram projetadas para terem a mesma potência:
  - ▶ Têm o induzido de mesmo diâmetro;
  - ▶ Têm o mesmo número de linhas de força que atravessam o entreferro;
- ▶ Como na máquina hexapolar o fluxo se divide em 6 segmentos, a espessura do núcleo do induzido e da carcaça será somente a terça parte da máquina bipolar.
- ▶ Há assim uma economia no material para a construção da máquina hexapolar.



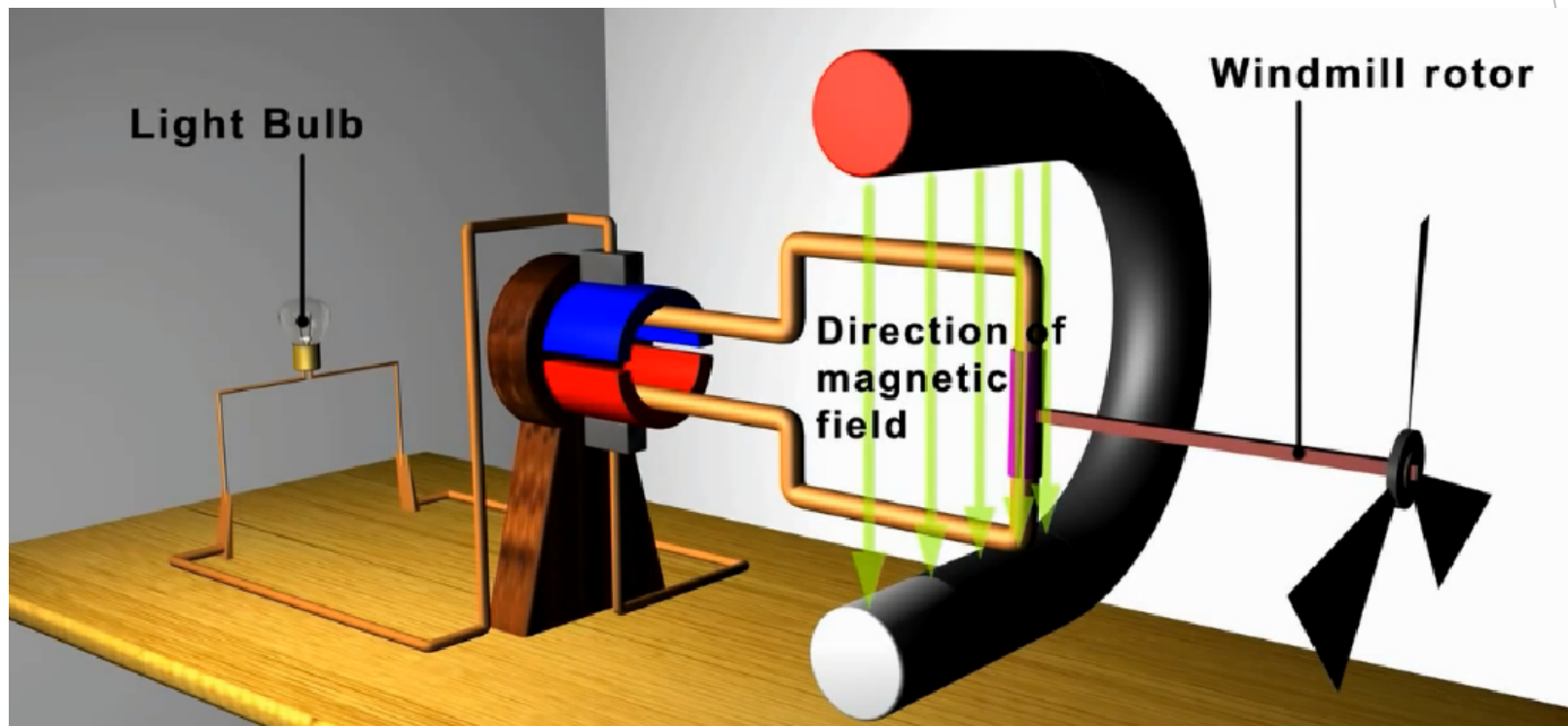
Máquina hexapolar



Máquina bipolar



# Recapitulando



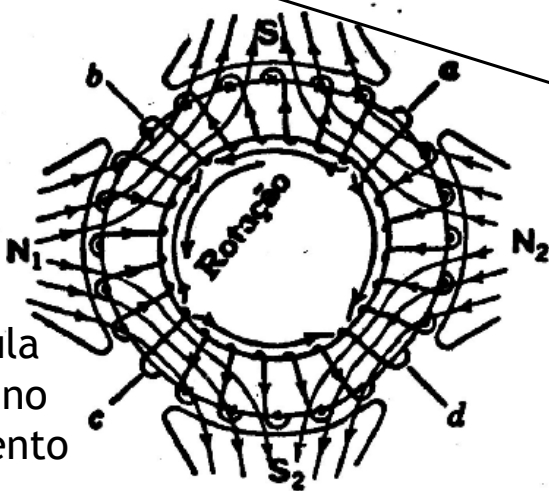
1:50 min

Quanto mais espiras mais linear a tensão gerada.



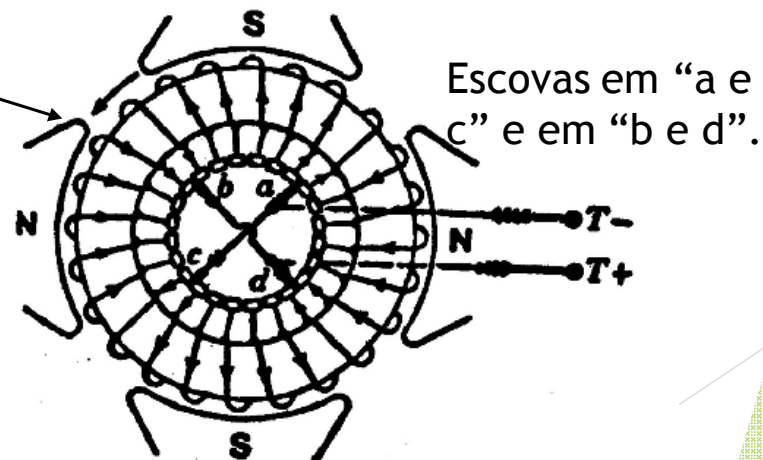
# Número de Polos

- ▶ As voltagens nos condutores que se acham sob os polos  $N$  são iguais e opostas as voltagens nos condutores que se acham sob os polos  $S$ .
- ▶  $a=c$  e  $b=d$ . ddp entre  $a$  e  $b$  diferente de 0.



Não circula corrente no enrolamento fechado.

Enrolamento incompleto



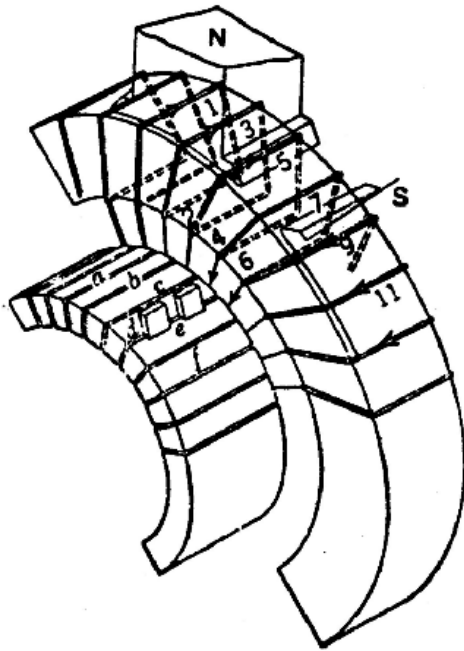
Escovas em "a e c" e em "b e d".

Enrolamento Completo

# Enrolamentos

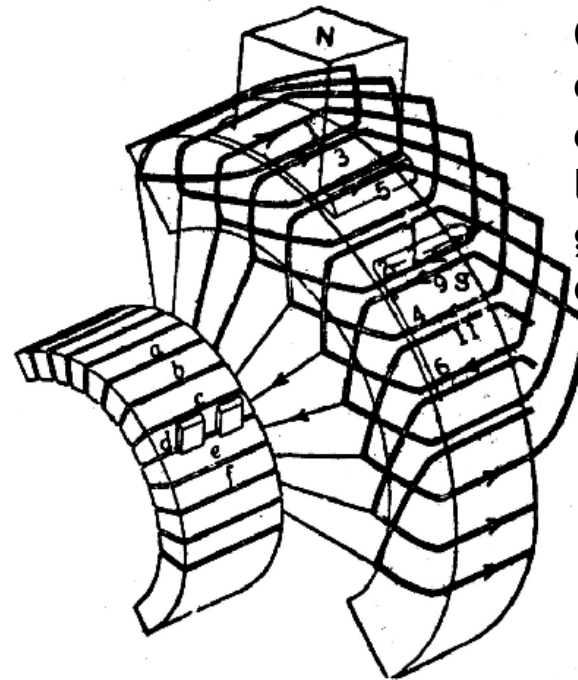
- ▶ Os geradores e motores CC podem ter diferentes enrolamentos do seu induzido como:

Enrolamento em Anel de Gramme



Somente um condutor da espira corta linhas de força.

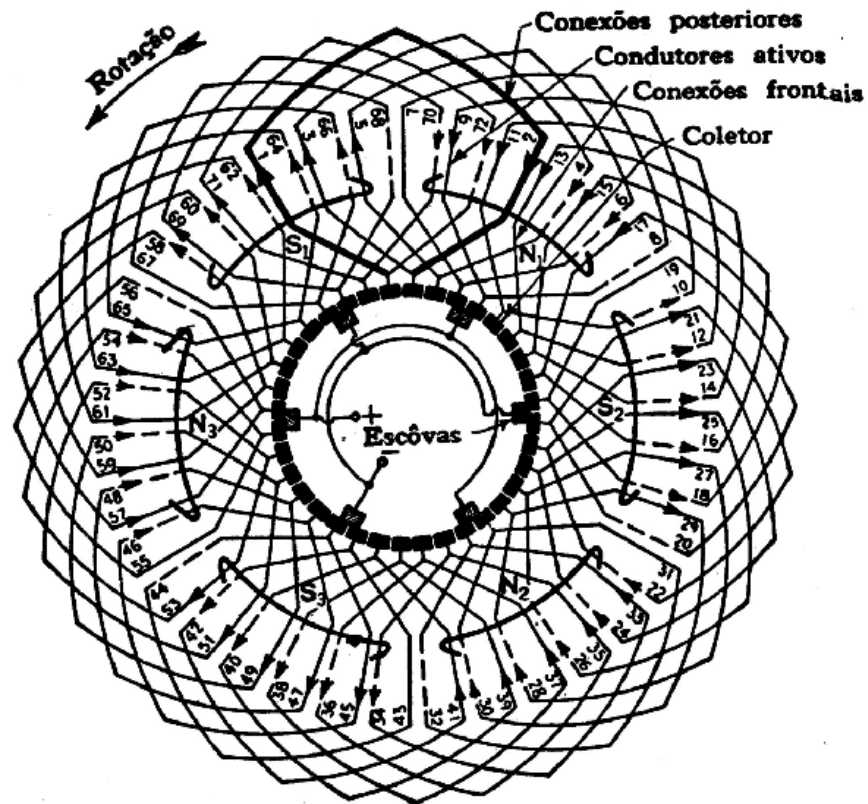
Enrolamento imbricado ou múltiplo



Os dois condutores da espira cortam linhas de força gerando o dobro de fem.



# Enrolamentos



Enrolamento imbricado

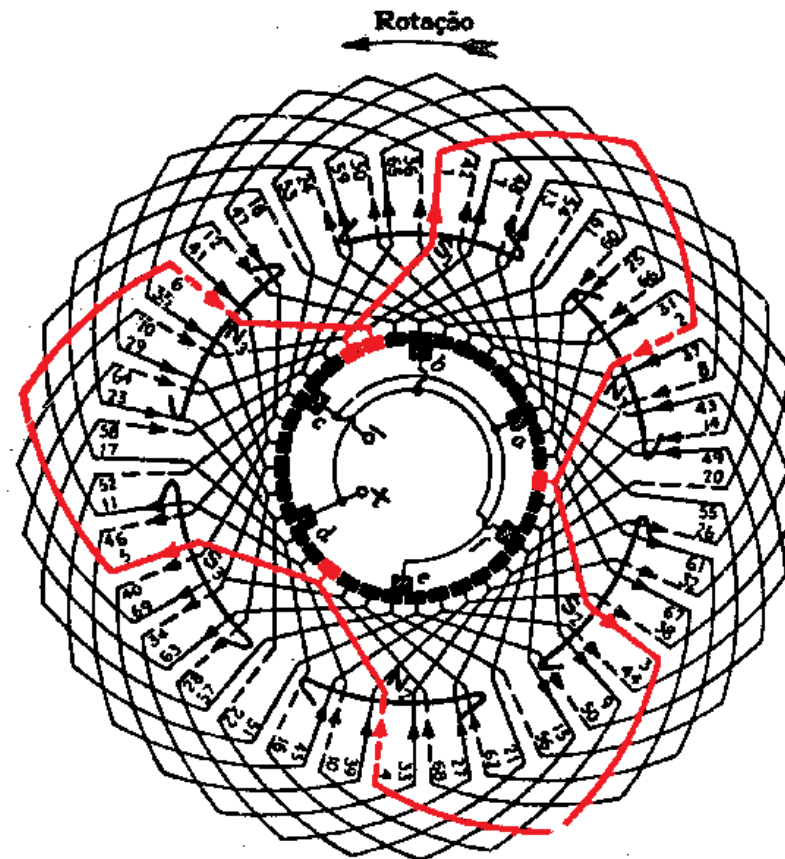
Para isso, a distância entre os condutores da espira deve ser tal que um fique sobre um polo e o outro condutor sobre um polo diferente (se um é norte o outro deve ser sul e virse-versa).

Ver caso dos condutores 1 e 2 de uma espira específica.

# Enrolamentos

- ▶ Enrolamentos Ondulados ou em Série

Redução no número de escovas já que existem sempre pelo menos 4 pontos com o mesmo potencial.



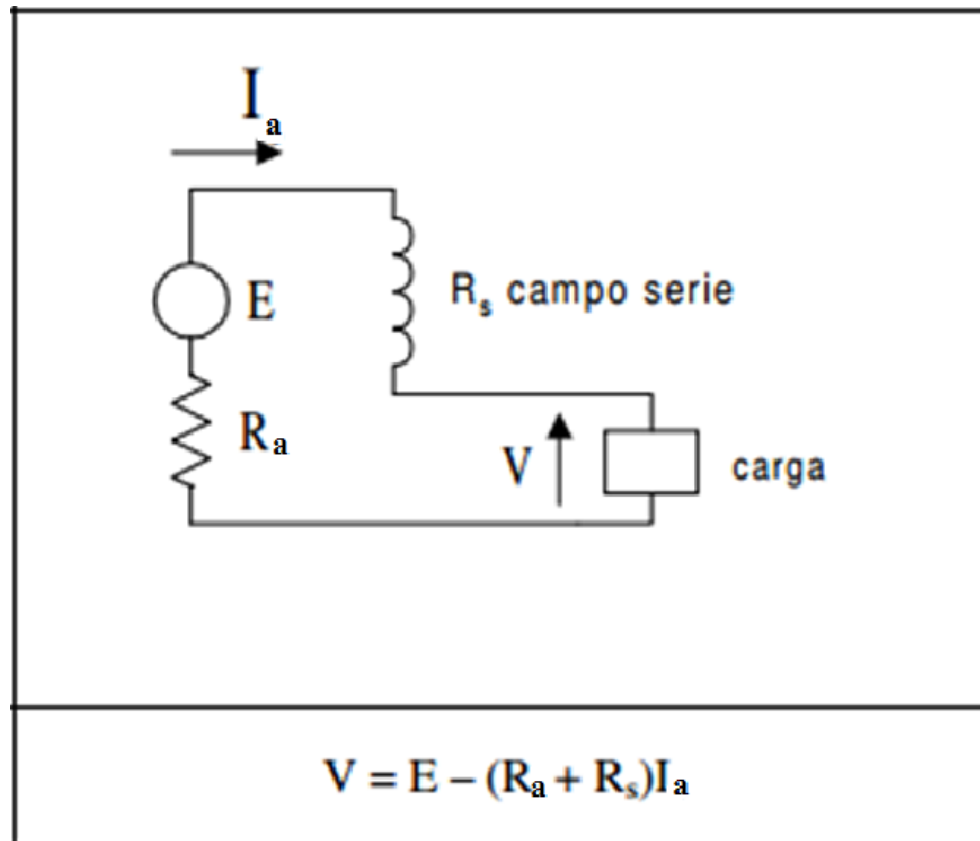


# Tipos de Excitação

- ▶ Existem diferentes formas de ligar a alimentação do Campo (estator) e a do induzido (rotor) em geradores e motores CC.
- ▶ A cada tipo de ligação dá-se o nome de Excitação.
- ▶ Para motores de pequeno porte, muitas vezes a excitação é independente pois, pode-se utilizar imãs permanentes.
- ▶ Para motores de grande porte utiliza-se um eletroímã que precisa de alimentação.

# Tipos de Excitação

## ► Excitação Série





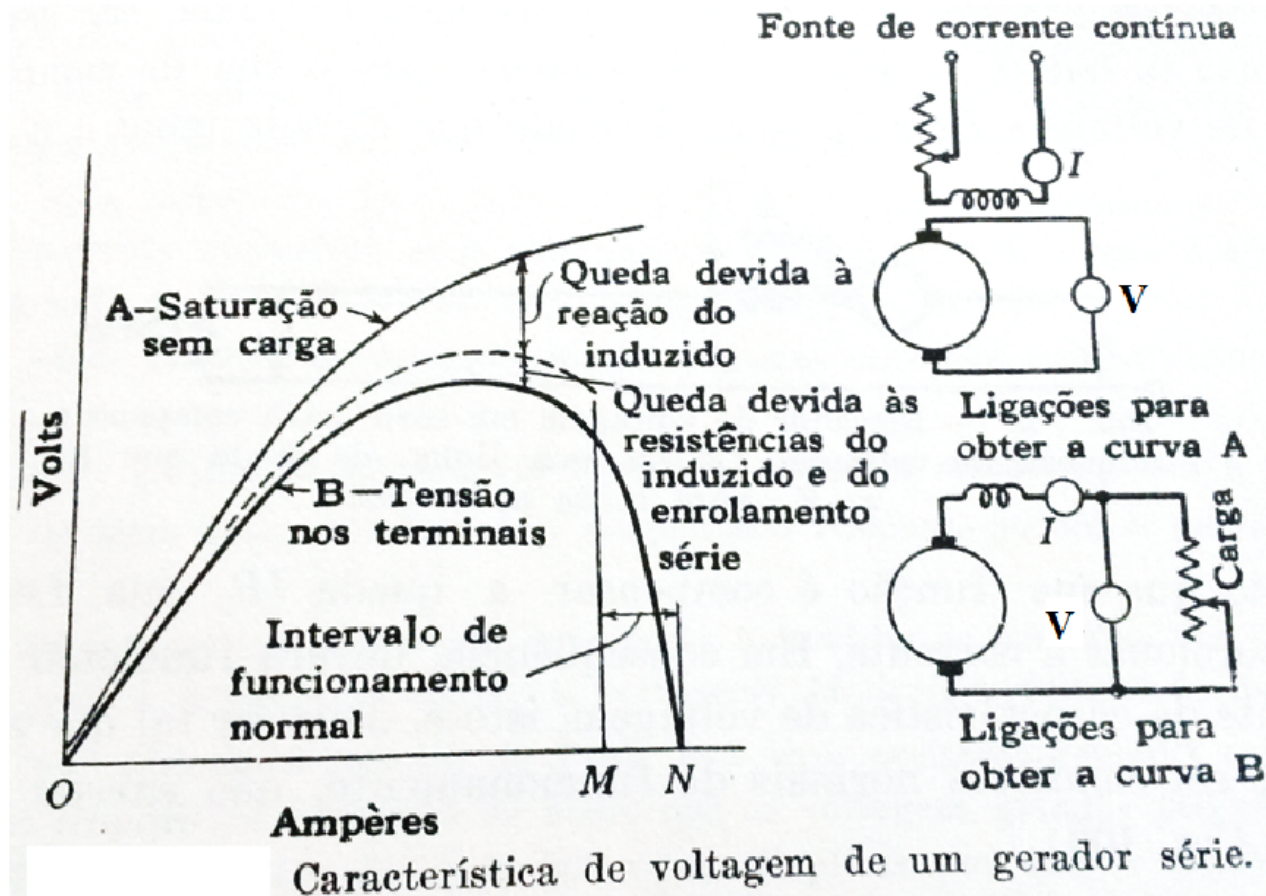
# Tipos de Excitação

## ▶ **Excitação Série**

- ▶ Bobinas de campo em série com enrolamento da armadura;
- ▶ Só há fluxo no entreferro da máquina (campo) quando a corrente da armadura for diferente de zero (máquina carregada);
- ▶ O fluxo é proporcional à corrente da armadura;
- ▶ Potência constante (a velocidade constante, saturação do campo);
- ▶ Conjugado elevado em baixa rotação (motor);
- ▶ Velocidades muito altas quando retirada a carga (não utilizar transmissão por polias ou correias) - sem “resistência” do eixo.

# Curva do Gerador Série

- ▶ Nessa ligação a corrente de carga  $I_c$  é a mesma  $I_e$  e  $I_a$  também.
- ▶ Sem carga, a tensão nos terminais se deve somente ao magnetismo residual ( $I_c = I_e = I_a = 0$ ). Um caso ideal foi simulado com a montagem "A" utilizando excitação independente onde observa-se um comportamento quase linear entre tensão X corrente.



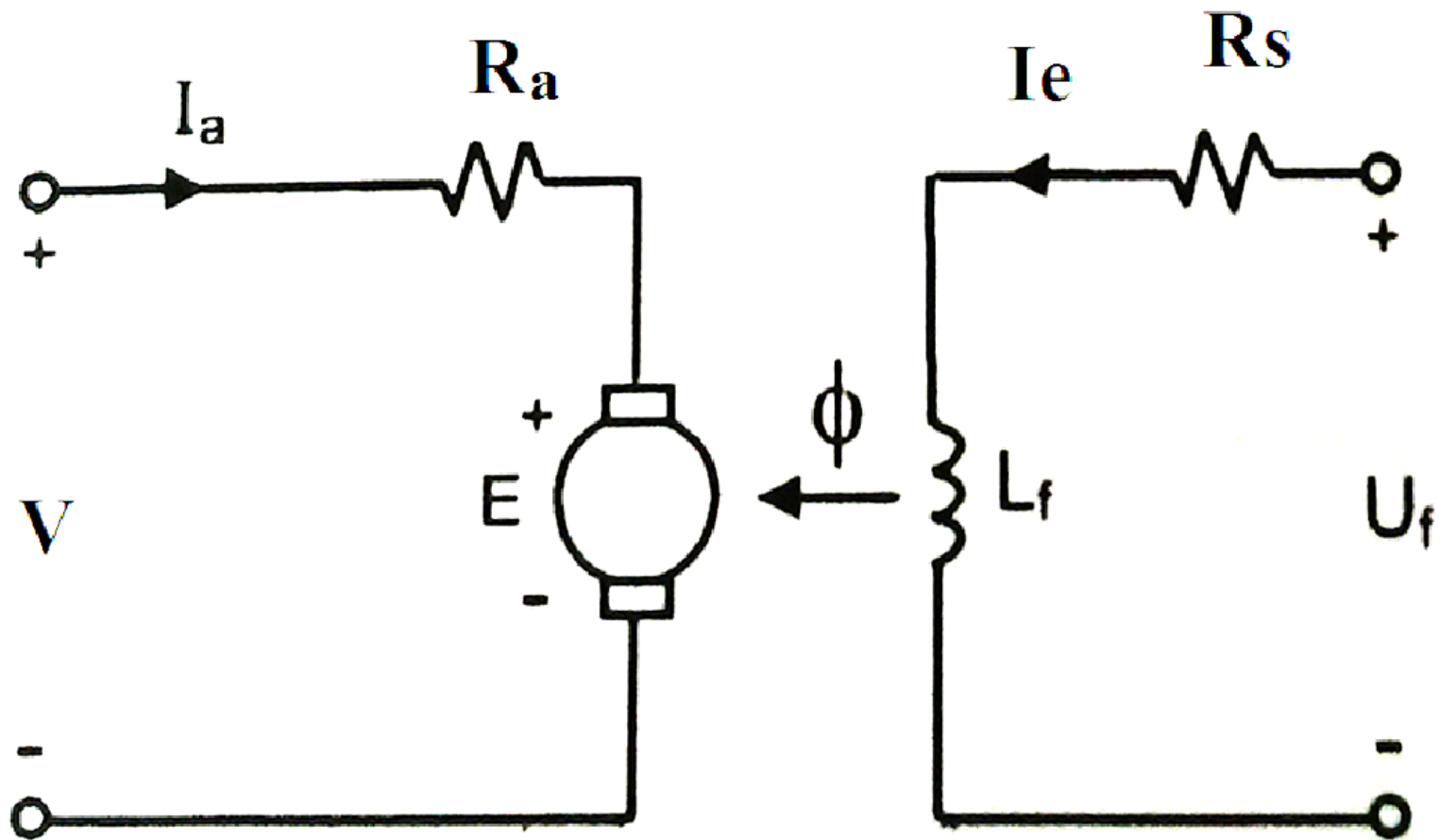


# Curva do Gerador Série

- ▶ Se não houvesse reação do induzido nem  $R_a$  e  $R_s$  a tensão de saída seria proporcional à corrente puxada.
- ▶ Considerando essas resistências e reações ainda observa-se uma faixa linear na curva antes de uma queda brusca da tensão gerada com pequenas variações da corrente de carga (considerando que o campo já atingiu sua saturação, um aumento na corrente de carga não leva a aumento na fem de modo que a queda de tensão nas resistências internas só aumenta reduzindo a fem máxima gerada - velocidade constante).

# Tipos de Excitação

## ► Excitação Independente





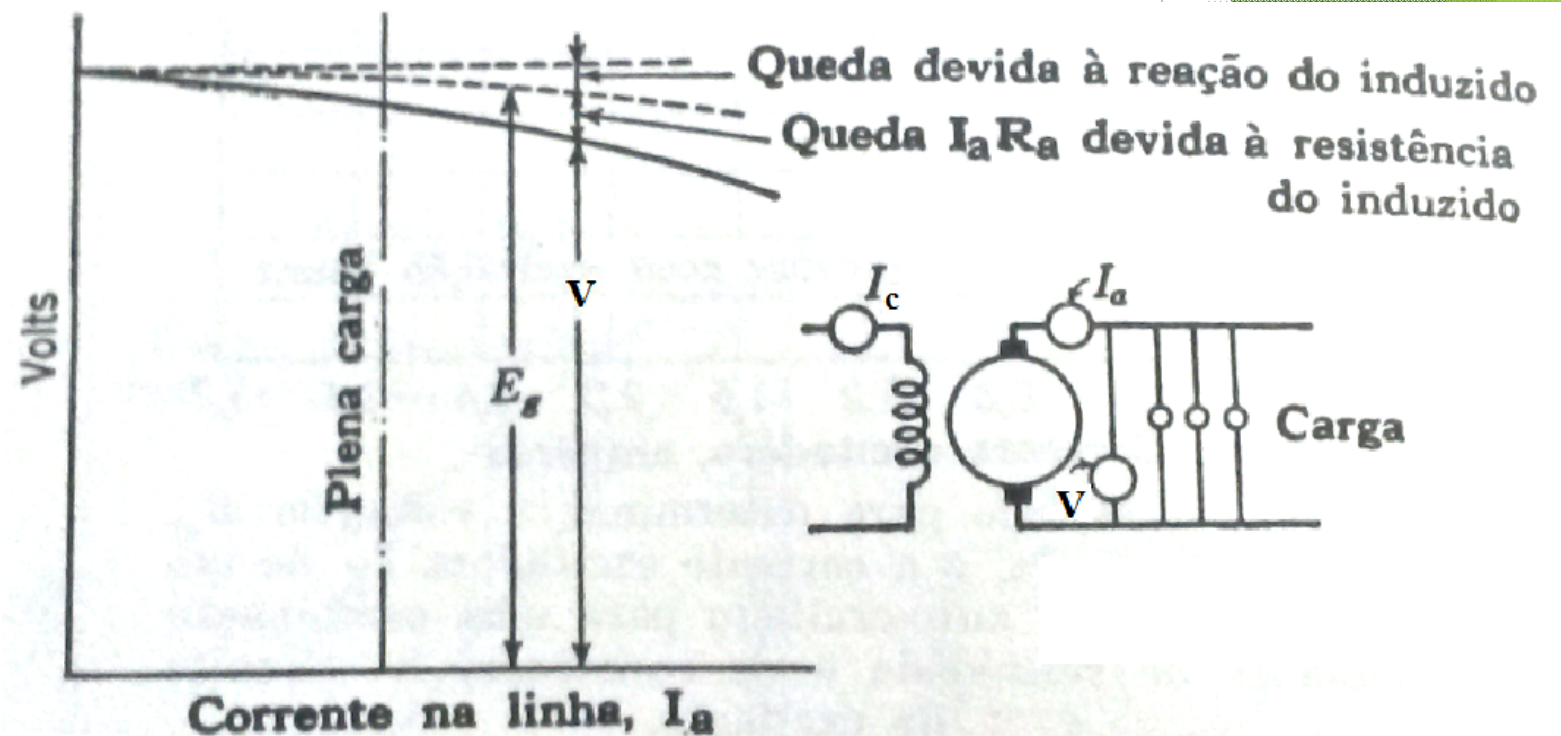
# Tipos de Excitação

## ▶ **Excitação Independente**

- ▶ Máquina excitada externamente pelo circuito de campo;
- ▶ Velocidade praticamente constante (motores);
- ▶ Velocidade ajustável por variação da tensão de armadura e a de campo (motores);
- ▶ Muito aplicados na indústria (motores);
- ▶ Máquinas laminadoras, extrusoras, fornos de cimento, etc;

# Curva do Gerador com Excitação Independente

- ▶ Variação de  $V$  com  $I_a$ ;
- ▶  $n$  e  $I_e$  constantes;



Curva característica da voltagem de um gerador com excitação independente.

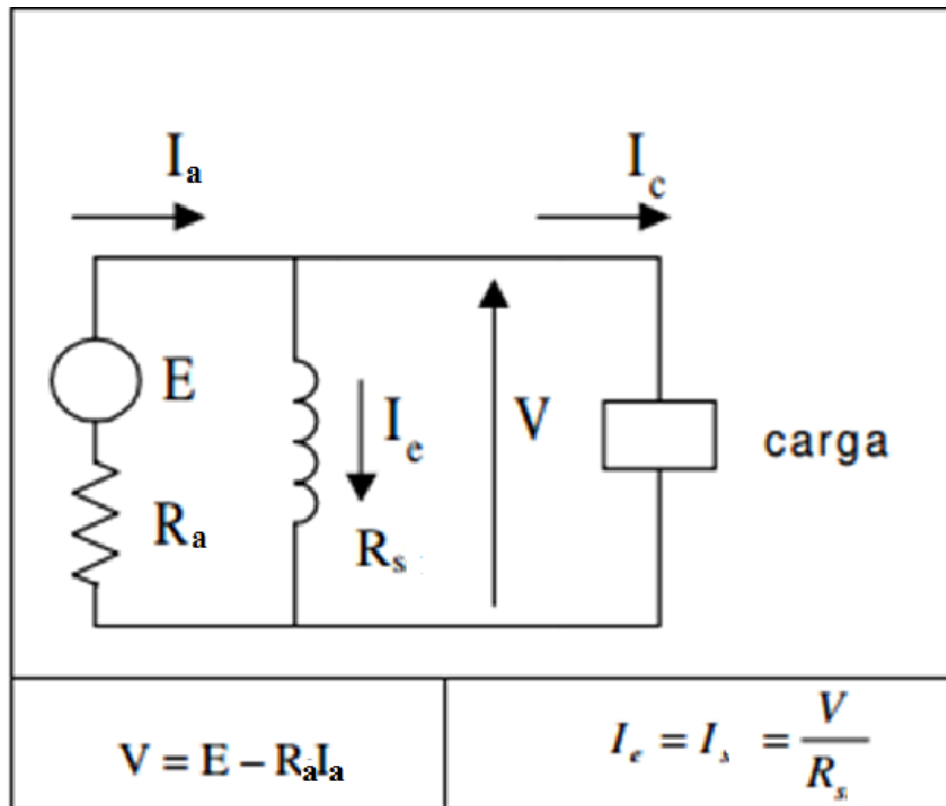


# Curva do Gerador com Excitação Independente

- ▶  $V$  diminui com o aumento de  $I_a$  porque:
  - ▶ Reação do Induzido aumenta com  $I_a$  diminuindo a  $E_g$  (fem gerada);
  - ▶  $V$  já é sempre menor que  $E_g$  devido a queda de tensão em  $R_a I_a$  que só aumenta com o aumento de  $I_a$ .

# Tipos de Excitação

- ▶ Excitação Paralela (Gerador/Motor Shunt/Gerador em Derivação)





# Tipos de Excitação

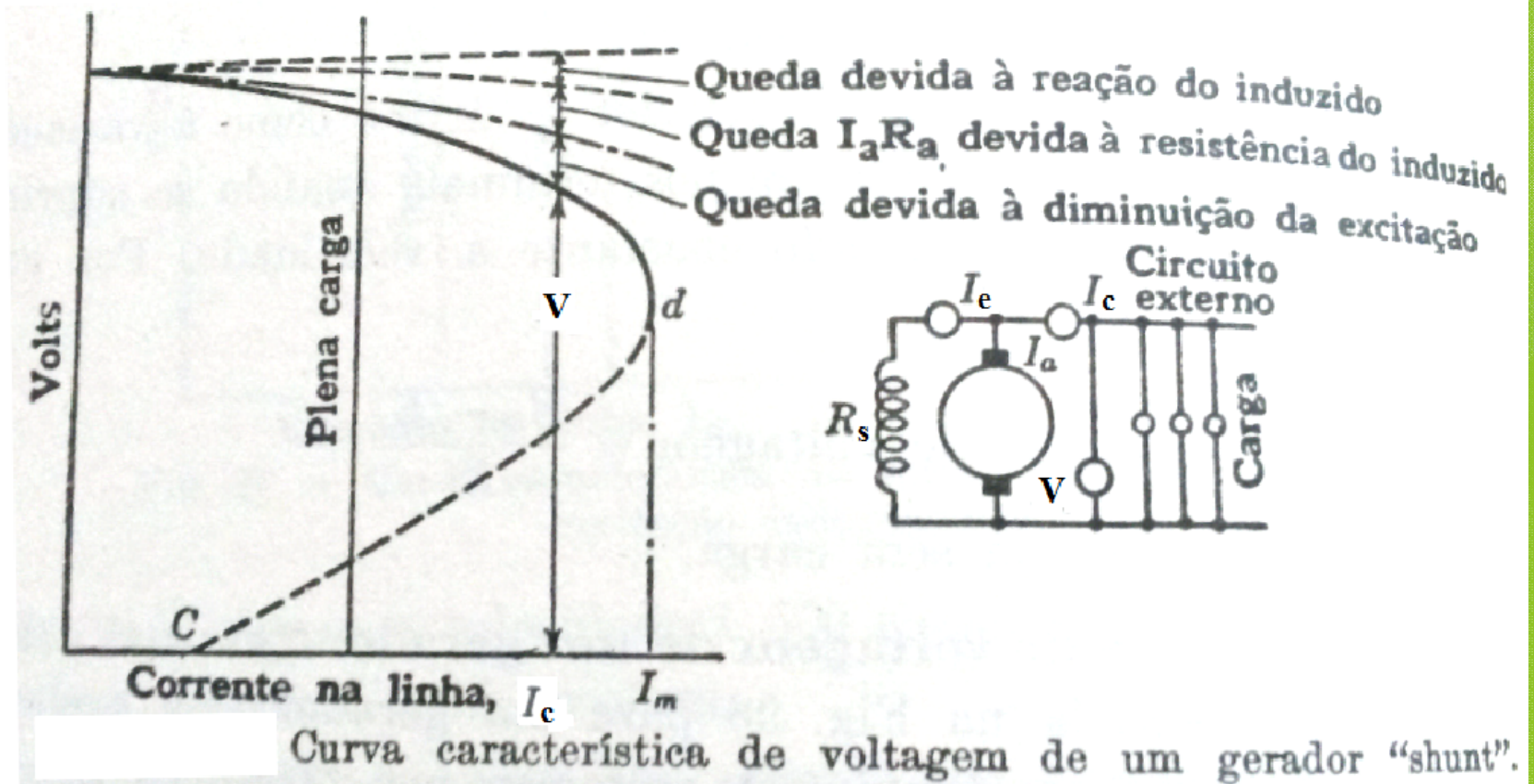
## ▶ Excitação Paralela (Gerador/Motor Shunt)

- ▶ Velocidade constante e ajustável por variação da tensão de armadura (motores).
- ▶ Para geradores -> se se manter a velocidade constante a tensão de armadura gerada é constante.
- ▶  $R_s \gg R_a$
- ▶  $I_e \ll I_a$

# Curva do Gerador Shunt

- ▶ Mede-se a corrente na carga pela tensão nos terminais (aplicada na carga).
- ▶ Varia-se a carga em paralelo.
- ▶  $n$  constante.

$n$ =velocidade





## Curva do Gerador Shunt

- ▶  $V$  cai com o aumento de  $I_c$  por que:
  - ▶ Redução do fluxo devido a Reação do Induzido;
  - ▶ Queda de tensão do induzido  $R_a I_a$ ;
  - ▶ A corrente de campo  $I_e$  é dada por  $V/R_s$ . Sendo  $R_s$  constante, quando  $V$  cai devido aos fatores anteriores, a corrente  $I_e$  cai diminuindo ainda mais o fluxo e conseqüentemente fazendo  $V$  ficar menor ainda.

# Curva do Gerador Shunt

- ▶ Quanto mais carga em paralelo, menor a resistência equivalente das cargas todas, percebida pelo gerador.
- ▶ Com resistência menor e mesma tensão  $V$  (a princípio) tem-se aumento na corrente  $I_c$ .
- ▶ Quanto maior  $I_c$  menor é  $V$  pelos motivos vistos no slide anterior.
- ▶ Quando  $I_c$  for tal que  $V$  alcance o ponto “d” na figura um aumento adicional de  $I_c$  causa redução alta em  $V$  de modo que a corrente  $I_e$  diminui a um ponto em que a corrente  $I_c$  acaba caindo abaixo de seu valor prévio.

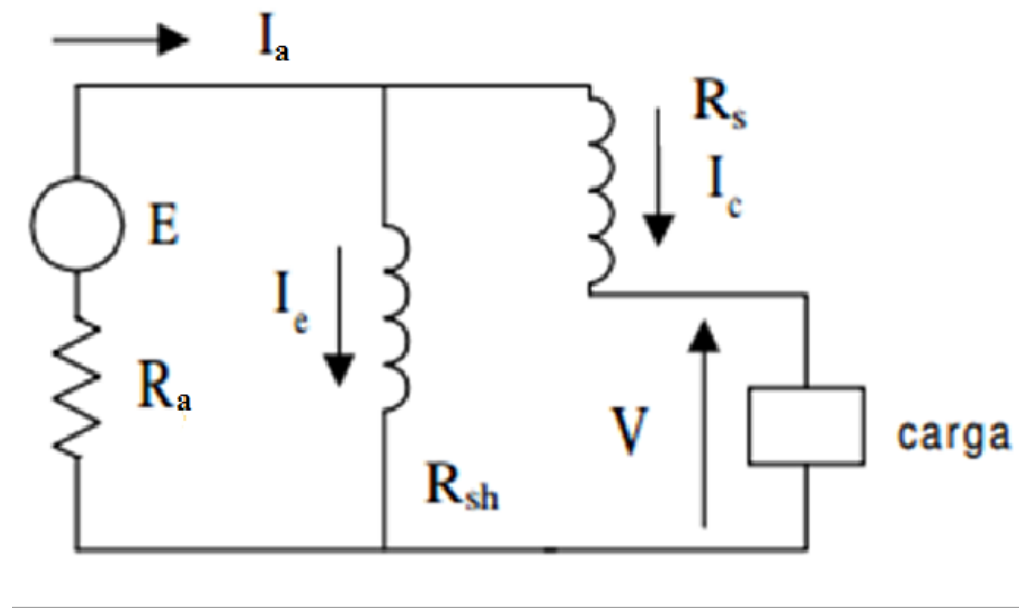


# Curva do Gerador Shunt

- ▶ No caso de um curto-circuito nos terminais do gerador (baixíssima resistência e altíssima corrente) a tensão nos terminais será quase nula sendo a única corrente e tensão percebidos, aqueles criados pelo magnetismo residual do campo ( $I_e=0$  -> caminho de maior resistência a: corrente quase não passa).
- ▶ Isso caracteriza uma proteção para o gerador uma vez que um aumento grande na corrente de carga leva a diminuição da tensão e conseqüentemente da corrente fornecida impedindo a queima do gerador.

# Tipos de Excitação

## ► Excitação Composta (Gerador/Motor Compound)



$$V = E - R_a I_a - R_s I_c$$

$$I_c = \frac{V + R_s I_c}{R_{sh}}$$



# Tipos de Excitação

- ▶ **Excitação Composta (Gerador/Motor Compound)**
- ▶ Combinação do Série com o Paralelo;
- ▶ Apresenta fluxo mínimo mesmo com o motor/gerador em vazio (descarregado);
- ▶ Pode ser projetado de modo a oferecer alta variedade de características.

# Curva do Gerador Compound

- ▶ Um problema nas ligações anteriores é que a variação da carga causa uma variação na tensão disponível para essa carga. Deseja-se num gerador cc que sua tensão seja constante!
- ▶ Uma solução (para geradores shunt ou com excitação independente) é colocar um reostato de campo em série com o enrolamento de campo. Quando  $V$  cair, a corrente  $I_e$  tenderá a cair conforme visto. Diminuindo a resistência no reostato tem-se aumento em  $I_e$  aumentando o campo e assim o  $V$ . Isso pode ser feito manual ou automaticamente.



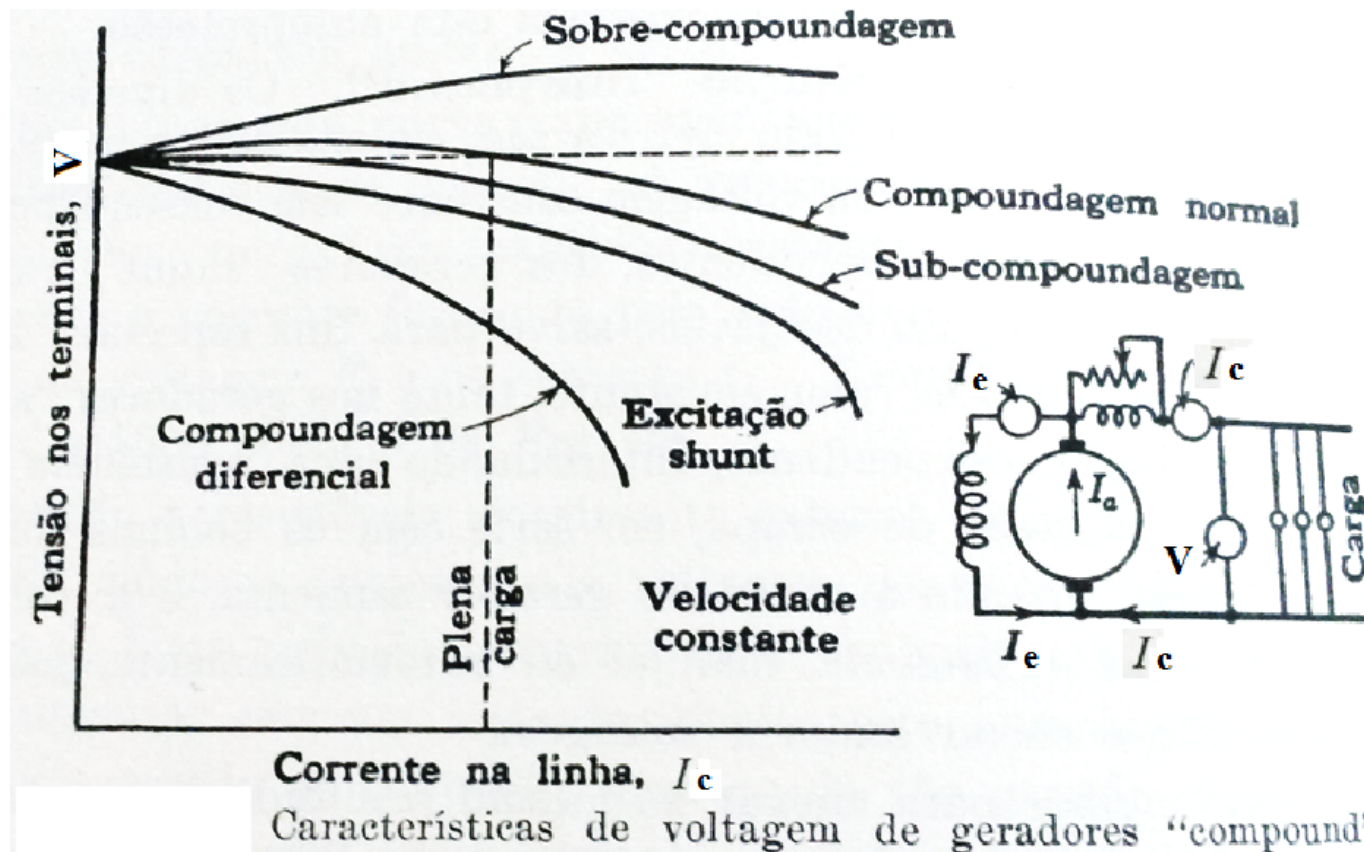
# Curva do Gerador Compound

- ▶ Uma solução mais prática é utilizar a ligação compound onde um enrolamento é colocado em série com a linha. Quando  $I_c$  passa por este enrolamento ele gera um campo complementar ao enrolamento já existente e assim quando  $I_c$  aumenta, o  $V$  se mantém praticamente constante (se as espiras do novo enrolamento forem bem dimensionadas) porque a queda que se observaria é compensada pelo crescimento do fluxo (diretamente proporcional à corrente) do segundo enrolamento compensando.



## Curva do Gerador Compound

- ▶ O ideal é que esse segundo enrolamento seja dimensionado de forma que a tensão gerada pelo gerador em sua plena carga, seja a mesma que a tensão gerada nesse gerador sem carga (efeitos de  $R_a$  e reação do induzido). Gerador com “compoundagem normal”





# Curva do Gerador Compound

- ▶ Se mais espiras forem utilizadas, tem-se uma tensão em plena carga maior que a tensão sem carga. Tem-se então um gerador com “sobre-compoundagem”.
- ▶ Num caso contrário temos um gerador com “sub-compoundagem”.
- ▶ Por fim, se o enrolamento série for ligado de forma invertida, ou seja de modo a criar um campo que se oponha ao do primeiro enrolamento, temos um gerador com “compoundagem diferencial”. Assim a tensão cai muito rapidamente com o aumento de  $I_c$  protegendo o gerador (Ex.: antigas soldas elétricas).

# Perdas de Eficiência em Gerador CC

- ▶ **Perdas de potência na armadura**
  - ▶  $I^2R$  do campo em derivação (paralelo);  
ou
  - ▶  $I^2R$  do campo em série;



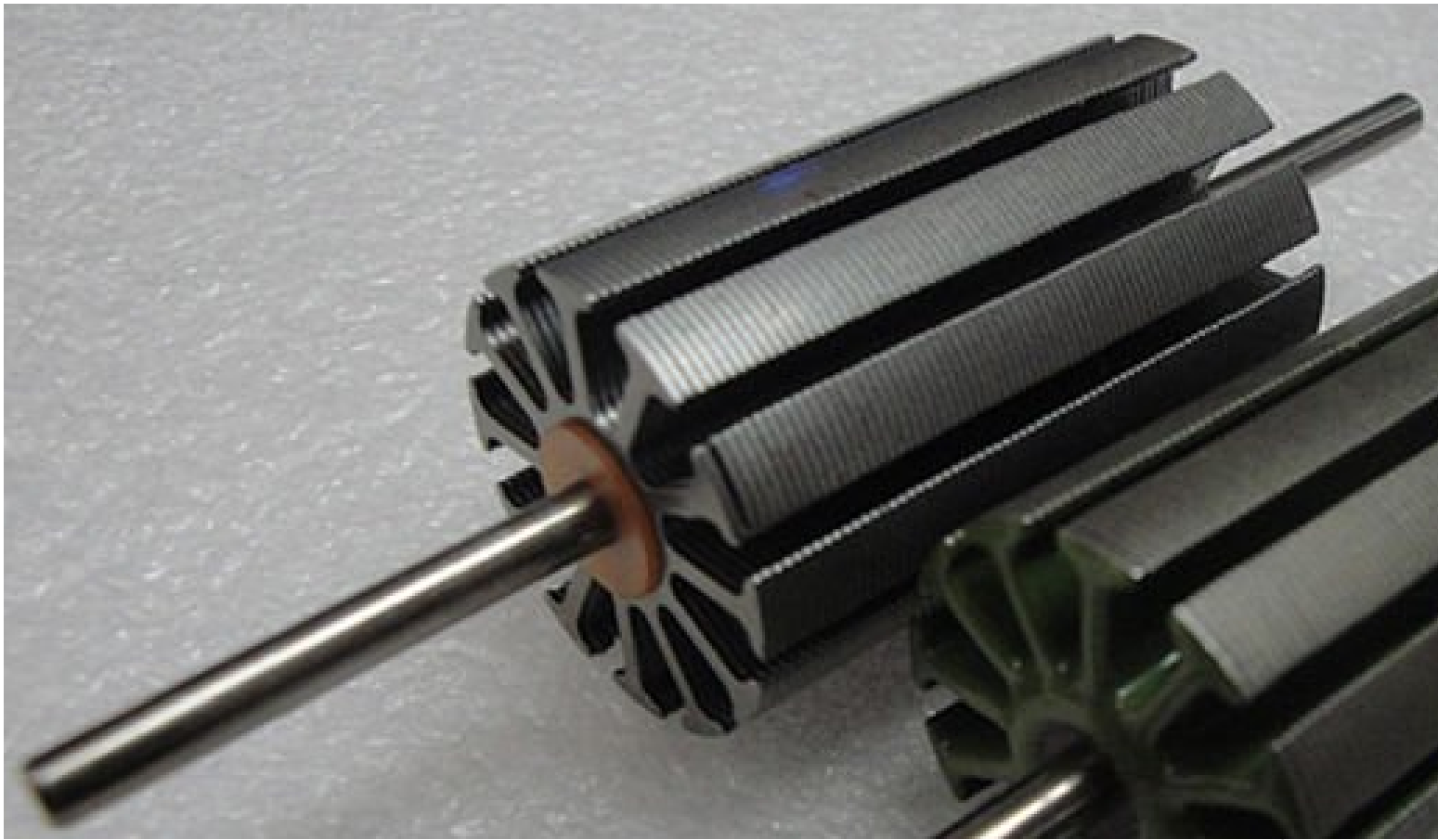
# Perdas de Eficiência em Gerador CC

- ▶ Perdas mecânicas ou rotacionais

- ▶ Perdas no ferro:

- ▶ Perdas por correntes parasitas ou Correntes de Foucault: potência dissipada que surge pela fem induzida no núcleo do rotor (que também corta linhas de fluxo) ocasionando a circulação de uma corrente nele. Essa corrente causa aquecimento desperdiçando energia. Pode ser reduzida utilizando núcleo laminado com isolante entre as lâminas e posicionando-as perpendicularmente ao eixo. Essa potência poderia ser utilizada por um circuito externo em vez de ser desperdiçada.

## Perdas de Eficiência em Gerador CC





# Perdas de Eficiência em Gerador CC

## ▶ Perdas por histerese

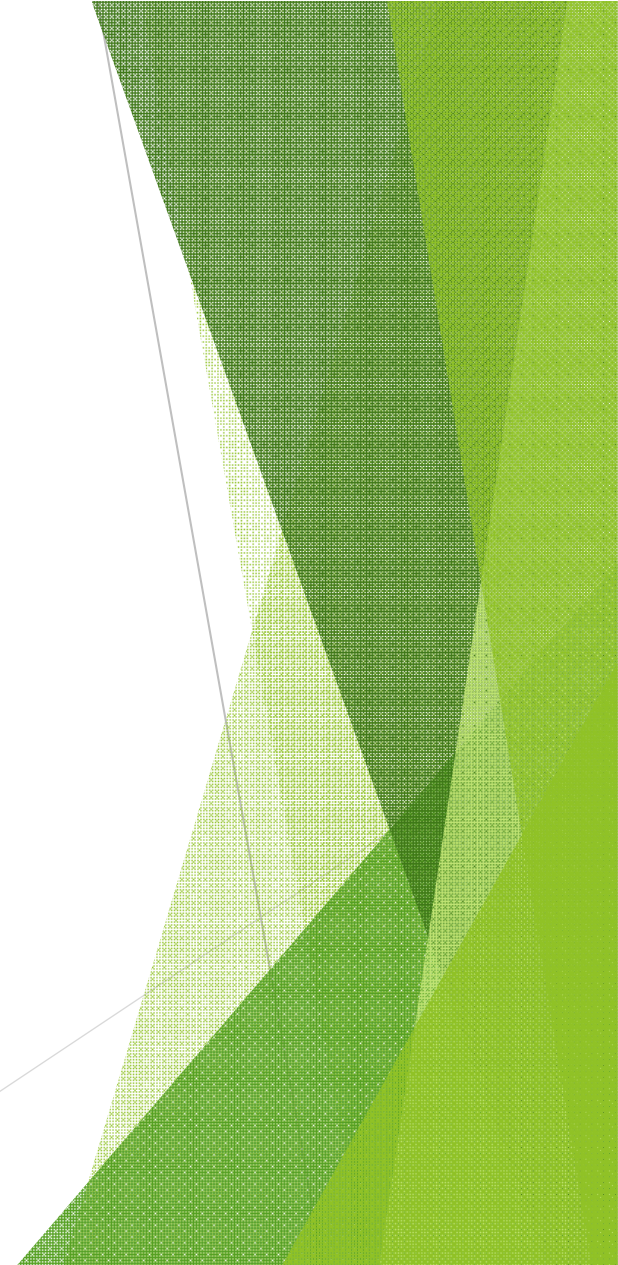
▶ Estas perdas ocorrem quando um material magnético é magnetizado inicialmente num sentido e em seguida no sentido oposto causando gasto de energia para se inverter a imantação do material (para a inversão do campo). Essa perda é proporcional à velocidade de rotação da máquina (quantidade de inversões de campo).

▶  $P = K_h * \text{r.p.m.} * B^{1,6}$      $B = \text{densidade de fluxo}$   
 $K_h = \text{constante}$

# Perdas de Eficiência em Gerador CC

## ▶ Perdas por atrito

- ▶ Atrito no mancal (rolamento);
- ▶ Atrito nas escovas;
- ▶ Perdas por vento ou atrito com o ar.





# Perdas de Eficiência em Gerador CC

▶  $Eficiência (\%) = \frac{saída}{entrada} \times 100$

▶ Também chamado de rendimento da máquina.

# Execício

Um gerador CC shunt, 55 kW, 250 V tem uma resistência no circuito de campo de  $62.5 \Omega$ , uma queda de tensão nas escovas de 3 V e uma resistência de armadura de  $0.025 \Omega$ . Quando ele fornece a corrente nominal, com velocidade e tensão nominais, calcule:

- As correntes de carga, campo e armadura. ( $I_c = 220 \text{ [A]}$ ;  $I_e = 4 \text{ [A]}$ ;  $I_a = 224 \text{ [A]}$ )
- A tensão gerada na armadura. ( $E_a = 258,6 \text{ [V]}$ ;) )