

ME2

Ricardo Luís (Professor Adjunto)

ISEL, 08/Abr/2021

Notebook realizado em linguagem de programação Julia versão: v"1.5.2"

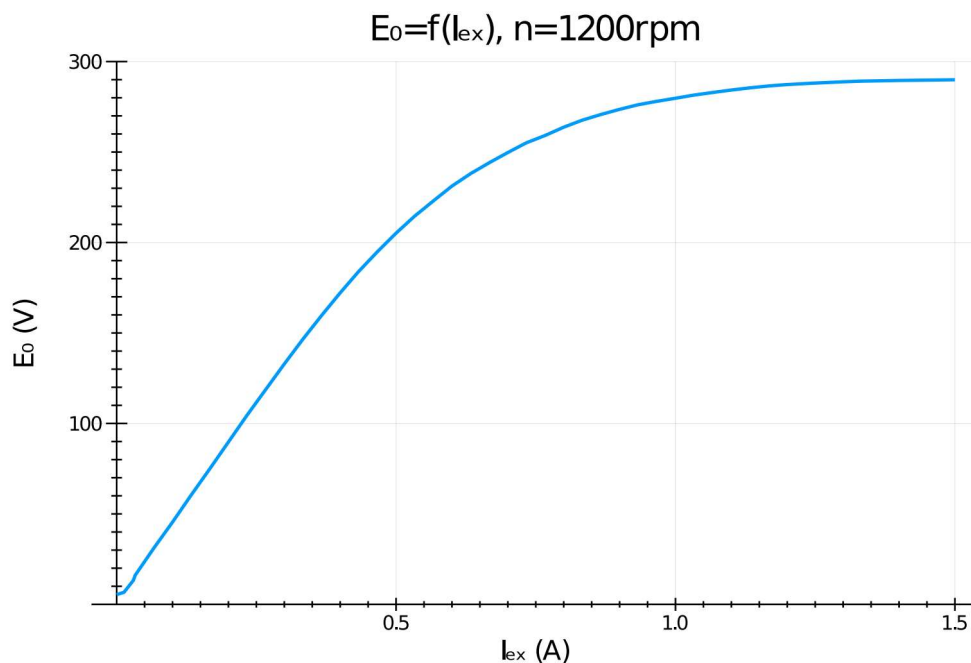
Motores de corrente contínua

Exercício 7

Considere um motor de corrente contínua, com a seguinte chapa de características:

► (17000.0, 250, 1200, 0.85, 0.6, 0.1, 12, 200, 3000)

• (P_u , U_n , n_n , η_n , R_i , R_s , N_s , R_d , N_d) = (17e3, 250, 1200, 0.85, 0.6, 0.1, 12, 200, 3000)

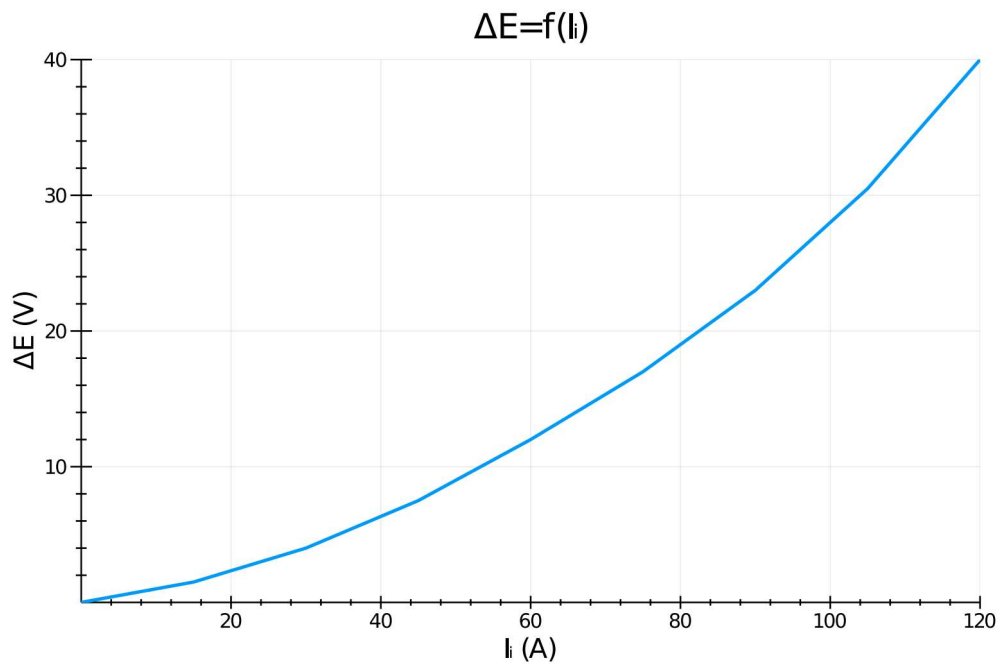


Nota

No enunciado original não é considerada a existência de reacção magnética do induzido, $\Delta E = 0V$. No entanto, na versão *notebook* para que se possa verificar a influência de ΔE , nas características de funcionamento do motor DC para os diferentes tipos de excitação, uma curva de $\Delta E = f(I_i)$ é também considerada como uma opção de análise.

- ▼ (
- 1: "Com ΔE ?"
 - 2: ☒

)



a) Com o motor em excitação derivação, determine o valor do reóstato de campo, nas condições nominais (U_n , I_n , n_n);

Para se ter a informação completa das condições nominais, falta determinar o valor da corrente nominal, I_n .

Da chapa de características do motor conhecem-se a potência útil (potência mecânica) e rendimento nominais, P_u e η_n , respectivamente, o que permite obter a potência absorvida, $P_{ab} = U_n I_n$. Assim:

$$I_n = \frac{P_n}{\eta U_n}$$

Calculando obtém-se $I_n = 80.0\text{A}$

$$I_n = P_u / (\eta_n \cdot U_n);$$

A velocidade, n , é dependente do fluxo magnético, $k\phi_0$, que por sua vez depende da corrente de excitação, I_d e da característica magnética da máquina.

Assim, a imagem do fluxo magnético presente na máquina é dada pela a força contra-electromotriz de vazio do motor, E'_0 :

$$E'_0 = E' + \Delta E$$

Sendo a a força contra-electromotriz efectiva, E' , dada por:

$$E' = U - R_i I_i$$

O valor de ΔE para I_n , consultando a sua curva de q.d.t é: $\Delta E = 18.9\text{V}$.

```
# forma computacional de consultar a curva de ΔE(Ii), por interpolação dos dados
# através do Pkg Dierckx.jl
begin
    ΔE_int=Spline1D(Ii,ΔE)
```

```

•  $\Delta E_n = \Delta E_{int}(I_n)$ 
•  $\Delta E_n = \text{round}(\Delta E_n, \text{digits}=1)$ 
• end;

```

Calculando as f.c.e.m., obtêm-se $E' = 202.0V$ e $E'_0 = 220.9V$.

```

•  $E = U_n - R_i * I_n$ ;

```

```

•  $E_{0n} = E + \Delta E_n$ ;

```

Note que tomou-se a corrente do rotor aproximadamente igual à corrente absorvida, $I_i \simeq I_n$, sendo no entanto, $I_i = I_n + I_d$. Contudo, não se está a desprezar a corrente I_d , mas sim a q.d.t. em R_i devido a I_d . Ou seja, $R_i I_d \lll R_i I$ para efeito de cálculo de E'_0 e uma vez que I_d ainda não está calculada.

A característica magnética foi obtida à mesma velocidade inscrita na chapa de características da máquina, n_n , por conseguinte, obtêm-se dela directamente a corrente de campo, I_d .

Consultando a característica magnética a 1200rpm, verifica-se para $E_0 = 220.9V \Rightarrow I_d = 0.56A$.

```

• # forma computacional de consultar a característica magnética, por interpolação dos
  dados através do Pkg Dierckx.jl
• begin
•   Id_int=Spline1D(E_0,Iex)
•   Id=Id_int(E_0n)
•   Id=round(Id, digits=2)
• end;

```

Assim, o reostato de campo para colocar o motor *shunt* nas condições nominais é dado por:

$$R_c = \frac{U_n}{I_d} - R_d$$

Calculando, obtêm-se $R_c = 246.4\Omega$

```

• begin
•   Rc=U_n/Id-Rd
•   Rc=round(Rc, digits=1)
• end;

```

Poderá então observar as diferenças de cálculo relativas à presença de q.d.t. devido à reacção magnética do induzido, ou seja, uma máquina com pólos auxiliares (caso mais frequente), conduz a $\Delta E \neq 0V$, variável em função da corrente do induzido. No caso de uma máquina com pólos auxiliares e enrolamentos de compensação, a reacção magnética do induzido estará compensada e assim tem-se:

$$\Delta E = 0 \Rightarrow E'_0 = E'$$

b) Utilizando o reóstato de campo calculado na alínea anterior, determine as características de velocidade, binário e mecânica deste motor (excitação derivação);

No motor de **excitação derivação**, as grandezas estão identificadas como: $k\phi_{01}$, n_1 , E_1 , ω_1 , T_d

Tomando o valor calculado de $R_c = 246.4\Omega$, resulta $I_d = 0.56A$, o que permite calcular o fluxo magnético da máquina em vazio, $k\phi_0$, que no motor de excitação derivação permanece constante. Assim, $k\phi_0 = 0.184V/rpm$

```
• begin
•      $k\phi_{01} = E_{0n} / n_{mag}$ 
•      $k\phi_{01} = \text{round}(k\phi_{01}, \text{digits}=3)$ 
• end;
```

A determinação da característica de velocidade $n = f(I)$ ou $n = f(I_i)$, uma vez que $I_i \simeq I$, consiste em sucessivamente realizar o cálculo da velocidade do motor para diferentes valores de corrente:

$$n = \frac{U - R_i I_i + \Delta E}{k\phi_0}$$

com n em rpm, $\Delta E = f(I_i)$ e $k\phi_0 = \text{constante}$, em V/rpm.

```
• # Característica de velocidade:
• begin
•      $I = 0:1:1.5 * I_n$ 
•      $I_i = I - I_d$ 
•      $\Delta E_i = \Delta E_{int}(I_i)$ 
•      $n_1 = (U_n - R_i * I_i + \Delta E_i) / k\phi_{01}$ 
• end;
```

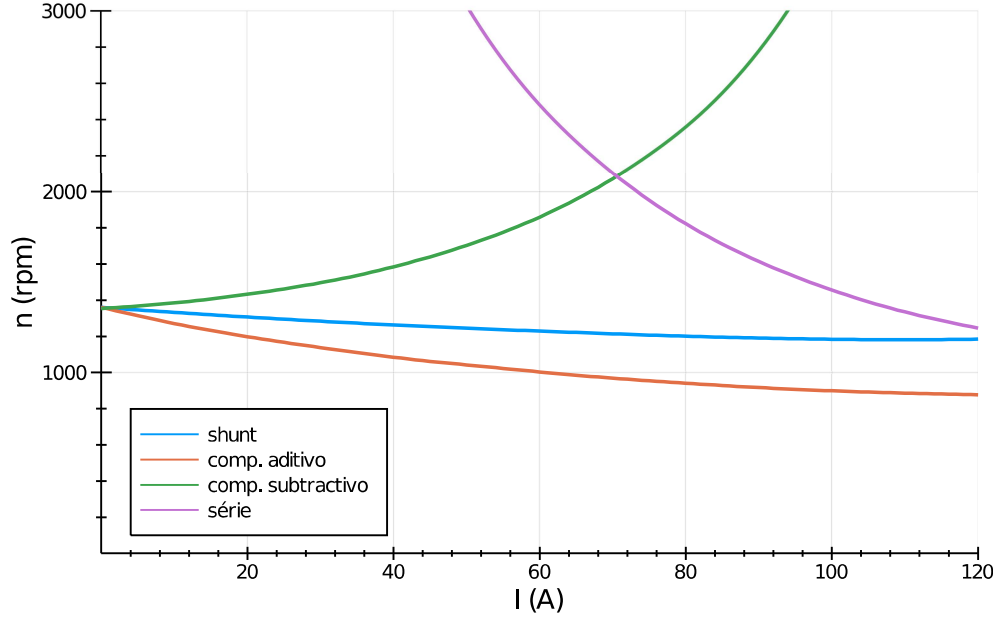
Similarmente, a característica de binário, $T = f(I)$ ou $T = f(I_i)$, podendo T ser o binário desenvolvido, T_d , ou o binário útil, T_u , atendendo que: $T_d = T_u + T_p$, consiste em sucessivamente realizar o cálculo do binário para diferentes valores de corrente:

$$T_d = \frac{E'}{\omega} I_i \quad ; \quad \omega = \frac{2\pi n}{60}$$

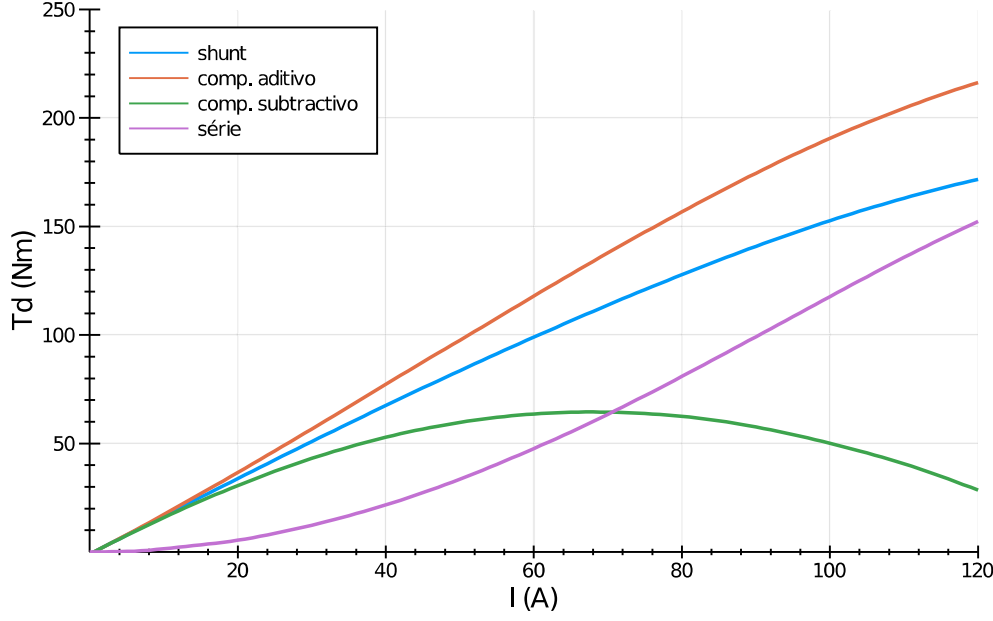
com ω em rad/s.

```
• # Característica de binário:
• begin
•      $E_1 = U_n - R_i * I_i$ 
•      $\omega_1 = 2\pi * n_1 / 60$ 
•      $T_{d1} = (E_1 / \omega_1) * I_i$ 
• end;
```

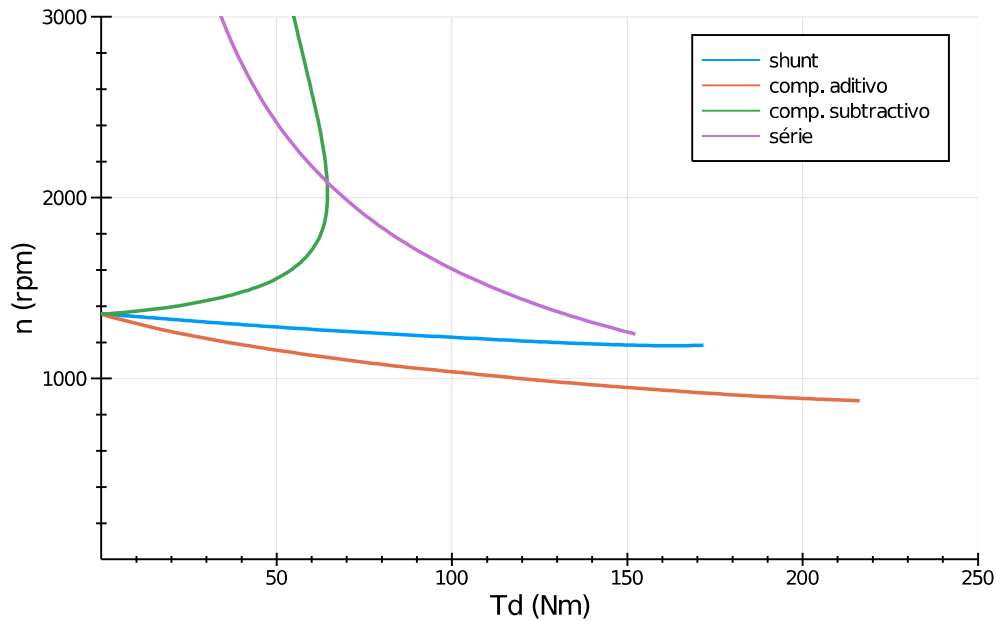
Características de velocidade



Características de binário



Características mecânicas



c) Idem, com excitação composta em longa derivação aditiva e subtrativa. Representar as características nos mesmos gráficos para comparação;

No motor de excitação composta, o fluxo magnético depende da contribuição das forças magnetomotrizes de ambos os enrolamentos de excitação e da forma como estes estão ligados entre si (de forma aditiva ou subtrativa):

$$I_{ex}N_d = I_dN_d \pm I_sN_s$$

sendo I_s a corrente que percorre o enrolamento de excitação série.

Assim, I_{ex} é a corrente de campo que representa o fluxo total da máquina, sendo obtida por:

$$I_{ex} = I_d \pm \frac{N_s}{N_d} I_s$$

Assim, a característica de velocidade para o motor de excitação composta em longa derivação é obtida por cálculo sucessivo da velocidade do motor para diferentes valores de corrente, através de:

$$n = \frac{U - (R_i + R_s)I_i + \Delta E}{k\phi_t}$$

com $k\phi_t = k(\phi_d \pm \phi_s)$, em V/rpm obtido através da característica magnética da máquina.

No motor de **excitação composta aditiva**, as grandezas calculadas estão identificadas como: I_{ex2} , E_{02} , $k\phi_{02}$, n_2 , E_2 , ω_2 , T_{d2}

```

• Iex2=Id.+(Ns/Nd)*Ii
• E0_int1=Spline1D(Iex, E0) # função de interpolação para a caract. magnética
• E02=E0_int1(Iex2) # fem que contém os fluxos derivação + série
• kφ02=E02/nmag
• n2=(Un-(Ri+Rs)*Ii.+ΔEi)/kφ02
• E2=Un-(Ri+Rs)*Ii
• ω2=2π.*n2/60
• Td2=(E2./ω2).*Ii
• end;

```

No motor de **excitação composta subtrativa**, as grandezas calculadas estão identificadas como: Iex₃, E₀₃, kφ₀₃, n₃, ω₃, Td₃

```

• begin
• Iex3=Id.-(Ns/Nd)*Ii
• E03=E0_int1(Iex3) #fem que contém os fluxos derivação - série
• kφ03=E03/nmag
• n3=(Un-(Ri+Rs)*Ii.+ΔEi)/kφ03
• ω3=2π.*n3/60
• Td3=(E2./ω3).*Ii
• end;

```

d) Determinar as curvas características com o circuito de derivação desligado (motor série).
Representar as características nos mesmos gráficos para comparação;

No motor de **excitação série**, as grandezas calculadas estão identificadas como: Iex₄, E₀₄, kφ₀₄, n₄, ω₄, Td₄

```

• begin
• Iex4=(Ns/Nd)*Ii
• E04=E0_int1(Iex4) #fem que contém apenas fluxo série
• kφ04=E04/nmag
• n4=(Un-(Ri+Rs)*Ii.+ΔEi)/kφ04
• ω4=2π.*n4/60
• Td4=(E2./ω4).*Ii
• end;

```

e) Considere o motor com excitação separada, U_{exc} = 240V , com o reóstato de campo calculado na alínea a). Explícite a variação da característica de velocidade nas situações:

1. aumento de tensão do induzido;
2. diminuição do reóstato de campo;
3. aumento da resistência adicional.

No motor de **excitação separada**, as grandezas calculadas estão identificadas como: U_i, Iex₅, E₀₅, kφ₀₅, ΔE_{ii}, n₅, ω₅, Td₅

```

• begin
• Uexc=240

```

```

• Iex5=Uexc/(Rc1+Rd)
• E05=E0_int1(Iex5) #fem para excitação separada
• kφ05=E05/nmag
• ΔEi1=ΔE_int(I)
• n5=(Ui.-(Ri+Rad)*I.+ΔEi1)./kφ05
• E5=Ui.-(Ri+Rad)*I
• ω5=2π.*n5/60
• Td5=(E5./ω5).*Ii
• end;

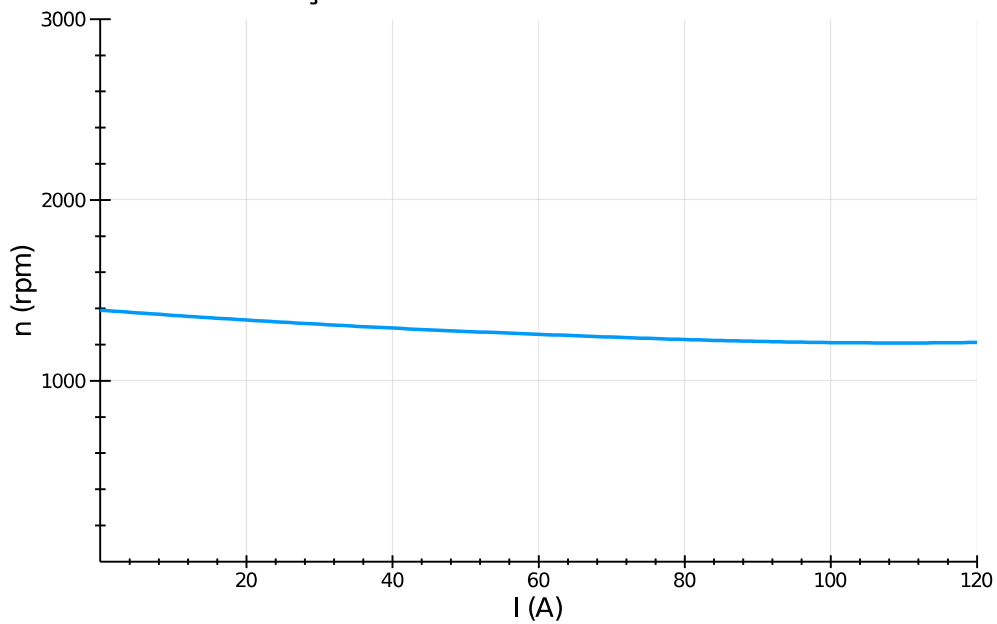
```

```

▼(
1: ▼(
1: "Tensão do induzido, Ui"
2:  250.0
)
2: ▼(
1: "Reostato de campo, Rc1"
2:  246.4
)
3: ▼(
1: "Resistência adicional, Rad"
2:  0.0
)
)

```

Variação da característica de velocidade



Nota

Apresenta-se uma alínea f) idêntica à alínea anterior, mas considerando a característica de binário:

Variação da característica de binário

