
Conv. Eletrom. De Energia 2

Análise de Partida Direta e Comportamento de Motor de Indução Trifásico.

Avaliação V

Alunos: Luiz Felipe da Cunha Silva
João Victor F. Cabral da Silva

Introdução e Objetivos

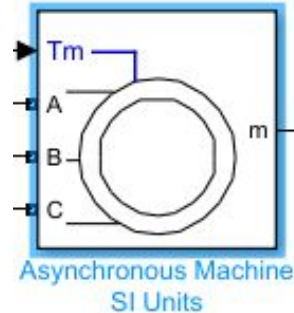
Motores de indução trifásicos do tipo gaiola de esquilo são amplamente utilizados na indústria devido à sua robustez, simplicidade construtiva e baixo custo de manutenção. Esses motores operam com boa eficiência e são frequentemente empregados em sistemas que não exigem controle fino de velocidade.

1. Nesta apresentação, será analisado o comportamento de um motor de indução selecionado no ambiente Simulink/MATLAB, submetido a uma partida direta com carga de 90% do torque nominal.
2. Além disso, será feita uma comparação com um motor real da WEG, de características semelhantes, com foco nos aspectos térmicos e de proteção.
3. Por fim, serão geradas expressões do torque em função da velocidade e da velocidade em função da corrente, com base nos dados de placa do motor real.

1. Modelo Escolhido no Simulink

Modelo Selecionado:

- Bloco: Asynchronous Machine SI Units
- Tipo de rotor: Gaiola de esquilo (Squirrel-cage)
- Modelo escolhido: Modelo 4 (pré-configurado pelo Simulink)



| Configuration | Parameters | Load Flow |
|--|------------|-----------|
| Rotor type: Squirrel-cage | | |
| Preset parameters | | |
| Squirrel-cage preset model: 04: 50 HP 460 V 60Hz 1780 RPM | | |
| Double squirrel-cage preset model: Open parameter estimator | | |
| Mechanical input: Torque Tm | | |
| Reference frame: Rotor | | |
| Measurement output | | |
| <input type="checkbox"/> Use signal names to identify bus labels | | |

| Configuration | Parameters | Load Flow |
|--|------------|-----------|
| Nominal power, voltage (line-line), and frequency [Pn(VA), Vn(Vrms), fn(Hz)]: [3.73e+04 460 60] | | |
| Stator resistance and inductance [Rs(ohm) Lls(H)]: [0.09961 0.000867] | | |
| Rotor resistance and inductance [Rr(ohm) Llr(H)]: [0.05837 0.000867] | | |
| Mutual inductance Lm (H): 0.03039 | | |
| Inertia, friction factor, pole pairs [J(kg.m^2) F(N.m.s) p()]: [0.4 0.02187 2] | | |
| Initial conditions | | |
| [slip, th(deg), ia, ib, ic(A), pha, phb, phc(deg)]: | | |
| [1 0 0 0 0 0 0] | | |
| <input type="checkbox"/> Simulate saturation Plot | | |
| [i(Arms) ; v(VLL rms)]: , 302.9841135, 428.7778367 ; 230, 322, 414, 460, 506, 552, 598, 644, 690] | | |

2. Simulação da Partida Direta

O que é a partida direta?

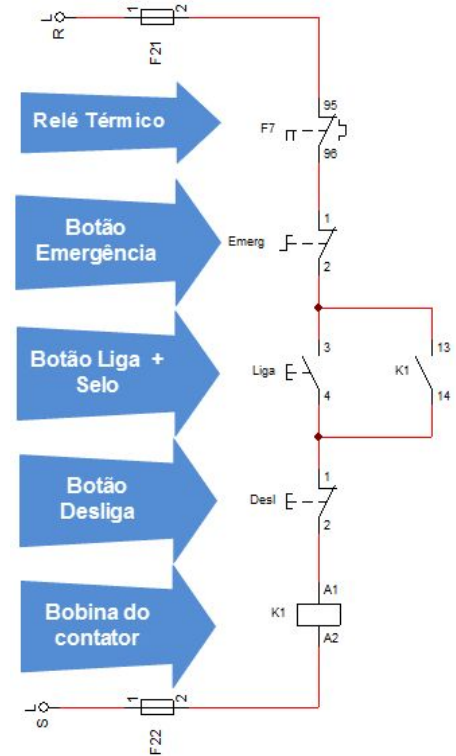
A partida direta é o método mais simples de acionamento de motores elétricos. Nela, o motor é ligado diretamente à rede elétrica, recebendo a tensão nominal completa logo no instante da partida.

Características principais:

- Corrente de partida muito elevada (6 a 8 vezes a nominal)
- Torque de partida também alto, proporcional ao quadrado da tensão ($\propto V^2$)
- Simples, barata e sem necessidade de equipamentos auxiliares
- Indicado apenas para cargas leves ou com baixo torque inicial

Limitação:

- Para cargas pesadas ou com torque inicial elevado, o torque de partida pode não ser suficiente, causando falhas na partida ou até rotação reversa, como observado na simulação.



2. Simulação da Partida Direta

Inicialmente, calculamos o torque nominal da máquina:

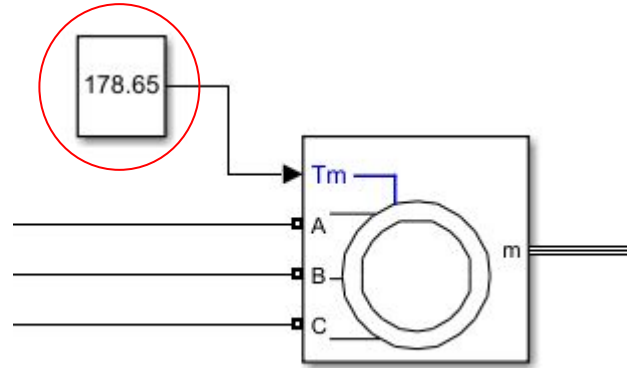
$$T_n = \frac{P_n}{\omega_s}$$

$$\omega_s = \frac{n_s \cdot 2\pi}{60} = \frac{1780 \cdot 2\pi}{60} = 186,40 \text{ rad/s}$$

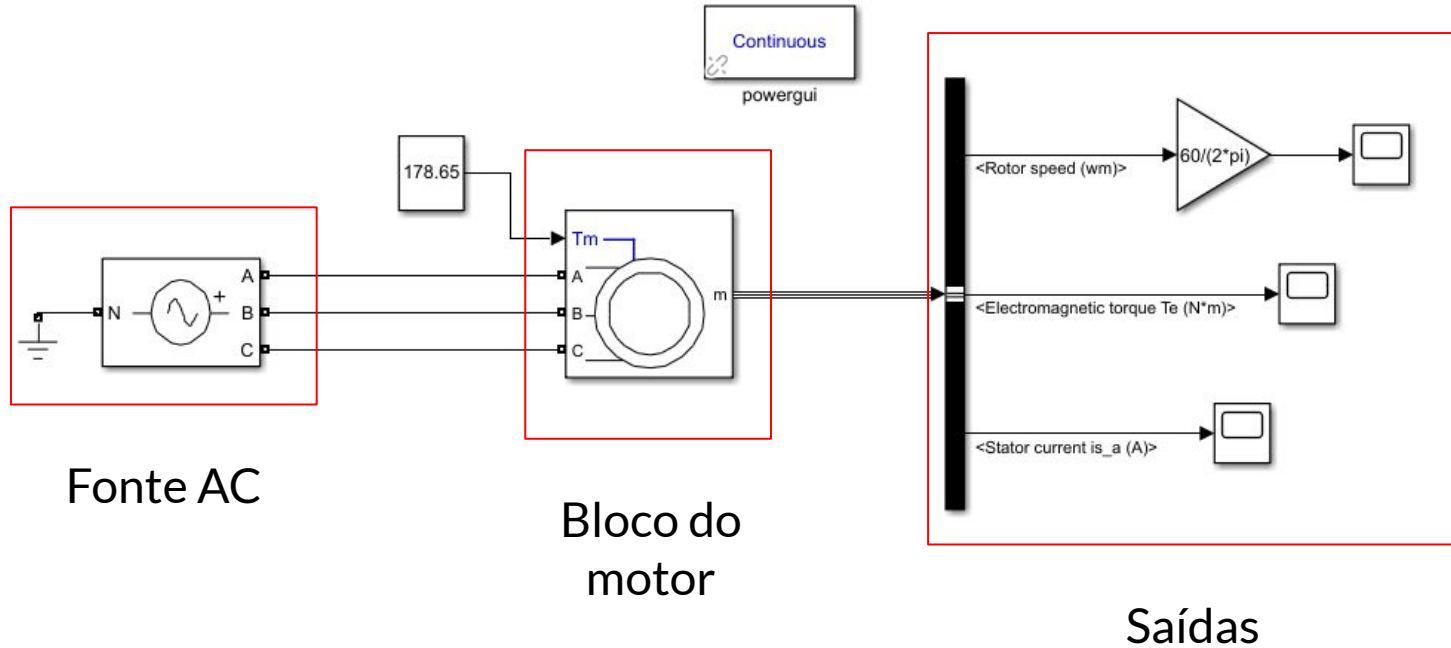
$$T_n = \frac{37 \times 10^3}{186,40} = 198,5 \text{ Nm}$$

Deve ser aplicado um torque de 90% de T_n , portanto: 178,65 Nm.

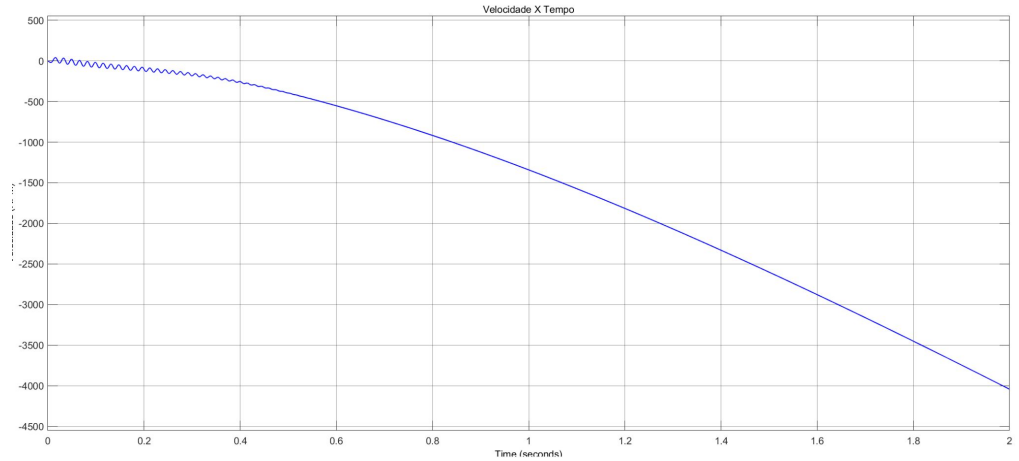
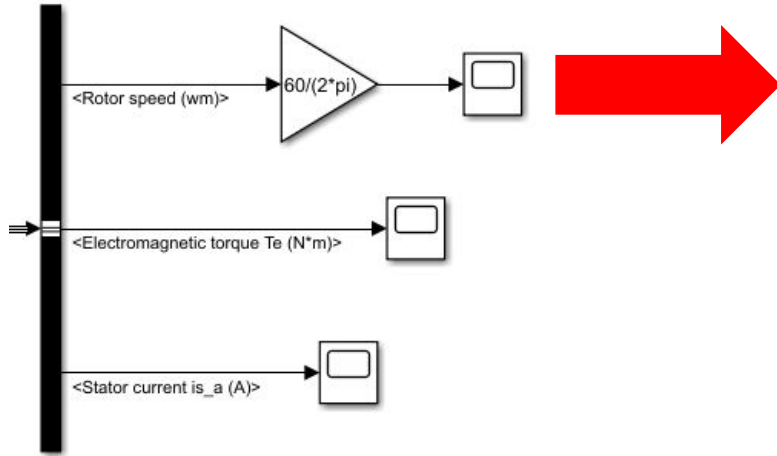
Na entrada do bloco inserimos uma constante com os 90% do torque nominal, conforme a Figura:



2. Simulação da Partida Direta



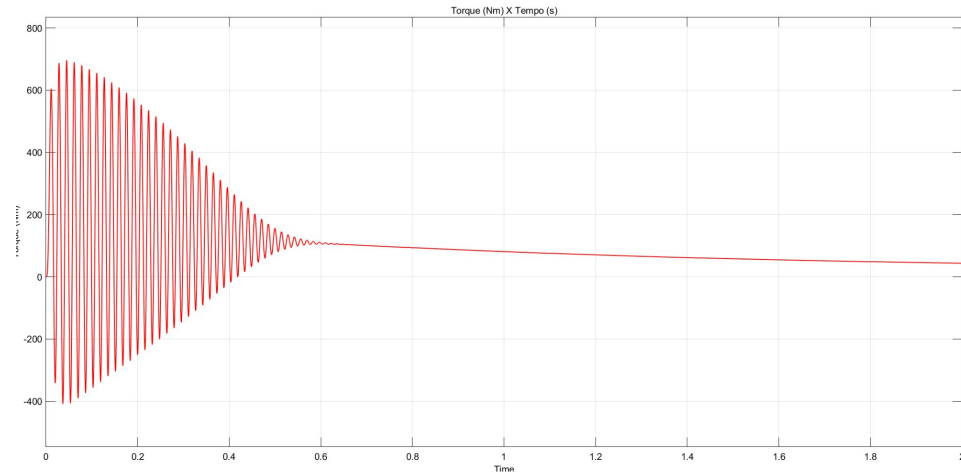
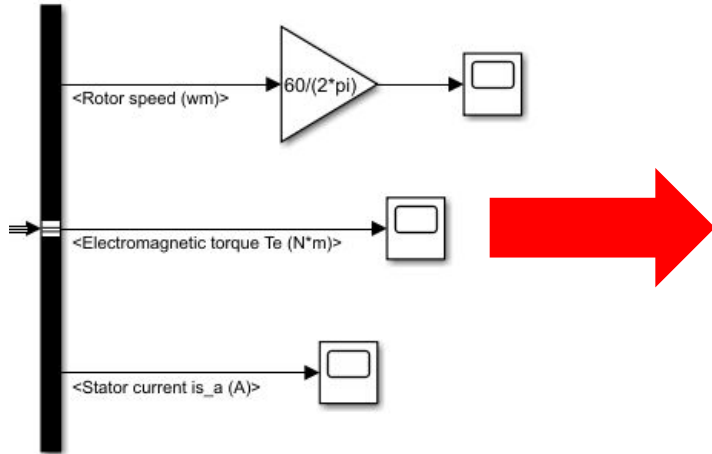
2. Simulação da Partida Direta



Nessa situação não existe partida com 90% de torque e tensão nominal (460 V), já que velocidade não evolui para um valor de regime estável.

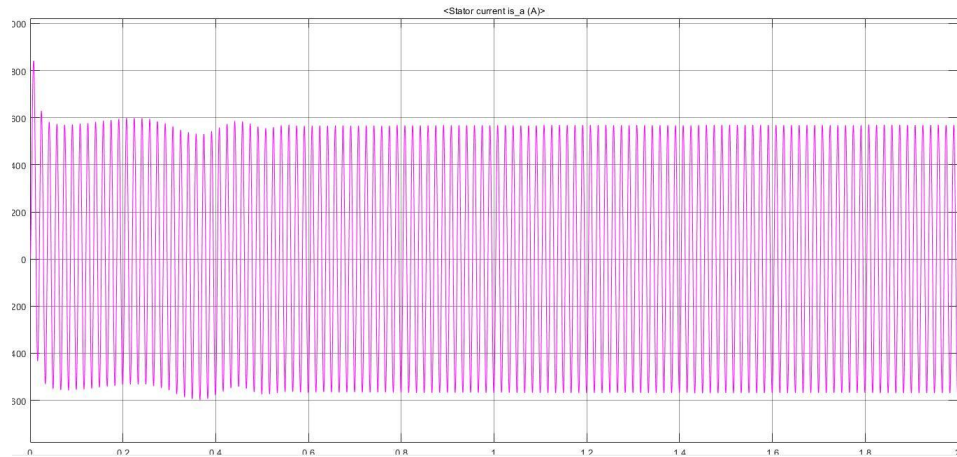
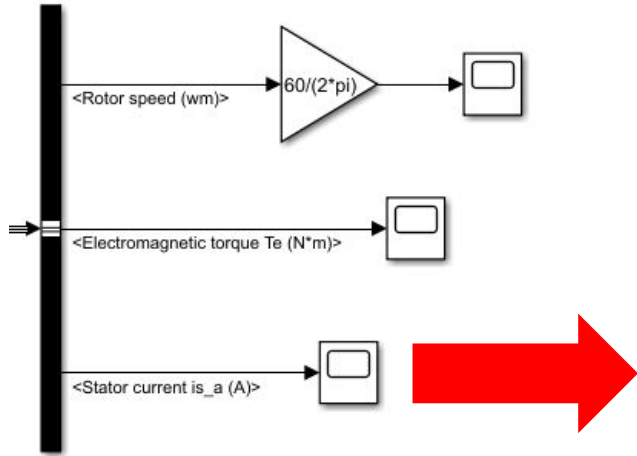
2. Simulação da Partida Direta

A falha ocorre porque o torque eletromagnético produzido pelo motor na tensão nominal não é suficiente para superar a soma do torque de carga e das perdas rotacionais em toda a faixa de aceleração.



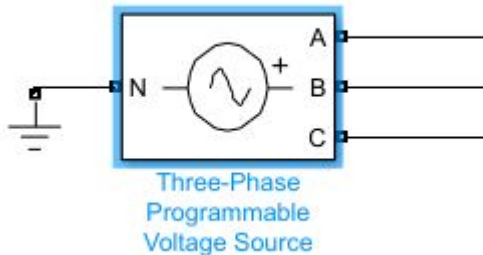
2. Simulação da Partida Direta

A corrente permanece em níveis de partida, indicando uma condição de rotor bloqueado.



2. Simulação da Partida Direta

Como não foi possível realizar partida na situação convencional, foi alterado a tensão na fonte para 20% a mais da tensão nominal do motor, conforme a figura:



Block Parameters: Three-Phase Programmable Voltage Source

Three-Phase Programmable Voltage Source (mask) (link)

This block implements a three-phase zero-impedance voltage source. The common node (neutral) of the three sources is accessible via input 1 (N) of the block. Time variation for the amplitude, phase and frequency of the fundamental can be pre-programmed. In addition, two harmonics can be superimposed on the fundamental.

Note: For "Phasor simulation", frequency variation and harmonic injection are not allowed. Specify Order = 1 and Seq = 1, 2 or 0 to inject additional fundamental components A and B in any sequence.

Parameters Load Flow

Positive-sequence: [Amplitude(Vrms Ph-Ph) Phase(deg.) Freq. (Hz)] [460 0 60]

Time variation of: Amplitude

Type of variation: Table of time-amplitude pairs

☐ Variation on phase A only

Amplitude values (pu): [1.2 1.0]

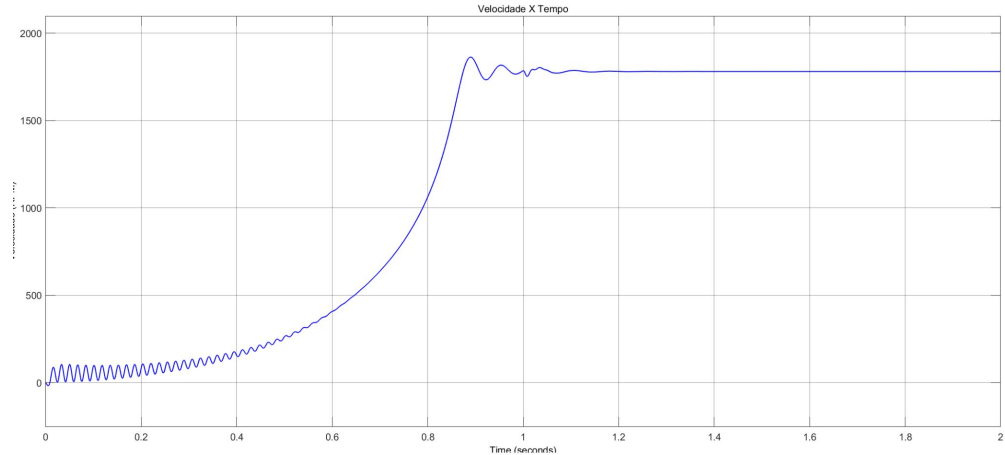
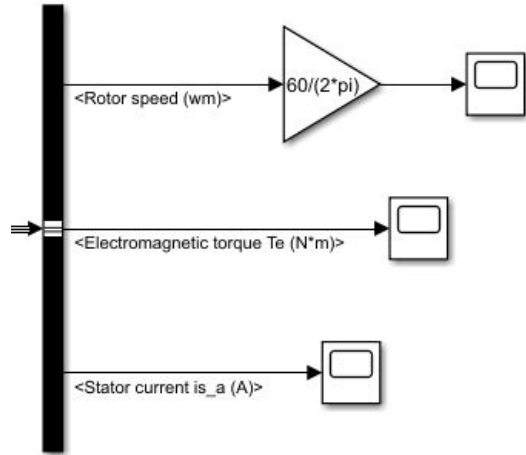
Time values: [0 1.0]

☐ Fundamental and/or Harmonic generation:

OK Cancel Help Apply

2. Simulação da Partida Direta

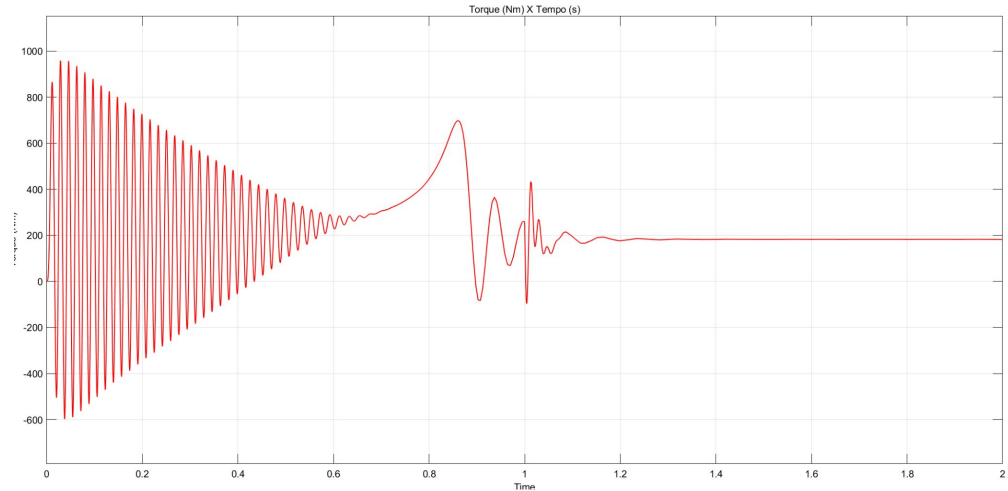
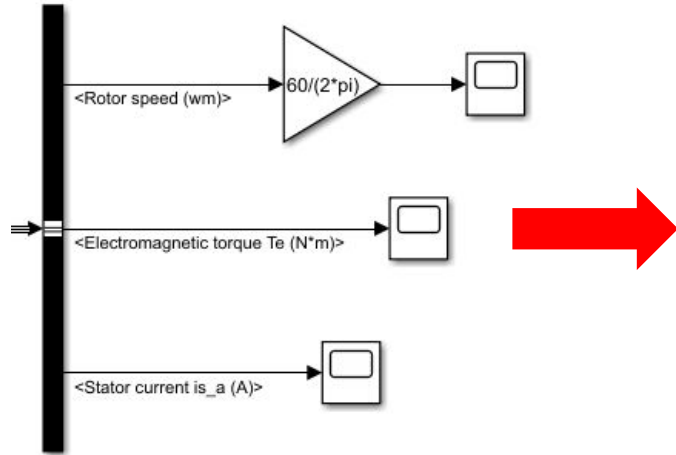
Portanto, temos os seguintes resultados



A partida é realizada com sucesso, obtendo um tempo de partida de aproximadamente 0,75s.

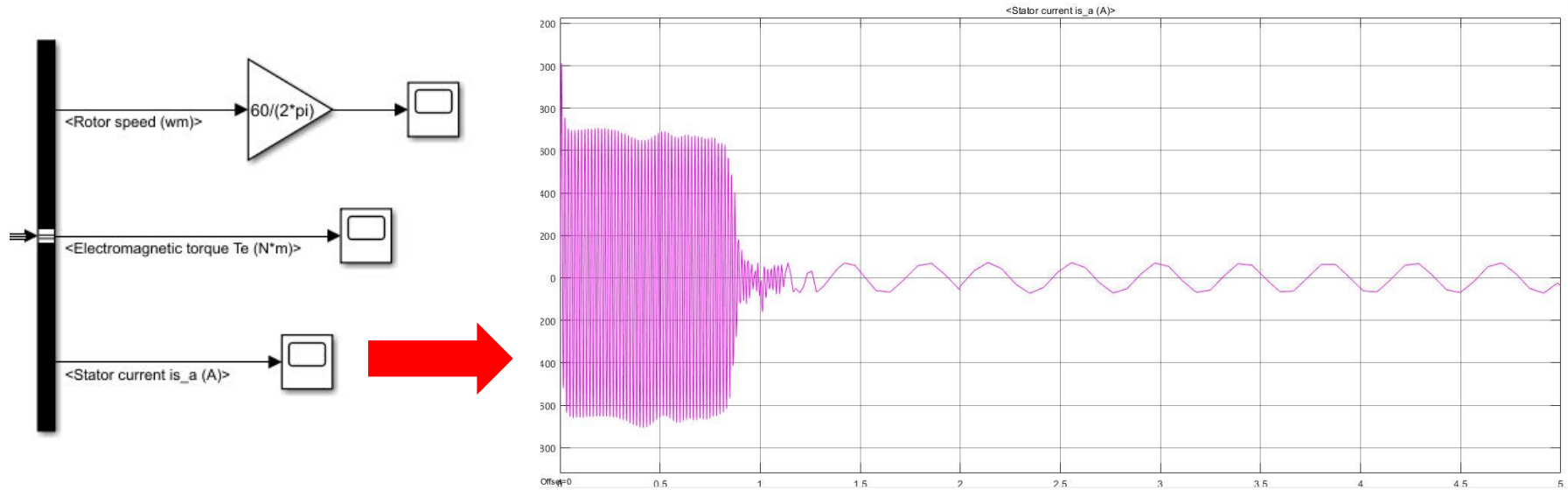
2. Simulação da Partida Direta

Portanto, temos os seguintes resultados



2. Simulação da Partida Direta

Portanto, temos os seguintes resultados



3. Motor WEG semelhante

O motor WEG escolhido foi o W22 IR3 Premium Trifásico



FOLHA DE DADOS

Motor Trifásico de Indução - Rotor de Gaiola

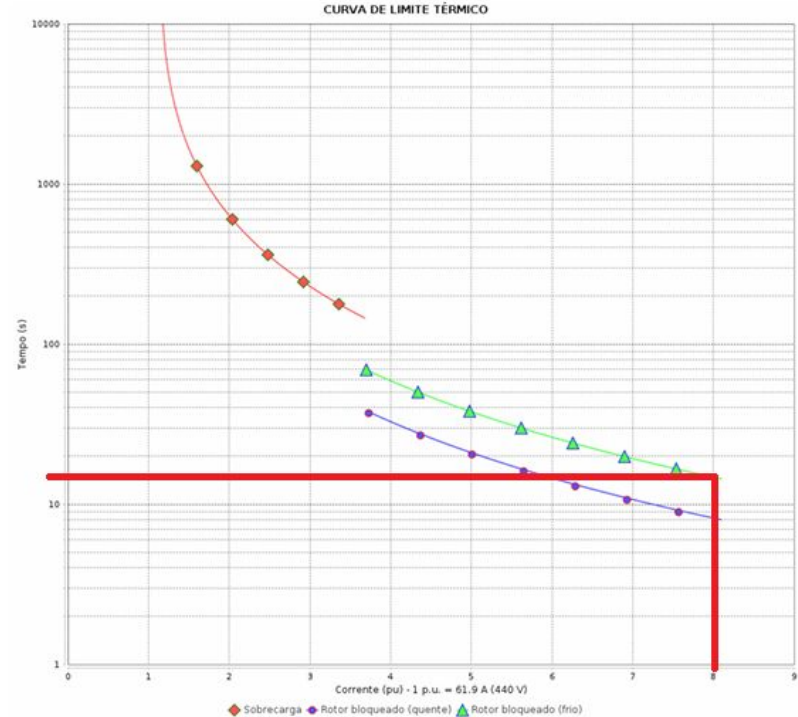


Cliente : _____

| | | | |
|--|--------------------|------------------------------|---------------------------|
| Linha do produto : W22 IR3 Premium Trifásico | | Código do produto : 12219756 | |
| Carcasa | : 200L | Tempo de rotor bloqueado | : 27s (frio) 15s (quente) |
| Potência | : 37 kW (50 HP-cv) | Elevação de temperatura | : 80 K |
| Número de polos | : 4 | Regime de serviço | : S1 |
| Frequência | : 60 Hz | Temperatura ambiente | : -20°C a +40°C |
| Tensão nominal | : 220/380/440 V | Altitude | : 1000 m |
| Corrente nominal | : 124/71.7/61.9 A | Grau de proteção | : IPW55 |
| Corrente de partida | : 966/559/483 A | Método de refrigeração | : IC411 - TFVE |
| Ip/In | : 7.8 | Forma construtiva | : B14D |
| Corrente a vazio | : 52.8/30.6/26.4 A | Sentido de rotação¹ | : Ambos |
| Rotação nominal | : 1780 rpm | Nível de ruído² | : 66.0 dB(A) |
| Escorregamento | : 1.11 % | Método de partida | : Partida direta |
| Conjugado nominal | : 20.2 kgfm | Massa aproximada³ | : 255 kg |
| Conjugado de partida | : 300 % | | |
| Conjugado máximo | : 300 % | | |
| Classe de isolamento | : F | | |
| Fator de serviço | : 1.25 | | |
| Momento de inércia (J) | : 0.3728 kgm² | | |
| Categoria | : N | | |
| Potência | 50% | 75% | 100% |
| Rendimento (%) | 93.0 | 94.0 | 94.5 |
| Cos Φ | 0.67 | 0.79 | 0.83 |
| Esforços na fundação | | | |
| | | Tração máxima | : 636 kgf |
| | | Compressão máxima | : 891 kgf |

3. Motor WEG semelhante

Conforme a curva do rotor bloqueado frio, observa-se que o motor suporta uma corrente de aproximadamente 8 vezes a nominal, no tempo de 27s.

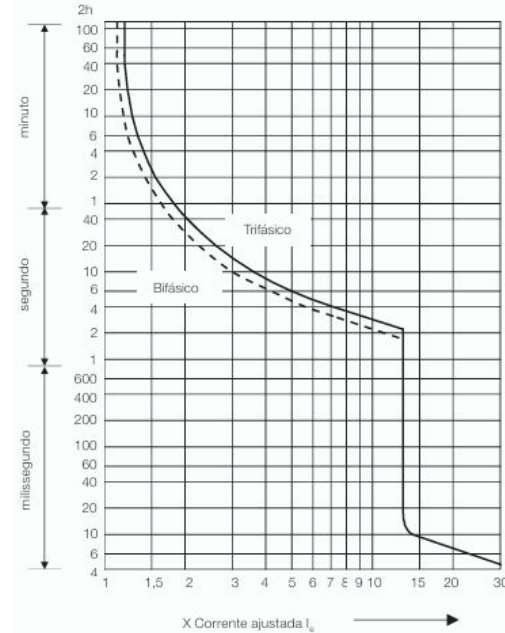


3. Coordenograma de proteção do motor

Foi elaborado um coordenograma referente a proteção do motor, analisando os parâmetros de corrente de partida, tempo de partida, tempo de rotor bloqueado e proteção do motor.

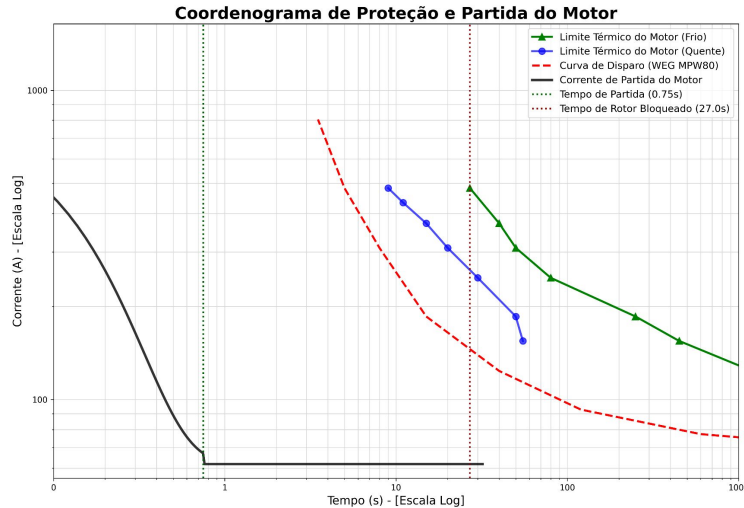
Definimos o disjuntor MPW80 da WEG, este possui faixa de operação de 50–65A, a curva característica de disparo do disjuntor eh a seguinte:

MPW12...80



3. Coordenograma de proteção do motor

Observa-se na figura o coordenograma da proteção do motor de indução estudado.



3. Viabilidade da partida direta

A partida direta é considerada inadequada para o motor em estudo com 90% de torque nominal. A análise revelou uma conclusão dupla: por um lado, a coordenação da proteção é tecnicamente viável, pois o tempo de partida simulado de aproximadamente 0.75s é muito inferior tanto ao tempo de atuação do disjuntor WEG MPW80 ($\approx 5s$) quanto ao limite de suportabilidade térmica do motor WEG W22 (27s).

Por outro lado, e de forma mais crítica, a simulação demonstrou que o motor não possui torque suficiente para partir sob a carga especificada em sua tensão nominal, tornando a partida fisicamente inviável. Portanto, a inadequação não reside na segurança da proteção, mas na incapacidade do motor de realizar o trabalho, exigindo a especificação de um motor com maior torque de partida ou um método de partida assistida, como um inversor de frequência.

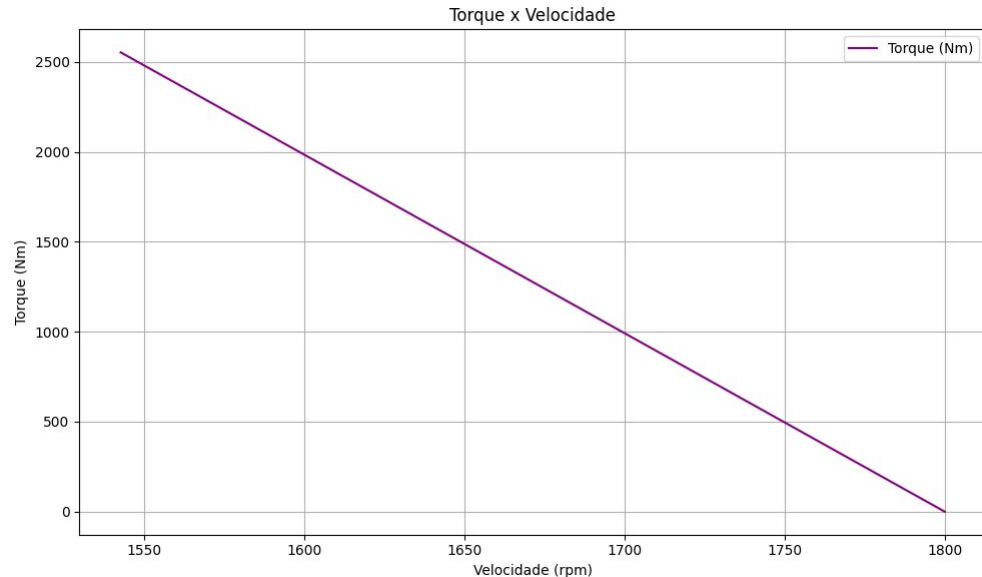
4. Expressão do Torque em função da Velocidade

Conforme visto em sala de aula pode-se obter a equação de torque em função da velocidade, por meio da seguinte relação:

$$T(n) = \frac{P_{nom}}{2\pi \cdot \frac{n_{nom}}{60}} \cdot \left(\frac{n_s - n}{n_s - n_{nom}} \right)$$

$$T(n) = \frac{37 \times 10^3}{2\pi \cdot \frac{1780}{60}} \cdot \left(\frac{1800 - n}{20} \right)$$

$$T(n) = 198.5 \cdot \left(\frac{1800 - n}{20} \right)$$



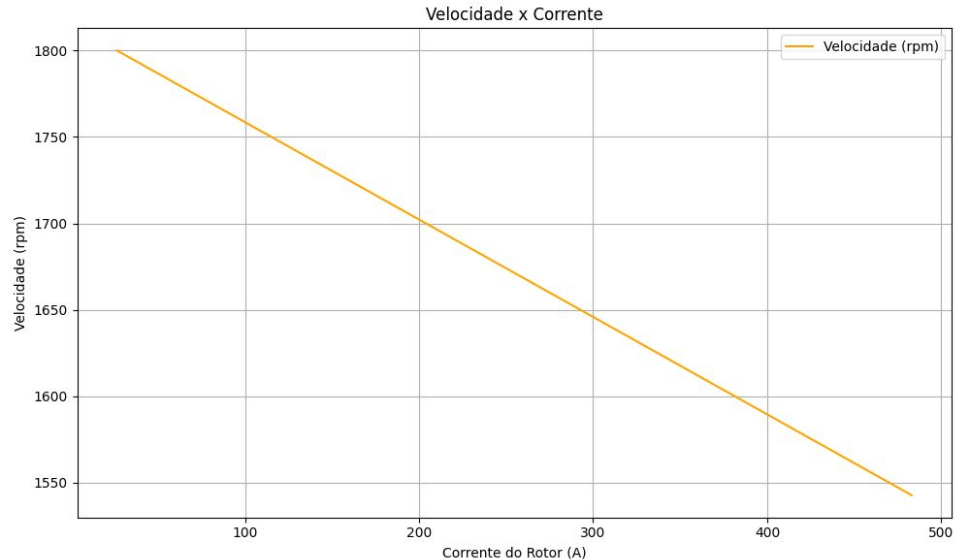
4. Expressão Velocidade em função da Corrente

Conforme visto em sala de aula pode-se obter a equação de velocidade em função da corrente, por meio da seguinte relação:

$$n(I) = n_s + \left(\frac{I - I_0}{I_{nom} - I_0} \right) (n_{nom} - n_s)$$

$$n(I) = 1800 + \left(\frac{I - 26.4}{61.9 - 26.4} \right) (1800 - 1780)$$

$$n(I) = 1800 + \left(\frac{I - 26.4}{35.5} \right) \cdot 20$$



Conclusão

A análise da partida direta para o motor de 50 HP com 90% de carga nominal conclui que, embora o sistema de proteção seja adequadamente coordenado, o método de partida é inadequado devido à insuficiência de torque.

A simulação em MATLAB/Simulink demonstrou que o motor de uso geral não parte na tensão nominal de 460V, sendo necessária uma sobretensão para validar a partida em 0.75s, o que evidencia a relação fundamental entre torque e tensão.

A coordenação com um motor e disjuntor WEG equivalentes se mostrou segura, com o tempo de partida (0.75s) sendo muito inferior ao tempo de atuação da proteção (~5s) e ao limite de suportabilidade do motor (27s).

Referências

FITZGERALD, A. E.; KINGSLEY, C.; UMANS, S. D.
Máquinas elétricas. 7. ed. Porto Alegre: Bookman, 2014.