



**Universidade de Brasília - UnB
Faculdade UnB Gama - FGA
Curso de Engenharia (Nome do Curso)**

**MODELAGEM DE MÉTODOS DE PARTIDA DE MIT
UTILIZANDO MATLAB/SIMULINK**

**Autor: Eduardo Brito Lopo
Orientador: Professor Dr. Flávio H. J. R. Silva**

**Brasília, DF
2014**



Eduardo Brito Lopo

**MODELAGEM DE MÉTODOS DE PARTIDA DE MIT UTILIZANDO
MATLAB/SIMULINK**

Monografia submetida ao curso de graduação em Engenharia de Energia da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Energia.

Orientador: Professor Dr. Flávio H. J. R. Silva

**Brasília, DF
2014**

CIP – Catalogação Internacional da Publicação*

Brito Lopo, Eduardo.

Modelagem de Métodos de Partida de MIT Utilizando Matlab/Simulink / Eduardo Brito Lopo. Brasília: UnB, 2014.

Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade de Brasília
Faculdade do Gama, Brasília, 2014. Orientação: Professor Dr.
Flávio H. J. R. Silva

1. Modelagem. 2. Métodos de Partida. 3. Matlab/Simulink. Silva,
Flávio H. J. R. II. Modelagem de Métodos de Partida de MIT
Utilizando Matlab/Simulink.

- A ficha catalográfica oficial deverá ser solicitada à Biblioteca pelo aluno após a apresentação.



**MODELAGEM DE MÉTODOS DE PARTIDA DE MIT UTILIZANDO
MATLAB/SIMULINK**

Eduardo Brito Lopo

Monografia submetida como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Energia da Faculdade UnB Gama - FGA, da Universidade de Brasília, em (data da aprovação dd/mm/aa) apresentada e aprovada pela banca examinadora abaixo assinada:

Prof. (Titulação): Flávio H. J. R. Silva, UnB/ FGA
Orientador

Prof. (Titulação): Nome do Professor, UnB/ FGA
Membro Convidado

Prof. (Titulação): Nome do Professor, UnB/ FGA
Membro Convidado

Brasília, DF
2014

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por me permitir mais um trabalho e a oportunidade de chegar ao final do curso. Agradeço pela vida que ele me deu exatamente como ela é. Agradeço à aqueles que também deram e dao a vida por mim, meu pai e minha mãe, e a todos aqueles que torcem e me incentivam todos os dias. Agradeço ao meu orientador Professor Flávio por ter proposto e aceito o desafio mesmo quando muito estive ausente. Agradeço ao também ao Professor Filomeno que me encorajou e incentivou o trabalho, através da cobrança, procurando o meu melhor. E agradeço também à Professora Josiane que me orientou durante o período de formação.

"Buscai as coisas do Alto." (Pe. Léo)

***RESUMO**

O presente trabalho tem como tema a modelagem de métodos de partida de motores trifásicos utilizando o aplicativo Simulink do software Matlab. Existem vários tipos de métodos de partida, no qual se deve escolher o tipo que mais se adequa ao requisitos do sistema. Seu ensino na graduação é muito importante para que se possa fazer a melhor escolha. Ao se simular os tipo de partida no Simulink, é possível observar o comportamento do motor, especialmente da corrente, durante o período transitório. Momento esse crucial para o sistema em que ele está sendo incluído. Os métodos servem para que se possa amenizar as interferências no sistema ao entrar o motor. Assim, se comparando os métodos, e as respostas simuladas, pode-se escolher qual é o melhor para cada caso. Propor que estudantes de graduação possam ter melhor entendimento sobre os métodos através das simulações e experimentos propostos para serem simulados, e mostrar a importância dessa ferramenta para o aprendizado.

Palavras-chave: Modelagem. Métodos de Partida. Simulink/Matlab®.

ABSTRACT

The present work has as its theme the modeling methods of starting AC motors using Matlab Simulink application software. There are several types of starting methods, in which one must choose the type that best fits system requirements. His college teaching is very important so you can make the best choice. To simulate the type of motor in Simulink, it is possible to observe the behavior of the engine, especially the chain, during the transitional period. This crucial time for the system in which it is being included. The methods that can be used to mitigate the interference in the system to enter the engine. Thus, comparing the methods, and simulated responses, you can choose which is best for each case. Propose that graduate students have better understanding about the methods through simulations and proposed to be simulated experiments, and show the importance of this tool for learning.

Keywords: Modeling. Departure Methods. Simulink/Matlab®.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	20
2. MODELAGEM DINÂMICA DE UM MIT	22
3. MÉTODOS DE PARTIDA	25
5. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	36
6. TRABALHOS FUTUROS	37

1. INTRODUÇÃO

Os motores de indução trifásicos são máquinas bastante utilizadas nas indústrias. Elas apresentam uma facilidade de manutenção, baixo custo, simplicidade de controle, entre outros fatores como vantagem em relação a outros motores. Por esse motivo, elas podem chegar a corresponder 90% das cargas instaladas nas indústrias (BRITO, 2007). Esse motor em operação requisitará potências do sistema de alimentação de acordo com a sua carga consumida. Depende do sistema alimentador estar preparado fornecer tal energia para o consumo.

Deve-se conhecer os requisitos dessa máquina, para que se possa dimensionar todo o sistema alimentador. Mas para isso, deve-se considerar o momento que essa máquina mais irá requisitar no sistema. No caso do MIT, será na partida desse motor. Neste momento, tem-se um pico de corrente muito grande, que faz com que o motor possa sair de sua inércia e possa atingir sua velocidade de operação, ou seja, o seu estado estacionário com a velocidade angular do motor constante, ou em funcionamento normal. Esse pico de corrente se encontra no período transitório do motor.

Ao se dimensionar o sistema alimentador deve-se considerar a corrente de partida, que é o pico de corrente na partida do motor (período transitório), pois como ela é maior que a corrente de operação do motor, o sistema deve ser dimensionado para a maior corrente. Se isso não ocorre, toda vez que se fosse dar a partida do motor, o sistema não estaria dimensionado para ele e os sistemas de proteção iriam atuar para desligar todo o sistema a fim de evitar problemas, como curto-circuito.

Outro fator importante para o dimensionamento de circuitos alimentadores é a queda de tensão no sistema. É ideal que o sistema possa funcionar sem queda ou flutuação de tensão, assim sabe-se que sem a variação da tensão, os componentes elétricos ligados a esse sistema vão estar operando nas suas tensões nominais, ou pré-determinadas, que em grande maioria, são parâmetros fundamentais para o funcionamento dos componentes elétricos. Nesses casos, algumas vezes é preferível que se tenha uma alta corrente, para que se possa compensar na tensão alguma perda.

Como a corrente de partida é maior que a de operação, ao se dimensionar o sistema com a primeira, acaba-se aumentando os gastos no

dimensionamento, já que acabará utilizando uma bitola de cabo maior, sistemas de segurança mais robustos, entre outros. A fim de que se possa evitar esse superdimensionamento desnecessário do sistema, claro que se resguardando que a segurança esteja em primeiro lugar, criou-se métodos de partidas de motores, para que se pudesse diminuir esse pico de corrente, afim que se possa ter um dimensionamento mais adequado à operação, à segurança e aos custos de instalação e manutenção.

Existem vários tipos tipos de partida de motores, dentre os quais se pode destacar:

- Partida direta;
- Partida Estrela-Triângulo;
- Partida Chave Compensadora e
- Partida Soft-Starter

Essas partidas se destacam por serem as mais difundidas no mercado e utilizada nas indústrias. E cada uma pode ser a ideal dependendo do sistema no qual o motor será ligado. Tudo depende dos requisitos e da configuração do sistema. Sempre será necessário avaliar os quesitos de segurança, operação e custos para o sistema. Dessa avaliação que se pode determinar, ou escolher, qual partida será utilizada.

Por ser tão determinante, que se é necessário que se tenha conhecimento pleno sobre o funcionamento das partidas de motores e saiba-se escolher qual a mais adequada. Assim, para o ensino e aprendizagem de partida de motores a utilização de métodos que facilitem a compreensão e utilidade, onde possam ajudar a fixação do conteúdo, é extremamente importante.

Essa ferramenta que pode ser utilizada é o aplicativo Simulink do Matlab. Com esse aplicativo se simular o funcionamento de um motor trifásico, inclusive a partida, utilizando os vários métodos de partida. Dessa simulação pode-se obter o comportamento da corrente no acionamento, a variação da tensão, da velocidade do motor, entre outros parâmetros. E avaliando o comportamento desses parâmetros, tem-se uma base para escolha do método mais adequado em relação às premissas do projeto no qual o motor pode ser inserido..

1.1. DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

Estas instruções apresentam um conjunto mínimo de exigências necessárias a Uniformidade de apresentação do relatório de Trabalho de Conclusão de Curso da

FGA. Estilo, concisão e clareza ficam inteiramente sob a responsabilidade do(s) aluno(s) autor(es) do relatório.

As disciplinas de Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) 01 e Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) 02 se desenvolvem de acordo com Regulamento próprio aprovado pelo Colegiado da FGA. Os alunos matriculados nessas disciplinas devem estar plenamente cientes de tal Regulamento.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Estudar o funcionamento dos métodos de partida, através de sua modelagem, mostrando a importância de utilização do software Matlab na aprendizagem desses métodos.

1.2.2 Objetivo Específico

Modelar os métodos de partida de um motor de indução trifásico utilizando o aplicativo, ou ferramenta, Simulink/Matlab. Propor experimento(s) que possam facilitar a compreensão desses métodos através da modelagem.

1.3 METODOLOGIA

Estudo sobre os métodos de partida e sobre o Motor de Indução Trifásico. Enquanto o aprendizado da utilização do aplicativo Simulink.

1.4 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O trabalho se encontra organizado da maneira em que no capítulo dois se apresenta a modelagem de um MIT (Motor de Indução Trifásico). Depois se apresenta os métodos de partida, discorrendo sobre vantagens e desvantagens, no capítulo 3. O quarto capítulo é sobre como funciona o aplicativo e como é possível modelar um motor e ferramentas utilizadas para se montar as partidas.

2. MODELAGEM DINÂMICA DE UM MIT

Os MIT agem como transformadores, e tem sua representação igual ao de um transformador. Desse caso, pode-se refletir o secundário ao lado do primário ou o inverso, ou seja, aplicando-se ao caso do MIT, o lado do rotor pode ser refletido ao lado do estator, ou vice-versa.

Como todo elemento de circuito elétrico existe a parte permanente, no qual os valores são estáveis, e o transitório, no qual tem-se o tempo que leva a resposta do circuito para que se possa estabilizar os valores, o MIT também sofre com esse

caso. É de grande importância que se dimensione esse período transitório para que se saiba o seu comportamento, possíveis

O primeiro passo para a modelagem é escolher um lado de referência. No caso foi escolhido o do estator. Logo, deve-se refletir suas variáveis para o lado do estator.

$$\begin{aligned}i'_{abcr} &= \frac{N_r}{N_s} i_{abcr} \\v'_{abcr} &= \frac{N_s}{N_r} v_{abcr} \\\psi'_{abcr} &= \frac{N_s}{N_r} \psi_{abcr}\end{aligned}$$

Onde:

i_{abcr} é a corrente do rotor, v_{abcr} é a tensão do rotor e ψ_{abcr} é o fluxo concatenado no rotor.

i'_{abcr} é a corrente do rotor refletido ao lado do estator, v'_{abcr} é a tensão do rotor refletido ao lado do estator e ψ'_{abcr} é o fluxo concatenado do rotor refletido ao lado do estator.

N_r e N_s são, respectivamente, o número de espiras no rotor e estator.

As tensões dadas no rotor e estator são

$$\begin{aligned}v_{qd0s} &= r_s i_{qd0s} + \omega \psi_{qd0s} + p \psi_{qd0s} \\v'_{qd0r} &= r'_r i'_{qd0r} + (\omega - \omega_r) \psi'_{qd0r} + p \psi'_{qd0r}\end{aligned}$$

Essas equações podem ser escritas na forma expandida

$$\begin{aligned}v_{qs} &= r_s i_{qs} + \omega \psi_{ds} + p \psi_{qs} \\v_{ds} &= r_s i_{ds} - \omega \psi_{qs} + p \psi_{ds} \\v_{0s} &= r_s i_{0s} + p \psi_{0s} \\v'_{qr} &= r'_r i'_{qr} + (\omega - \omega_r) \psi'_{dr} + p \psi'_{qr} \\v'_{dr} &= r'_r i'_{dr} - (\omega - \omega_r) \psi'_{qr} + p \psi'_{dr} \\v'_{0r} &= r'_r i'_{0r} + p \psi'_{0r} \\\psi_{qs} &= L_{ls} i_{qs} + M(i_{qs} + i'_{qr}) \\\psi_{ds} &= L_{ls} i_{ds} + M(i_{ds} + i'_{dr}) \\\psi_{0s} &= L_{ls} i_{0s} \\\psi'_{qr} &= L'_{lr} i'_{qr} + M(i_{qs} + i'_{qr}) \\\psi'_{dr} &= L'_{lr} i'_{dr} + M(i_{ds} + i'_{dr})\end{aligned}$$

$$\psi'_{0r} = L'_{lr}i'_{0r}$$

É conveniente expressar a voltagem e as equações de fluxo concatenado no formato de reatâncias e não de indutâncias. A velocidade angular elétrica usada como base é representada por ω_b , que no caso, é a velocidade angular calculada a partir de uma frequência elétrica base (f_e). Assim a reatância será dada por $X = j\omega_b L$, resultando nas equações abaixo.

$$\omega_b = 2\pi f_e$$

$$v_{qs} = r_s i_{qs} + \frac{\omega}{\omega_b} \psi_{ds} + \frac{p}{\omega_b} \psi_{qs}$$

$$v_{ds} = r_s i_{ds} - \frac{\omega}{\omega_b} \psi_{qs} + \frac{p}{\omega_b} \psi_{ds}$$

$$v_{0s} = r_s i_{0s} + \frac{p}{\omega_b} \psi_{0s}$$

$$v'_{qr} = r'_r i'_{qr} + \left(\frac{\omega - \omega_r}{\omega_b} \right) \psi'_{dr} + \frac{p}{\omega_b} \psi'_{qr}$$

$$v'_{dr} = r'_r i'_{dr} - \left(\frac{\omega - \omega_r}{\omega_b} \right) \psi'_{qr} + \frac{p}{\omega_b} \psi'_{dr}$$

$$v'_{0r} = r'_r i'_{0r} + \frac{p}{\omega_b} \psi'_{0r}$$

$$\psi_{qs} = X_{ls} i_{qs} + X_M (i_{qs} + i'_{qr})$$

$$\psi_{ds} = X_{ls} i_{ds} + X_M (i_{ds} + i'_{dr})$$

$$\psi_{0s} = X_{ls} i_{0s}$$

$$\psi'_{qr} = X'_{lr} i'_{qr} + X_M (i_{qs} + i'_{qr})$$

$$\psi'_{dr} = X'_{lr} i'_{dr} + X_M (i_{ds} + i'_{dr})$$

$$\psi'_{0r} = X'_{lr} i'_{0r}$$

A expressão para o torque eletromagnético pode ser representado pelas expressões abaixo.

$$T_e = \left(\frac{3}{2} \right) \left(\frac{P}{2} \right) (\psi'_{qr} i'_{dr} - \psi'_{dr} i'_{qr})$$

$$T_e = \left(\frac{3}{2} \right) \left(\frac{P}{2} \right) (\psi_{ds} i_{qs} - \psi_{qs} i_{ds})$$

3. MÉTODOS DE PARTIDA

A utilização de sistemas de partida eficiente serve para se obter uma boa utilização do motor, afim de se atingir uma vida útil prolongada, custos operacionais reduzidos, além de, de acordo com João Mamede Filho, no livro Instalações Elétricas Industriais, dar à equipe de manutenção da indústria tranquilidade no desempenho das tarefas diárias.

Os critérios para a seleção do método de partida adequado envolve considerações quanto a capacidade da instalação, requisitos de carga a ser considerada, além da capacidade do gerador. Por isso, é importante que nas disciplinas haja um bom aprofundamento teórico e prático para haver uma melhor compreensão dos métodos de partida.

Os métodos mais comuns de partida de motor são: Partida Direta, Partida Estrela-Triângulo, Partida de chave Compensadora e a Partida Soft-Starter. A diferença básica entre a partida direta e as outras partidas é que o motor parte com os valores de conjugado e corrente de partida plenos, pois as bobinas do motor recebem tensão nominal. Ou seja, a partida direta utiliza os valores de correntes que serão demandados pelo motor para a partida. Quando ocorre restrição quanto ao valor de pico da corrente na partida, utiliza-se mecanismos de partida indiretos para diminuir a corrente de partida, que são os demais tipos de partida citados anteriormente.

Mas antes de se falar propriamente dos tipos de partida, é necessário falar-se sobre o conjugado. O conjugado é a medida de esforço necessário para girar o eixo, ou seja, o torque necessário para tirar o eixo de sua inércia. Ao esforço para girar o eixo denomina-se de conjugado do motor, enquanto que se há carga acoplada, denomina-se conjugado de carga ou conjugado resistente, já que a carga fará um esforço negativo (de resistência).

Em uma partida, é necessário que o conjugado do motor seja superior ao conjugado resistente, durante o tempo de aceleração do conjunto, até que o motor adquira a velocidade de regime.

3.1 PARTIDA DIRETA

O método de partida direta consiste na utilização de contadores , disjuntores ou chaves interruptoras. É o método mais simples, em que não são utilizados dispositivos especiais de acionamento do motor. Sempre que a instalação permitir, o tipo de partida deve ser direta, pois o motor estaria trabalhando na fixa de operação nominal, ou seja, corrente e tensão nominal.

O método de partida direta possui algumas vantagens que devem ser levantadas:

- Apresenta o menor custo de todas, por causa da única necessidade da fiação que o liga à rede, o que acaba representando o menor custo de todos os tipos de partida.
- Facilidade e simplicidade de implementação, causada em ligar o motor na direta e
- Alto torque de partida.

Assim como apresenta vantagens, o tipo de partida também apresenta as suas desvantagens:

- Alta corrente de partida, o que acaba provocando queda de tensão na rede de alimentação. Essa queda de tensão provocada acaba interferindo nos equipamentos ligados à rede. Porém, existe a limitação, por parte da concessionária de energia elétrica, da queda de tensão
- O valor alto da magnitude da corrente acaba causando um sobre dimensionamento dos cabos e contadores, que são calculados a partir dos valores das correntes.

3.2 PARTIDA ESTRELA-TRIÂNGULO

Para instalações elétricas industriais podem ser usadas chaves estrela-triângulo para suavizar os efeitos de partida dos motores elétricos. O procedimento para o acionamento do motor é ligando-o inicialmente na configuração estrela, onde a tensão de fase é menor que a tensão de linha, até que o motor alcance uma velocidade próxima da velocidade de regime, que após esse momento é realizada a troca do tipo de ligação para o triângulo.

Durante a partida em estrela, o conjugado e a corrente de partida ficam reduzidos a 1/3 de seus valores nominais. Isso ocorre pois ao se combinar a Eq. a com a

$$V_{\Delta} = I_{\Delta}Z_{\Delta}$$

$$V_Y = I_Y Z_Y$$

$$V_Y = \frac{V_{\Delta}}{\sqrt{3}}$$

$$I_Y = \sqrt{3}I_{\Delta}$$

$$Z_Y = \frac{Z_{\Delta}}{3}$$

Devido ao conjugado de partida baixo e relativamente constante a que fica submetido o motor, as chaves estrela-triângulo são mais adequadamente empregadas em motores a vazio, ou com pouca carga. A partida estrela-triângulo, assim como a direta possui os seus prós e contras. O contras são:

- Aplicação específica a motores com dupla tensão nominal e que disponham de pelo menos seis terminais acessíveis;
- Conjugado de partida reduzido a 1/3 nominal;
- A tensão de rede deve coincidir com a tensão em triângulo motor;
- O motor deve alcançar pelo menos 90% se sua velocidade de regime para que, durante a comutação, a corrente de pico não atinja valores elevados, que seriam atingidos caso fosse realizada a partida direta;
- Para grandes distancias entre o motor e a chave de partida, o custo aumenta devido a quantidade de cabos (6 cabos no mínimo).

Os prós a favor da partida são os motivos já citados da mesma ter sido escolhida. São eles:

- Custo reduzido
- Elevado número de manobras
- Corrente de partida reduzida a 1/3 da nominal
- Baixas quedas de tensões durante a partida
- Dimensões relativamente reduzidas.

3.3 PARTIDA DE CHAVE COMPENSADORA

A partida de chave compensadora é composta basicamente de um autotransformador com várias derivações, destinadas a regular o processo de partida. Este autotransformador é ligado ao circuito do estator. O ponto estrela do autotransformador fica acessível, e no momento da partida ele é curto-circuitado, sendo o mesmo desfeito quando o motor é ligado à rede. Esse tipo de partida é comumente utilizado em motores de alta potência, acionando cargas com alto índice de atrito.

Assim como os anteriores, a partida compensadora possui as suas vantagens e desvantagens. As vantagens são:

- Na derivação 65% a corrente de partida na linha se aproxima do valor da corrente de acionamento, utilizando chave estrela-triângulo;
- O autotransformador impede a variação da corrente, mesmo quando há a diminuição da tensão reduzida para a tensão de suprimento;
- A chave, graças as variações gradativas do tape, consegue se adequar à capacidade do sistema de suprimento, desde que dentro dos seus parâmetros de atuação.
- A partida com cargas, onde se varia o tap de acordo com a exigência da carga.

Em contraponto, as desvantagens são:

- O custo maior que o custo da chave estrela-triângulo;
- As dimensões são maiores que as da chave triângulo-estrela.

3.4 PARTIDA SOFT-STARTER

É uma técnica muito utilizada. Seu princípio de funcionamento consiste na utilização de um conjunto de pares de tiristores na configuração anti-paralela ou combinações de tiristores/diodos para cada fase do motor.

De acordo o Módulo 2 das aulas de Eletrônica de Potência da Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação da Unicamp.

Um tiristor consiste num conjunto de dispositivos semicondutores que operam em regime chaveado, tendo em comum uma estrutura de 4 camadas semicondutoras numa sequência p-n-p-n, apresentando um funcionamento biestável. O tiristor mais difundido é o Retificador Controlado de Silício (SCR).

Esse tipo de partida é utilizada a fim de controlar a corrente de partida de motores trifásicos de corrente alternada. Ele é utilizado para motores de elevada potência cuja aplicação não exija a variação de velocidade. O soft-Starter controla a tensão variando o ângulo de disparo dos mesmos e logo variando a tensão aplicada ao motor, o que acaba controlando a corrente que passa no motor, que por sua vez influi uma partida suave do motor. Por esse motivo, que o tipo de partida é chamada de Soft-Starter, que em tradução livre do inglês, significa: “partida suave”.

Por proporcionar uma partida suave, o método acaba evitando quedas bruscas de tensão na rede de alimentação, já que ele exige gradativamente da rede.

Como uma ferramenta de grande utilidade, o Matlab pode ser utilizado para melhor compreender as diferenças entre os métodos de partida. Didaticamente, ao se plotar o comportamento da corrente, se visualiza melhor o comportamento dela. Em sala de aula, essa visualização ajuda no ensino de máquinas elétricas e suas partidas.

4. MODELAGEM DO MIT E MÉTODOS DE PARTIDA UTILIZANDO O MATLAB

A ferramenta Simulink/Matlab é um ambiente integrado ao Matlab em que utiliza um diagramação de blocos para simulação de vários domínios. Ele serve para a modelagem e simulação de sistemas dinâmicos diversos. O Simulink fornece um conjunto de blocos pré-definidos que você pode combinar para criar uma diagrama de blocos detalhado do seu sistema. Ferramentas para modelagem hierárquica, gerenciamento de dados e personalização subsistema permitem-lhe representar até mesmo o sistema mais complexo de forma concisa e precisa.

O funcionamento em si é que são utilizados sinais de entrada e saída dos blocos. Esses sinais são tratados de forma a serem numericamente integrados ao longo do tempo por meio de equações diferenciais

A ferramenta Simulink/Matlab é um instrumento muito útil para simular o funcionamento de circuitos elétricos. Ela permite que se possa modelar um circuito, e utilizando as funções inseridas nessa ferramenta, pode-se analisar o comportamento do mesmo. Nessa perspectiva, ele se torna uma ferramenta excelente para ser usada no ensino de Engenharia. Pois com o uso da ferramenta computacional, pode-se utilizar de modelos simples de sistemas para realizar a compreensão e ambientação dos alunos, e ir aumentando o nível de dificuldade e desafio até que chegue a sistemas de grande complexidade que podem ser modelados com riqueza de detalhes. Essa é uma vantagem que pode servir como alternativa aos sistemas físicos que são caros, de grande porte e complexidade para manuseio, e que determinam uma grande preparação para uso. Até neste ponto o Simulink/Matlab pode entrar como ferramenta.

A flexibilidade que é fornecida é outra vantagem. O operador pode montar o sistema afim de que possa ter diferentes condições e leituras possíveis. No caso do

MIT, onde se pode ter várias condições de carga para o acionamento do motor, aumentando o grau de investigação do sistema.

Da simulação do MIT pode-se obter o comportamento da corrente no acionamento, a variação da tensão, da velocidade do motor, entre outros parâmetros. E avaliando o comportamento desses parâmetros, tem-se uma base para escolha do método mais adequado em relação às premissas do projeto no qual o motor pode ser inserido.

Essa flexibilidade é dada graças à grande biblioteca que o Simulink possui. Ela pode ser observada através da figura abaixo. Dela é que se retira o conjunto de blocos pré-definidos citados anteriormente. Ao se conectar esses blocos, é que se pode escolher o método de solução numérico do sistema, ou seja, o método numérico para a resolução das equações diferenciais ordinárias (citadas no capítulo 2), e assim se ter a geração da informação desejada.

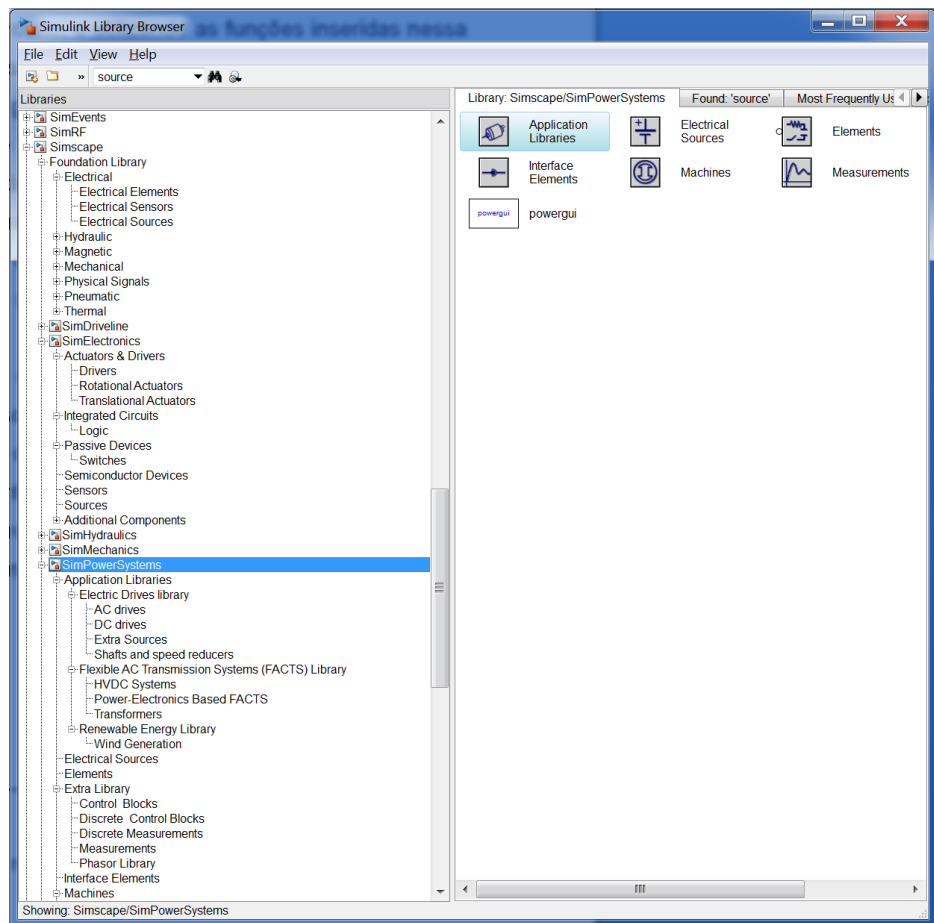


Figura 1 - Library Simulink

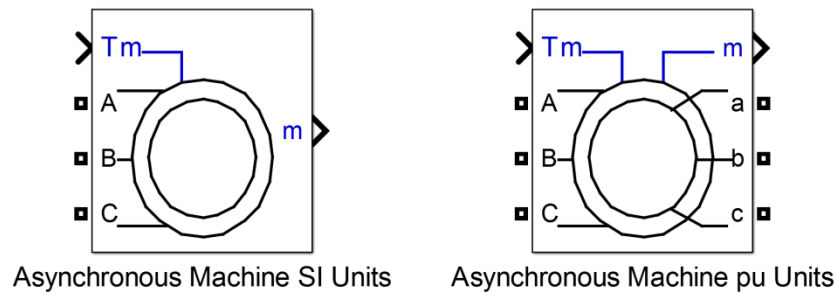
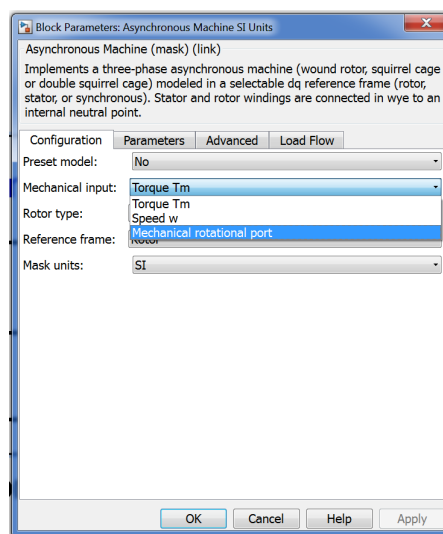
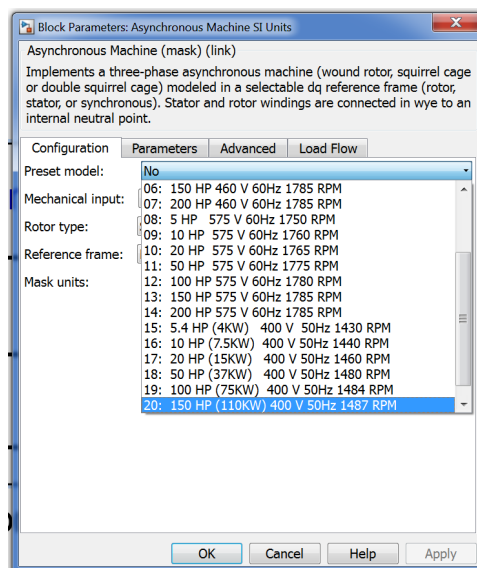
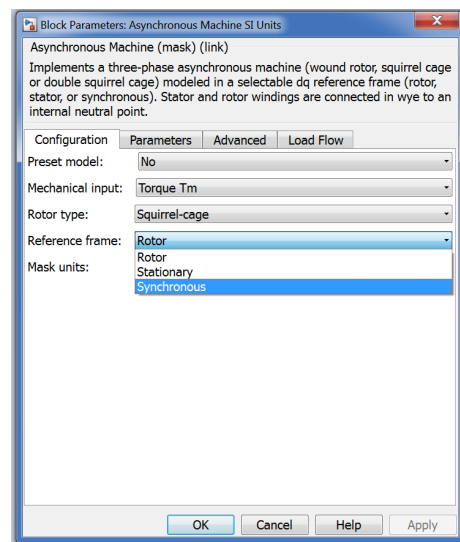
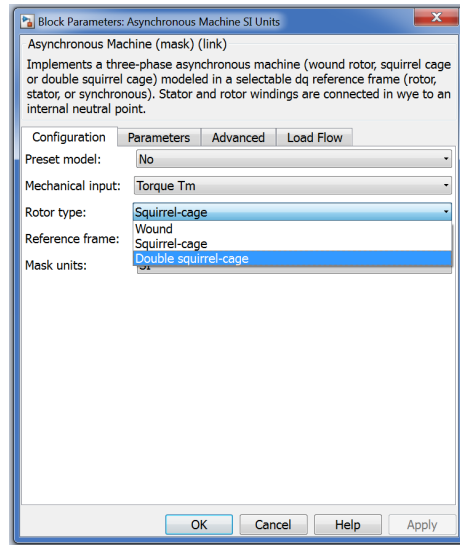


Figura 2 - Motores pré-definidos no Simulink

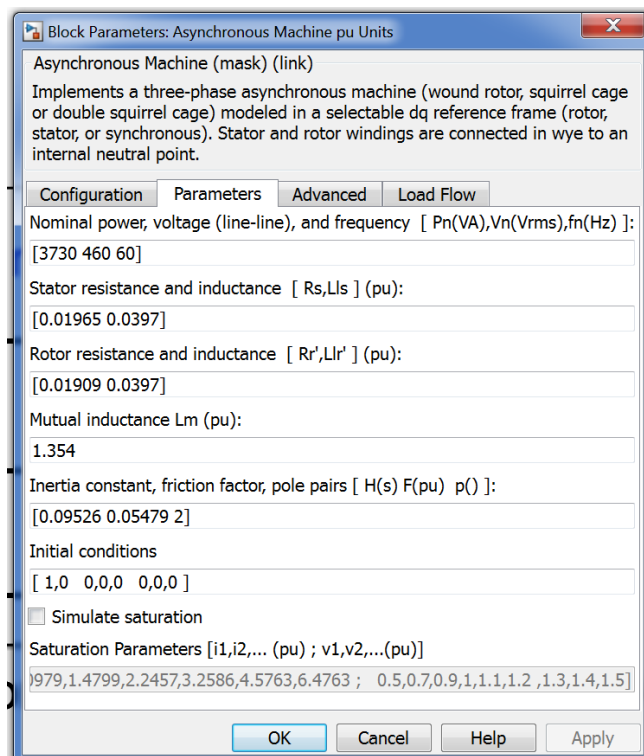
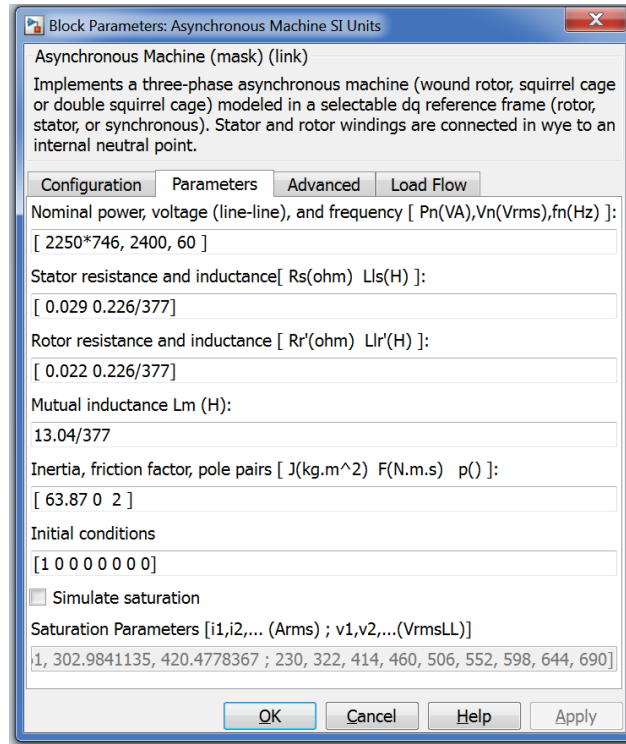
Em sua biblioteca, o Simulink já possui dois blocos pré-definidos (fig. acima) para máquinas assíncronas, que é uma classificação do MIT. A diferença entre eles é que o motor da esquerda da figura está configurado no padrão de unidade internacional, enquanto que o da direita se encontra no sistema por unidade, o pu. Ao se clicar em cima de cada motor, se alcançará as propriedades da máquina. Nela se pode definir o tipo de MIT, se é gaiola de esquilo, gaiola de esquilo duplo ou rotor bobinado (fig. abaixo). Também se pode definir o tipo de entrada mecânica entre torque mecânico, velocidade angular (fig. abaixo). E por fim tem-se o ponto de referência para o circuito, ou seja, se ele está refletido ao lado do estator ou rotor, ou mudando a configuração da máquina para modo síncrono, configuração representada na figura abaixo.



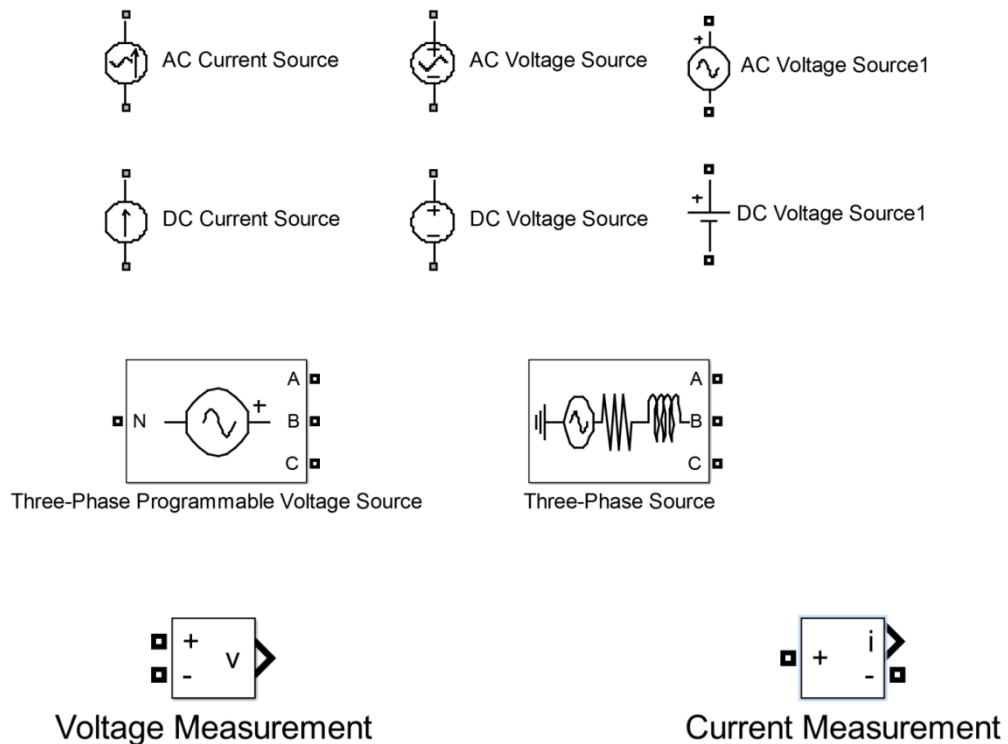


Na figura acima, tem-se os parâmetros pré-determinado incluídos na biblioteca do próprio Simulink, ou seja, motores que se encontram na memória do

aplicativo pelo fato de facilitar a configuração. Entretanto, pode-se configurar os parâmetros da máquina de modo arbitrário para que se possa caracterizar uma que não exista configurada no Simulink. Essa opção de configuração pode ser observada nas figuras abaixo, que diferem para o tipo de unidade (SI ou pu).



Para modelar os métodos de partida no Simulink, será necessário utilizar blocos de chaveamento, utilização de fontes diferentes e de instrumentos de medição, como o de corrente e de voltagem. Alguns desses elementos estão representados na figuras abaixo. Para cada tipo de partida, será necessário um diagrama diferente, já que eles utilizam elementos diferentes. Vale ressaltar que é desejável que se obtenha gráficos de corrente, como na figura abaixo, para poder se comparar e ver seu comportamento da hora do acionamento para a partida até o momento que a velocidade do MIT estará estável.



5. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Utilizar o aplicativo para poder simular a partida de motores de indução trifásico é possível, a fim de que se possa prever o funcionamento do mesmo no período transitório. O programa permite que se possa montar no aplicativo um modelo digital do modelo físico, e se pode modela os componentes de acordo com as características do modelo físico. A partir dessa modelagem se simula a partida e se obtém gráficos que correspondem ao comportamento da corrente durante a partida.

Essa resposta é importante para que se possa escolher o melhor método para os requisitos do projeto, através da comparação dos resultados.

Realizando experimentos que utilizam dessa modelagem em aula prática, serve para corroborar os aprendizados em sala, melhorando o entendimento dos alunos, ou até mesmo instigando-os, e assim possam ter melhor compreensão de máquinas elétricas.

6. TRABALHOS FUTUROS

Para trabalhos futuros, espera-se modelar um MIT, ainda a ser escolhido, e possa obter suas características via modelagem, e ver seu comportamento através do vários métodos de partida. E assim, poder propor um experimento que fique para ajudar no aprendizado de máquinas elétricas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Barbi, Ivo, Teoria fundamental do motor de indução, Editora da UFSC, Eletrobrás, 1985.

Krause, Paul C., Analysis Of Electric Machinery, Editora McGraw-Hill, New York, 1986

Del Toro, Vincent, Fundamentos de Máquinas Elétricas, Editora Prentice-Hall do Brasil LTDA, Rio de Janeiro.