



***Acionamento de Motor de Indução Monofásico  
com Capacitor de Partida***

Disciplina: Máquinas Elétricas

Professor: Almir Laranjeira

Alunos: Felipe Cauã Ribeiro Pardo Casas, Kauan Dantas Brito da Silva,  
Ludmila Nascimento, Rodrigo Freire Bastos

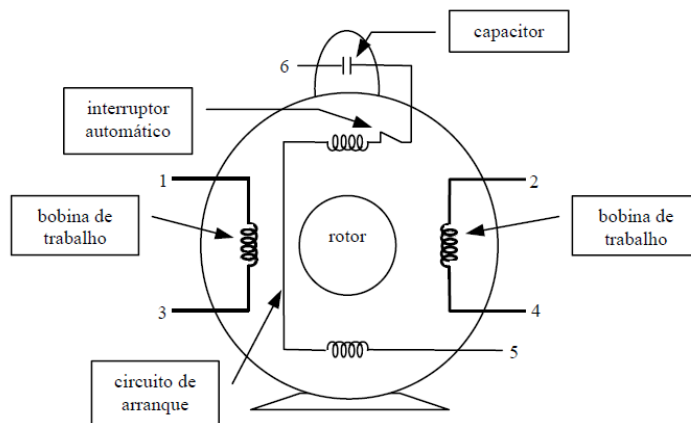
# 1. Introdução

Este relatório tem como objetivo apresentar, com base nas simulações e fundamentos teóricos propostos na dissertação de Neri Júnior, a análise do acionamento de motores de indução monofásicos com capacitor de partida. Esta configuração de motor tem uma diversa gama de aplicações devido ao alto torque inicial gerado pela bobina auxiliar ligada em série ao capacitor de partida. Esses motores são amplamente utilizados em equipamentos que exigem força inicial elevada, como compressores de ar, bombas hidráulicas, portões automáticos, refrigeradores, ventiladores industriais, máquinas de lavar roupas e ferramentas elétricas como serras circulares e esmerilhadeiras. Este é um dos métodos convencionais avaliados, com foco especial em seus efeitos sobre o conjugado (torque) e corrente de partida.

## 2. Fundamentação Teórica

Segundo a dissertação (Cap. 2.2), o motor com capacitor de partida é uma variação do motor de fase auxiliar, onde se adiciona um capacitor em série com o enrolamento auxiliar para obter um deslocamento angular (fase) entre as correntes dos enrolamentos principal e auxiliar. Esse deslocamento de fase permite gerar um campo girante adequado para iniciar o movimento do rotor. As características principais são:

- A corrente no enrolamento auxiliar ( $I_a$ ) é adiantada em relação à corrente do enrolamento principal ( $I_m$ ), gerando um campo próximo ao de um motor bifásico ideal.
- O capacitor é desligado após a partida, por meio da chave centrífuga.
- O valor do capacitor é ajustado para gerar aproximadamente  $90^\circ$  de defasagem elétrica na condição de rotor parado.
- O sistema proporciona alto conjugado de partida (3,5 a 4,5 vezes o nominal) e corrente de partida reduzida em relação a outros métodos.



Motor monofásico de fase auxiliar

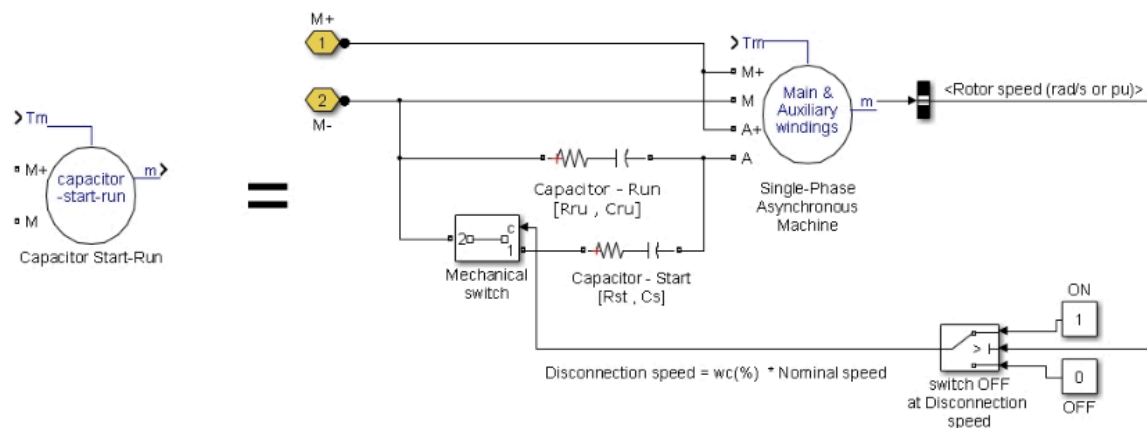
Esse tipo de acionamento baseia-se na criação de um campo magnético girante por meio da defasagem das correntes nos dois enrolamentos. Em motores de indução monofásicos comuns, a alimentação em uma única fase não gera um campo girante efetivo, mas sim um campo alternado que não é capaz de iniciar o movimento do rotor. Ao adicionar um enrolamento auxiliar com um capacitor em série, cria-se uma segunda corrente alternada com defasagem próxima a  $90^\circ$  da corrente do enrolamento principal, simulando o efeito de duas fases. Isso resulta em um campo girante temporário que permite ao rotor superar a inércia e começar a girar.

O capacitor de partida é dimensionado para garantir essa defasagem com o rotor parado, ou seja, na condição de maior carga reativa. Uma vez que o motor atinge uma certa velocidade (geralmente entre 70% e 80% da rotação nominal), uma chave centrífuga (ou um relé de corrente, em alguns modelos) desliga automaticamente o enrolamento auxiliar e o capacitor, já que sua função é apenas auxiliar na partida. A partir desse ponto, o motor continua operando apenas com o enrolamento principal, como um motor de fase única convencional.

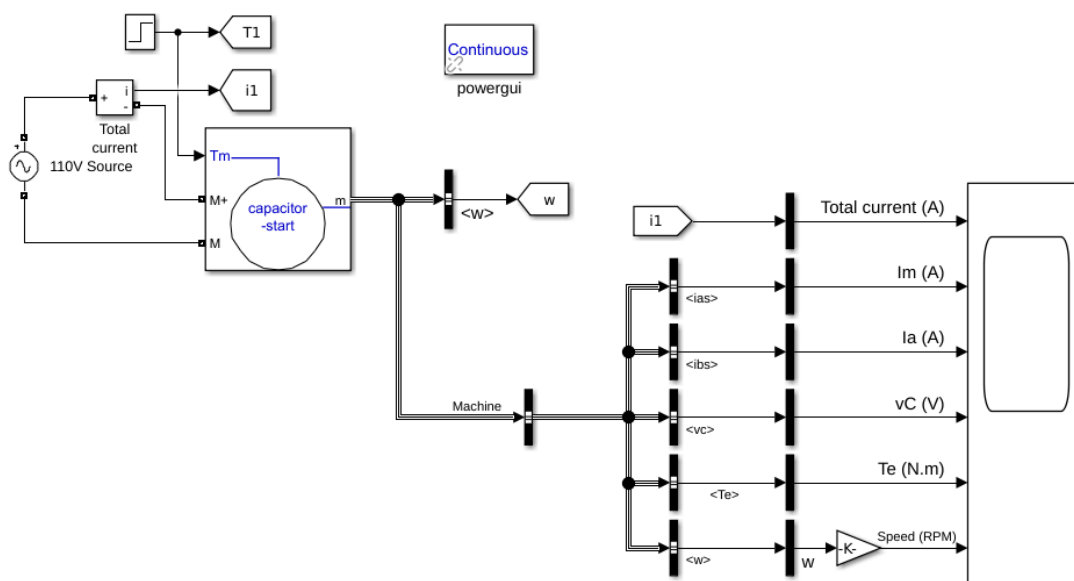
Uma peculiaridade importante desse tipo de motor é que ele não é projetado para operação contínua com o capacitor conectado, pois o enrolamento auxiliar não é dimensionado termicamente para funcionamento permanente. Além disso, o uso de capacitores eletrolíticos, que possuem alta capacitância mas são polarizados, reforça a limitação de uso contínuo, uma vez que eles não suportam operação alternada por longos períodos.

### 3. Resultados e Análise

O modelo simulado no Matlab é de um motor assíncrono monofásico no modo Capacitor-Partida, para analisar suas características de desempenho, como torque, corrente dos enrolamentos, tensão no capacitor auxiliar, e velocidade do motor. O motor tem potência nominal de 1/4 HP, 110 V, 60 Hz e 1800 rpm e é alimentado por uma fonte de alimentação monofásica de 110 V. Possui enrolamentos do estator (principal e auxiliar) e rotor em gaiola de esquilo. O motor recebe uma carga de 1 N.m após 2 segundos de operação.



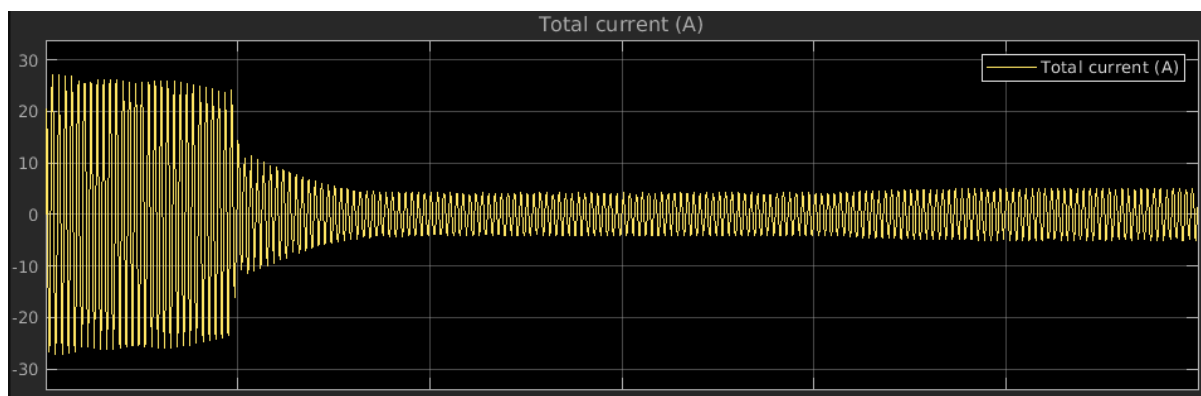
O motor opera no modo capacitor-partida. Seu enrolamento auxiliar, em série com um capacitor de partida de 255  $\mu\text{F}$ , é desconectado quando sua velocidade atinge 75% da velocidade nominal. O capacitor de partida é usado para fornecer um alto torque de partida.



O motor é inicialmente ligado sem carga, em  $t = 0$ . Em seguida, em  $t = 2$  s, uma vez que o motor atingiu seu regime de regime permanente, um torque de 1 N.m (torque nominal) é aplicado repentinamente no eixo.

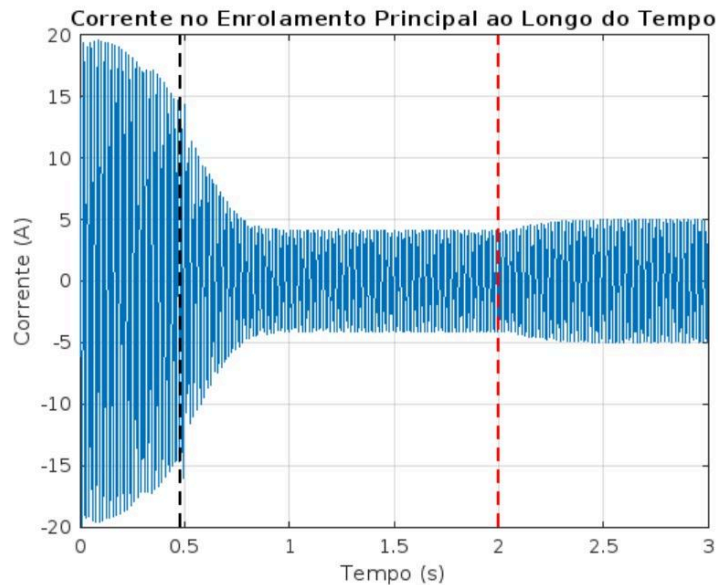
Já na simulação, o bloco Scope exibe os seguintes sinais para o motor de partida com capacitor: corrente total (enrolamento principal + auxiliar), corrente do enrolamento principal, corrente do enrolamento auxiliar, tensão do capacitor, velocidade do rotor e torque eletromagnético.

### 3.1. Corrente Total:



A corrente total do sistema é composta pela soma da corrente do enrolamento principal e a corrente do enrolamento auxiliar, por isso, após o momento onde é acionado a chave centrífuga, a corrente do circuito diminui, pois a componente da corrente auxiliar é retirada do circuito, mantendo assim a corrente do enrolamento principal que é capaz de gerar o torque necessário para manter o motor rotacionando em regime permanente.

### 3.2. Corrente do enrolamento principal:



O gráfico em questão apresenta a evolução da corrente no enrolamento principal de um motor de indução monofásico ao longo do tempo, revelando importantes estágios de sua operação. A análise do comportamento da curva, em conjunto com os eventos específicos que ocorrem, permite uma compreensão detalhada do funcionamento do motor.

No período inicial, de 0 a 0,48 segundos, o motor está em seu processo de partida. Observa-se que a corrente atinge picos elevados, oscilando em torno de  $\pm 19$  A. Essa corrente de partida é caracteristicamente mais alta que a corrente de regime, e sua magnitude neste motor monofásico é significativamente influenciada pela presença do capacitor de partida. Este componente é vital, pois cria um campo girante auxiliar que possibilita o arranque do motor, algo que não ocorreria apenas com o enrolamento principal em uma alimentação monofásica.

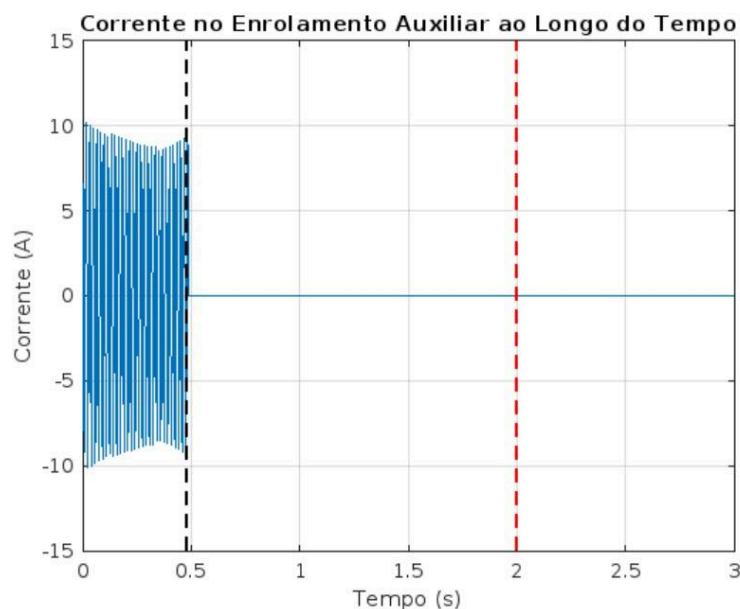
Precisamente em 0,48 segundos, um evento crucial marca uma mudança no comportamento da corrente: a ativação da chave centrífuga e o consequente desligamento do capacitor. Este momento, demarcado pela linha tracejada preta vertical no gráfico, é evidenciado por uma queda abrupta e significativa na amplitude da corrente, que se estabiliza em picos de aproximadamente  $\pm 5$  A. A chave centrífuga atua ao atingir uma rotação predeterminada do motor, desconectando o enrolamento de partida e o capacitor do circuito. Essa desconexão é fundamental para a integridade do motor, uma vez que o capacitor de partida não foi projetado para operar continuamente e sua permanência no circuito poderia causar danos. A diminuição da corrente após esse ponto é um claro indicativo de que o motor já está em regime de funcionamento, e o capacitor cumpriu sua função de auxiliar na partida.

Na sequência, entre 0,48 segundos e 2 segundos, o motor opera em regime permanente e sem carga. Durante esse intervalo, a corrente permanece em um nível mais baixo e estável,

com pequenas oscilações inerentes à natureza da corrente alternada e às características intrínsecas do motor. Neste estágio, o motor já atingiu sua velocidade de regime, girando livremente sem qualquer carga mecânica aplicada.

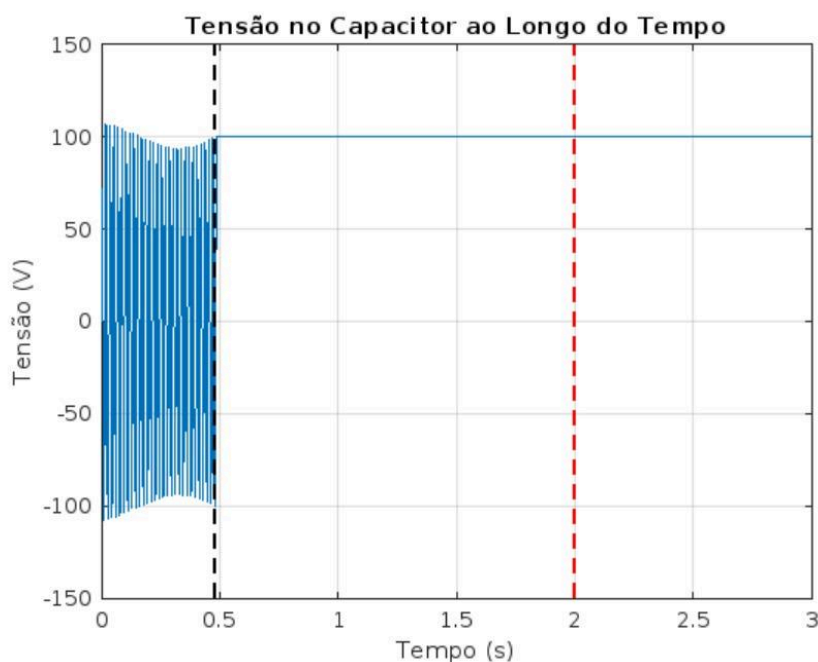
Por fim, em 2 segundos, um novo evento altera o comportamento da corrente: a aplicação de um torque de 1 N.m ao motor. Conforme indicado pela linha tracejada vermelha vertical, a amplitude da corrente aumenta novamente, estabilizando-se em picos que variam de aproximadamente  $\pm 6$  A a  $\pm 7$  A. Esse aumento na corrente é uma resposta esperada à aplicação de carga. Para fornecer o torque mecânico demandado, o motor necessita extrair mais potência elétrica da fonte, o que se traduz diretamente em um aumento na corrente do enrolamento principal. O motor se ajusta à nova condição de carga, e a corrente se estabiliza em um novo valor de regime, refletindo a energia adicional consumida para superar a carga aplicada.

### 3.3. Corrente do enrolamento auxiliar:



Após ligar a máquina, a corrente oscila entre aproximadamente  $\pm 10$  A na frequência da rede; à medida que o rotor ganha velocidade essa envoltória diminui ligeiramente, pois o escorregamento cai e a impedância vista pelo enrolamento aumenta. Quando o motor atinge cerca de 75% da velocidade síncrona, a chave centrífuga abre (momento assinalado pela linha preta pontilhada), retirando simultaneamente o capacitor e o próprio enrolamento auxiliar do circuito. A partir desse instante o gráfico desce abruptamente a zero e permanece absolutamente plano até o fim da simulação, o que confirma que a comutação ocorreu de forma limpa, sem corrente residual e, portanto, sem risco de aquecimento excessivo do fio auxiliar. A linha vermelha em 2 s apenas marca o instante em que o modelo aplica um degrau de carga mecânica ao eixo; como o enrolamento auxiliar já estava desligado havia mais de um segundo, esse evento não provoca qualquer variação na corrente, que segue rigorosamente nula.

### 3.4. Tensão no capacitor de partida:



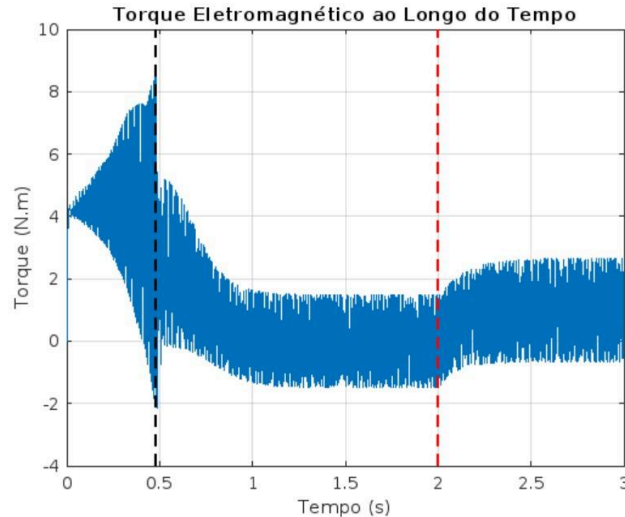
No intervalo de 0 a 0,5 segundos, observa-se uma tensão alternada significativa sobre o capacitor, indicando que ele está ativo e em operação. Nesse período, o capacitor está em série com o enrolamento auxiliar, criando uma defasagem entre as correntes dos enrolamentos principal e auxiliar. Essa defasagem gera um campo magnético girante necessário para iniciar a rotação do rotor.

Por volta de 0,5 segundos, a chave centrífuga é acionada, como indicado pela linha preta tracejada. A atuação dessa chave ocorre quando o rotor atinge uma determinada velocidade (75% da velocidade nominal). A partir desse ponto, a chave abre o circuito do enrolamento auxiliar e, conseqüentemente, desconecta o capacitor de partida do circuito.

Após esse instante, a tensão sobre o capacitor se torna constante e próxima de 100 V (sem alternância), o que indica que ele foi isolado do restante do circuito — está apenas carregado, mas sem participação ativa no funcionamento do motor. Esse comportamento confirma que a função do capacitor é restrita à partida e que ele é corretamente desligado durante a operação contínua, como exige o projeto térmico e elétrico desse tipo de motor.

### 3.5. Torque eletromagnético:

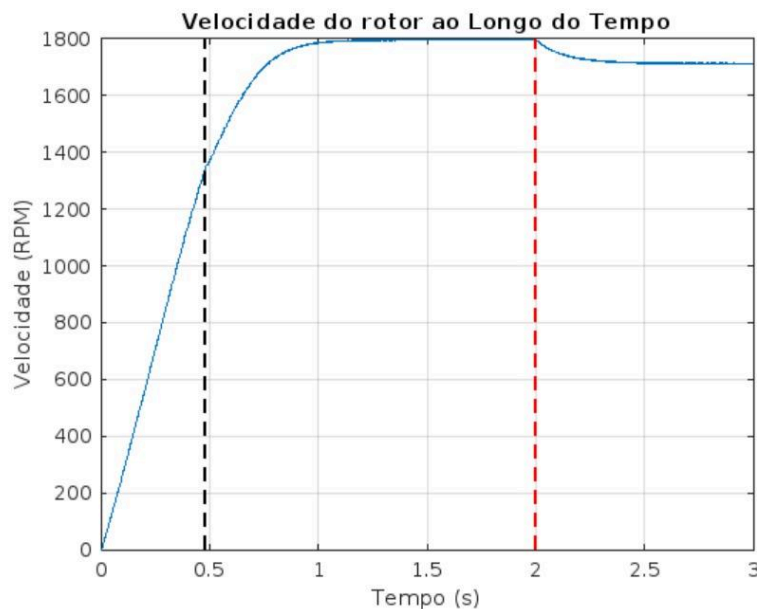




Apresenta-se a análise do comportamento do torque eletromagnético de um motor de indução monofásico ao longo do tempo, conforme ilustrado no gráfico fornecido. Esta análise visa detalhar as diferentes fases de operação do motor, com foco na geração e resposta do torque. No período inicial, que vai de 0 a 0.48 segundos, o motor encontra-se em sua fase de partida. Durante este intervalo, o torque eletromagnético exibe um comportamento dinâmico, caracterizado por uma rápida ascensão e oscilações significativas. O torque inicial, partindo de aproximadamente 4 N.m, atinge picos próximos a 8 N.m antes de uma queda acentuada. Este pico de torque é fundamental para superar a inércia do rotor e qualquer carga inicial, permitindo que o motor inicie seu movimento. A presença do capacitor de partida é crucial nesse estágio, pois ele é responsável por criar o campo girante auxiliar necessário para o desenvolvimento desse torque de arranque robusto em motores monofásicos. Em 0.48 segundos, conforme indicado pela linha tracejada preta vertical, ocorre a desativação da chave centrífuga e, conseqüentemente, a desconexão do capacitor de partida. Neste instante, o torque eletromagnético sofre uma redução abrupta, estabilizando-se em um patamar próximo a zero, com flutuações de menor amplitude. Essa diminuição acentuada do torque é esperada, pois o motor já atingiu uma velocidade de rotação que não demanda mais o auxílio do capacitor de partida. O torque gerado passa a ser apenas o necessário para manter o motor em movimento, sem carga. As pulsações de torque neste período de operação em vazio são notavelmente maiores, atingindo 2 N.m pico a pico, o que corresponde a 200% do torque nominal, refletindo a natureza pulsante do campo magnético em motores monofásicos operando sem o enrolamento de partida. Posteriormente, no intervalo de 0.48 segundos a 2 segundos, o motor opera em regime permanente e sem a aplicação de carga externa. Durante essa fase, o torque eletromagnético se mantém próximo de zero, com pequenas oscilações. Isso indica que o torque gerado é suficiente apenas para compensar as perdas internas do motor, como atrito e ventilação, permitindo que ele mantenha sua velocidade de regime em condições de vazio. Por fim, em 2 segundos, marcado pela linha tracejada vermelha vertical, um torque de carga de 1 N.m é aplicado ao motor. Em resposta a essa demanda, o torque eletromagnético do motor aumenta, estabilizando-se em um novo patamar que varia entre 1 N.m e 2 N.m, com picos que podem chegar a 2.5 N.m. Este aumento no torque é

uma resposta direta à necessidade de suprir a carga mecânica imposta. É importante ressaltar que as pulsações de torque são substancialmente reduzidas nessa condição de plena carga, atingindo apenas 0.04 N.m pico a pico, equivalente a 4% do torque nominal.

### 3.6. Velocidade do rotor:



Logo após a energização, o conjugado gerado pelo enrolamento auxiliar defasado acelera o rotor quase em rampa: em apenas meio segundo ele sai do repouso até cerca de 1400 RPM. Nesse ponto (assinalado pela linha preta), que corresponde a 75% da velocidade síncrona de 1800 RPM, a chave centrífuga abre e retira o capacitor e o enrolamento auxiliar do circuito. A partir daí o motor conta só com o campo pulsante do enrolamento principal; o torque diminui, a inclinação da curva fica mais suave, mas a inércia já acumulada garante que a aceleração continue até alcançar aproximadamente 1750 RPM em torno de 0,9 s. Entre 0,9 s e 2 s o rotor permanece praticamente estacionário em torno desse ponto de equilíbrio, com um leve abaixamento causado pelas pulsações de torque típicas de um motor monofásico operando sem o enrolamento auxiliar. A linha vermelha, em 2 s, marca o instante em que o modelo aplica um degrau de carga mecânica: a velocidade cai alguns poucos pontos de rpm e depois se estabiliza um pouco abaixo de 1700 RPM, mostrando que o conjugado disponível em regime é suficiente para sustentar a carga sem que o motor “empurre” a velocidade para baixo de 5 % de escorregamento.

Durante o período de partida, enquanto a chave seccionadora permanecer fechada (de  $t = 0$  a  $t = 0,48$  s), todas as formas de onda são idênticas. Após a abertura da chave, observam-se diferenças, conforme explicado abaixo.

## 5. Conclusão

O relatório apresentou uma análise detalhada do acionamento de motores de indução monofásicos com capacitor de partida, fundamentada em simulações realizadas no Matlab e em princípios teóricos. Os resultados demonstraram que essa configuração é eficaz para aplicações que demandam alto torque inicial, como compressores, bombas hidráulicas e eletrodomésticos, corroborando as expectativas teóricas.

A simulação permitiu observar o comportamento dinâmico do motor, destacando-se a defasagem entre as correntes dos enrolamentos principal e auxiliar, proporcionada pelo capacitor de partida de 255  $\mu\text{F}$ , que gerou um campo magnético girante temporário. Esse campo foi essencial para vencer a inércia inicial do rotor, com o capacitor sendo desligado automaticamente ao atingir 75% da velocidade nominal. Além disso, verificou-se que a corrente total diminuiu após a desconexão do enrolamento auxiliar, mantendo apenas o enrolamento principal em operação contínua.

As oscilações de torque e as vibrações mecânicas observadas durante a partida, embora presentes, não comprometeram a eficiência global do sistema. Em síntese, a simulação realizada validou os conceitos teóricos e destacou as características operacionais deste tipo de acionamento.

## Apêndice

*Para executar a simulação do funcionamento do capacitor de partida, é necessário rodar dois arquivos. Primeiramente, abra e execute o modelo **capacitor\_de\_partida.slx** no Simulink, que realiza a simulação do circuito elétrico do motor com capacitor de partida. Em seguida, execute o script **Grafico.mlx** no MATLAB, responsável por processar os dados gerados pela simulação e plotar os gráficos correspondentes, como a tensão no capacitor ao longo do tempo. Esses dois passos permitem visualizar e analisar o comportamento dinâmico do sistema durante a partida do motor. Ambos podem ser executados pelo matlab online.*

## Referências

- [1] NERI JÚNIOR, Almir Laranjeira. *Acionamento suave do motor de indução bifásico através de eletrônica de potência*. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação, Campinas, 2005.
- [2] CAMPO GIRANTE. Motor monofásico com capacitor de partida – componentes, terminais e dados de placa. YouTube. Disponível em: [https://www.youtube.com/watch?v=NK5B\\_Ae90vA](https://www.youtube.com/watch?v=NK5B_Ae90vA). Acesso em: 17 maio 2025.
- [3] ONG – Chee-Mun Ong, *Dynamic Simulation of Electric Machinery using MATLAB/SIMULINK*, Ed. Prentice Hall, 1998.