

Sistema de transporte vertical utilizando um motor linear

Ricardo Silva Thé Pontes

UFC
ricthe@dee.ufc.br

Tobias Rafael Fernandes

Neto
UFC
tobias@dee.ufc.br

Resumo

Este trabalho apresenta a concepção de um protótipo de elevador com cabo, utilizando o motor de indução linear (MIL) como máquina de tração e, conseqüentemente, o desenvolvimento de um inversor para o acionamento do MIL. Desta maneira o desenvolvimento de um inversor específico para a alimentação do motor linear propicia diversas formas de acionamento do elevador, através de uma escolha adequada dos níveis de tensão eficaz, da defasagem angular e da frequência da tensão fundamental de saída. Como resultado, procura-se estabelecer um novo paradigma para o transporte vertical, através de uma inovadora técnica de construção e arranjo do sistema com um motor linear como contrapeso, permitindo o aumento da confiança, conforto e velocidade.

Palavras-chave: Motor linear. Sistemas de transporte. Inversor.

Abstract

This work looks at a conception of a roped elevator prototype, using a linear induction motor (LIM) as traction machine and a development of a linear drive. Thus the development of a specific inverter to feed the linear motor allows several ways to drive the elevator, through a suitable choice of the RMS voltage levels, an angular phase displacement and a fundamental frequency of the output voltage. As a result, it tries to establish a new paradigm of the vertical conveying, through a new construction technique and arrangement of the system with counterweight allowing an increase of reliability, comfort and costless.

Keywords: Linear Motor. Conveying Systems. Inverter.

1 Introdução

Atualmente, na grande maioria das aplicações, em que o movimento de translação é necessário, utiliza-se um motor elétrico rotativo como fonte de força motriz, para a transformação do movimento rotativo em um movimento linear; se faz necessária a utilização de um complexo sistema mecânico formado por engrenagens, eixos e roscas sem fim. Estes sistemas mecânicos para transmissão de energia produzem grandes perdas, acentuado desgaste devido ao atrito das partes mecânicas, mesmo com a utilização de fluidos de baixa viscosidade para a lubrificação, aumentando desta forma os custos operacionais, principalmente os relativos à manutenção. Portanto a utilização de um motor elétrico que desenvolva diretamente o movimento de translação, para aplicações de transporte, resultaria em menor custo operacional, maior confiabilidade e menor manutenção.

Este trabalho busca o desenvolvimento de um novo sistema de transporte vertical utilizando um motor de indução linear, alimentado por um conversor específico, no qual se implanta a técnica de acionamento desejada.

2 O motor linear

Os motores lineares podem ser compreendidos como sendo o resultado de uma máquina rotativa, a qual tenha sido cortada ao longo de um plano axial e estendida, como pode ser vista na Figura 1; seu desenvolvimento teve início concomitantemente com o das máquinas elétricas rotativas, no final do século atrasado. Assim para cada tipo máquina elétrica rotativa (síncrona, indutância, relutância e corrente contínua), existe uma equivalente linear. Segundo Laithwaite e Nasar (1970), foram concedidas patentes de motores lineares em 1890 a Mayor Pittsburh – USA que descreve uma

máquina bastante rudimentar.

No início, dificuldades no seu acionamento levaram a um uso restrito com poucas e singelas aplicações, enquanto o acionamento da máquina de corrente alternada rotativa ocorria com facilidade em tensão e frequência fixas. Outros problemas, devido aos efeitos de extremidade longitudinal e lateral existentes nas máquinas lineares, não permitiram a popularização de seu uso em aplicações rotineiras, fazendo a máquina linear, constar basicamente como referência teórica, por quase toda a primeira metade do século XX.



Figura 1: Obtenção de um motor linear a partir de um rotativo.

Com a evolução da eletrônica de potência e dos semicondutores de potência associados aos microcontroladores, é possível controlar a velocidade, ajustar a força propulsora e controlar a frenagem do motor linear, isto com eficiência e segurança. Desta forma, algumas aplicações estão tornando-se vantajosas, quando comparadas com as equivalentes acionadas por motores elétricos rotativos.

As perspectivas de futuras aplicações dos motores lineares no parque industrial são cada vez mais promissoras, podendo ser citadas: prensas, pontes rolantes, esteiras transportadoras, bate-estacas, bombeamento de metais líquidos, máquinas ferramentas, portas móveis, abertura de comportas, escadas rolantes, aplicações militares e aeroespaciais, hiper-velocidade, propulsão de navios e submarinos, transporte de ferro gusa na indústria siderúrgica, aplicações biomédicas, elevadores, transporte e elevação de cargas em armazéns.

3 O motor linear no transporte vertical

O motor linear tem sido pesquisado para uma utilização no transporte vertical, já que a característica principal é o movimento de translação, propiciando um movimento sem mecanismos de transformação, aumentando a eficiência e a confiabilidade, além de permitir a redução na chamada “casa de máquinas”.

Segundo (Gieras, 1999), desde o início das pesquisas para a utilização do motor linear em transporte vertical, o tipo do motor elétrico (síncrono, indução e relutância) a ser usado tornou-se uma grande fonte de discussão entre os pesquisadores. Já que vários arranjos podem ser feitos na estrutura do elevador, tais como: o motor realizar o trabalho de deslocar todas as massas viajantes ou utilizar um cabo com contrapeso aliviando o motor, neste caso o motor pode ser parte integrante do contrapeso.

Assim, a utilização do motor linear em elevadores oferece:

- Desempenho comparado a um motor rotativo.
- Operação suave com um maior conforto na subida e descida.
- Melhor manutenção e fácil acesso à inspeção.
- Dispensa construção da casa de máquinas.
- Economia de energia e redução da potência exigida.
- Altas velocidades.

4 Protótipo de um elevador usando um motor de indução linear bilateral

Para a comprovação teórica experimental, projetou-se um protótipo de um elevador com o acionamento por um motor de indução bilateral, que serviria de tração e contrapeso. Para início do projeto, foi determinado que o motor linear fosse experimental e tivesse um tamanho reduzido devido às condições de altura do pé direito do laboratório (GPAR) do Departamento de Engenharia Elétrica da UFC, onde o protótipo seria instalado. Com as limitações físicas definidas, foi

estudada qual topologia do motor linear deveria ser usada para o projeto. Para tanto, se dimensionou, primeiramente, o motor linear; depois, a estrutura mecânica do elevador; em seguida, o inversor de acionamento e, por fim, o sistema de controle implantado em um microprocessador e uma unidade de processamento digital de sinal (DSP).

4.1 Dimensionamento do MIL

Dada a experiência acumulada pelo grupo de pesquisa, optou-se por um motor de indução linear, para o qual o projeto é similar ao de um motor de indução rotativo tradicional, com as diferenças inerentes ao motor linear devido aos efeitos de extremidades. A seguir, será apresentada a seqüência dos principais passos para o dimensionamento do MIL

4.2 Dimensionamento do indutor

O motor a ser construído deve possuir uma baixa velocidade devido ao percurso de 3m (limitação da altura do pé direito), assim a velocidade máxima foi limitada em 1,2m/s para uma freqüência de 20 Hz e uma força de 200N, para uma tensão de alimentação de 220 volts.

A partir destes dados o motor foi dimensionado segundo a literatura (Gieras 1999; Simone 1989 e 2000), utilizando chapas de aço silício de grãos não orientados para construir o núcleo do indutor (cortesia da CEMEC). O indutor deveria possuir 12 pólos magnéticos, para se utilizar toda a extensão da chapa de dimensões 450x100mm. Devido às restrições de construções mecânicas, acomodação do fio na ranhura e passo polar limitado devido à baixa velocidade, optou-se por ranhuras abertas retangulares.

4.3 Cálculo do número de ranhuras

De acordo com Gieras (1999), para pequenos motores trifásicos o número de ranhuras por pólo por fase é igual a 1. A expressão (1) dá o número de ranhuras que o MIL deve possuir:

$$z = p \cdot m_p \cdot q \quad (1)$$

Sendo;

z=Número de ranhuras por pólo.

q=Número de ranhuras por pólo por fases.

mp=Número de fases.

p=Número de pólos.

Ou seja, o MIL terá 36 ranhuras ao longo de seu comprimento, mas devido à técnica utilizada para o bobina- mento o indutor foi projetado com 39 ranhuras.

4.4 Comprimento do passo polar

Para o cálculo do passo polar (τ) utiliza-se a Equação (2). De posse dos dados desejados, o passo polar foi determinado:

$$\tau = 3 \text{ cm} \quad (2)$$

Para a construção de um MIL, em que o passo polar possui 3 cm e 39 ranhuras, as ranhuras deveriam possuir um comprimento de 8,2mm. Entretanto, para facilitar a construção mecânica, foi adotado um diâmetro padrão de ferramenta de corte da máquina de fresa. Assim, a ranhura final construída possui 5 mm.

4.5 Comprimento do MIL

Para o cálculo do comprimento do MIL (L), temos:

$$L = 2 \cdot p \cdot \tau + w_c + c_1 \quad (3)$$

$$L = 36,5 \text{ cm}.$$

Sendo;

wc =Passo da bobina (cm).

$c1$ =Largura do dente da ranhura (cm).

4.6 Largura do MIL

Para o cálculo da largura do MIL (c), pode-se utilizar a seguinte fórmula:

$$c = \frac{A}{L}, \quad (4)$$

$$c = 6,9cm.$$

Sendo;

A =Área do indutor (cm^2).

4.7 Número de espiras

Para o cálculo do número de espiras por fase do MIL (N_i), segue-se a seguinte equação:

$$N_i = \frac{(A m y \cdot \tau p)}{3\sqrt{2} \cdot I} \quad (5)$$

$$N_i = 1180 \text{ espiras.}$$

Sendo;

Amy =Densidade de corrente (A/m^2).

I =Corrente de fase (A).

Já determinado o número de espiras por fase e o número de pólos, calcula-se o número de espiras por ranhura no indutor (N_{si}):

$$N_{si} = \frac{N_i}{p \cdot q}, \quad (6)$$

$$N_{si} = 196 \text{ espiras por ranhura.}$$

4.8 Altura da culatra

Para o cálculo da altura ideal da culatra (A_c) do motor, onde por ela passará o fluxo concatenado, utilizou-se a Equação (7).

$$A_c = (0,3 \dots 0,5) \cdot B_m \cdot \tau, \quad (7)$$

$$A_c = 1,8cm.$$

Sendo;

B_m =Densidade da componente magnética normal ao fluxo do entreferro (T).

O valor ideal para a altura da culatra será de aproximadamente 2 cm.

Algumas medidas foram alteradas, como já dito, devido ao uso dos de ferramentas padrões e mantendo dimensões originais da chapa de aço-silício para simplificar a construção do indutor.

4.9 Dimensionamento do linor

Para o dimensionamento, segundo (Yamamura, 1972), a chapa de alumínio deve possuir uma largura tal que amenize o efeito de extremidade transversal.

Assim, de acordo com a equação (8):

$$d = \frac{\hat{\sigma}}{\bar{\sigma}}, \quad (8)$$

$$d = 0,955cm.$$

Desta forma, a largura total do linor pode ser determinada pela expressão (9), a partir da Figura 2, onde “c” corresponde à largura do indutor:

$$\hat{c} = c + 2d.$$

$$\hat{c} \approx 10\text{cm.}$$

(9)

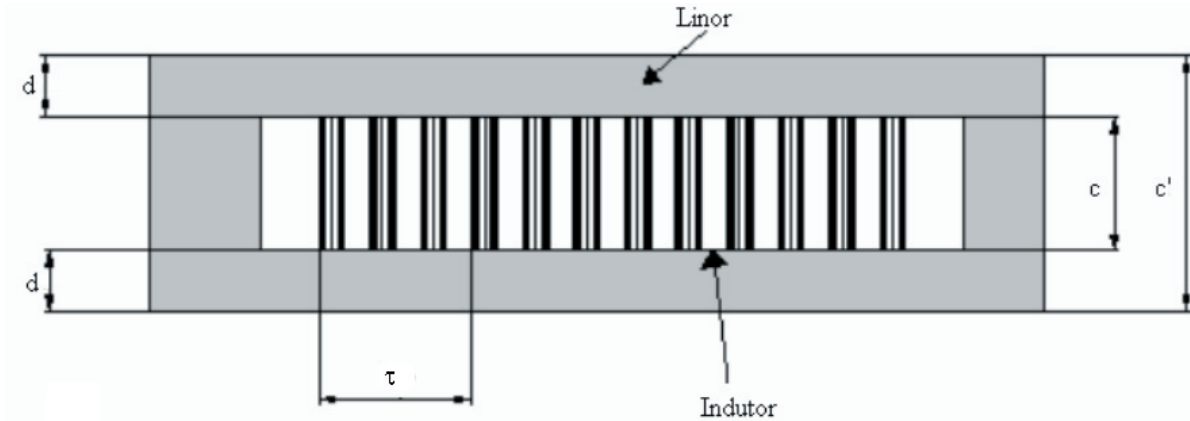


Figura 2: Largura máxima para o linor.

10 Enrolamento do indutor

O enrolamento de cada pacote foi projetado para possuir uma configuração trifásica de 12 pólos para uma maior força, tendo uma distribuição de dupla camada nas trinta e três ranhuras centrais e mono camada nas seis ranhuras de extremidades segundo (Laithwaite, 1976), sendo três na extremidade de entrada e três na extremidade de saída, como pode ser visto na Figura 3.

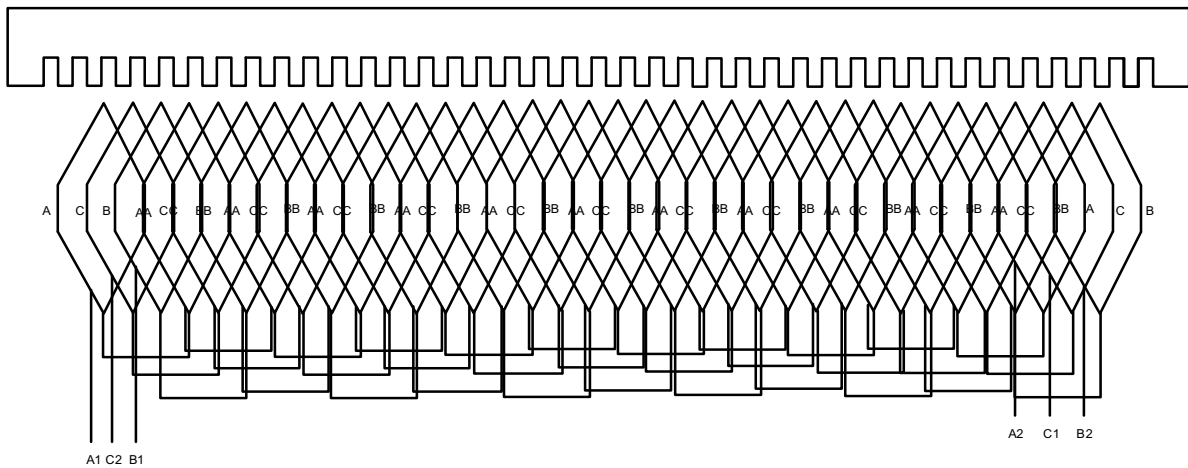


Figura 3: Enrolamento trifásico do MIL.

Esta configuração de enrolamento, associada ao alongamento dos dentes externos, busca suavizar os efeitos de extremidade. O enrolamento do indutor possui 196 espiras em cada ranhura do fio nº 22AWG (0,33mm²).

O resultado final do enrolamento e do indutor do motor linear projetado pode ser visto nas Figuras 4 e 5. O protótipo foi projetado com uma estrutura de ranhura aberta no qual se podem realizar pequenos ajustes.

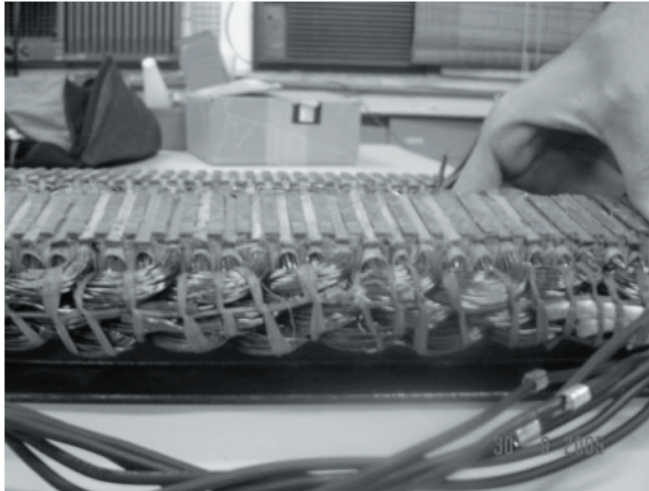


Figura 4: Enrolamento trifásico do MIL (vista lateral).

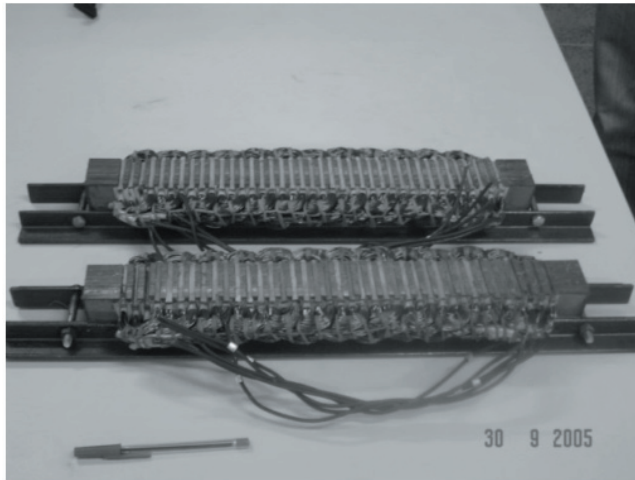


Figura 5: Indutor do motor linear projetado (vista superior).

5 Estrutura mecânica

Neste protótipo, o linor é composto de uma chapa de alumínio de 3000 x 5,6 x 12 mm. Devido à boa condutibilidade de corrente e à má condutibilidade magnética, o alumínio faz o mesmo papel de uma gaiola de esquilo em um motor convencional.

Esta configuração pode ser mais bem entendida, observando a Figura 6, que mostra a distribuição do fluxo magnético em um MIL bilateral.

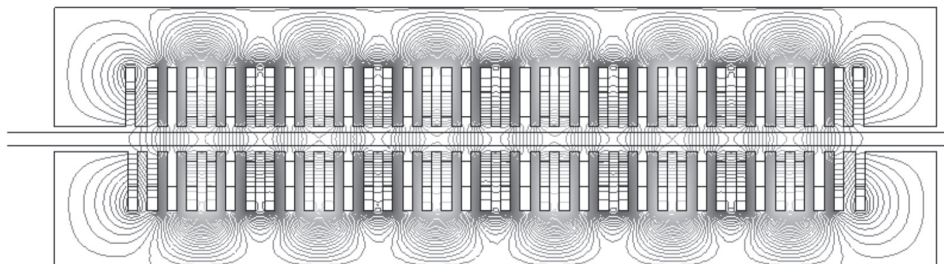


Figura 6: Distribuição do fluxo magnético em um MIL bilateral utilizando o método dos elementos finitos.

Para o desenvolvimento da estrutura mecânica, o motor linear foi pensado como um contrapeso devido a sua característica de massa. Desta forma imaginou-se uma estrutura de elevador de tração com contrapeso, sendo o contrapeso o próprio motor de tração.

Na Figura 7, pode-se observar a estrutura de suporte do indutor que possui regulagem de entreferro em ambos os indutores. Desta maneira, consegue-se um ajuste fino do entreferro entre os indutores. Para o deslocamento da estrutura, utilizou-se uma caixa de rolamentos em formato de “rabo de andorinha” para se obter um menor atrito entre as cantoneiras guias do elevador.

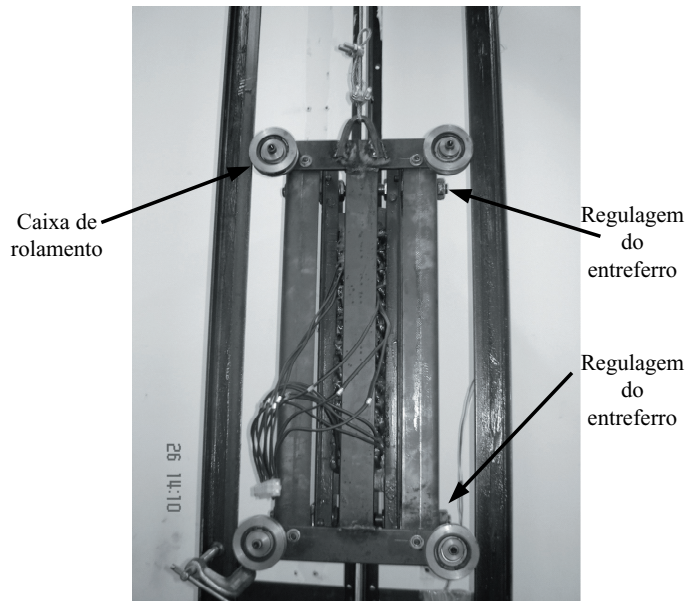


Figura 7: Estrutura de suporte do indutor.

Já na Figura 8 observa-se a estrutura de fixação do linor em que também há uma regulagem, devido ao linor ser obtido de uma chapa de alumínio e assim não ser totalmente apumado.

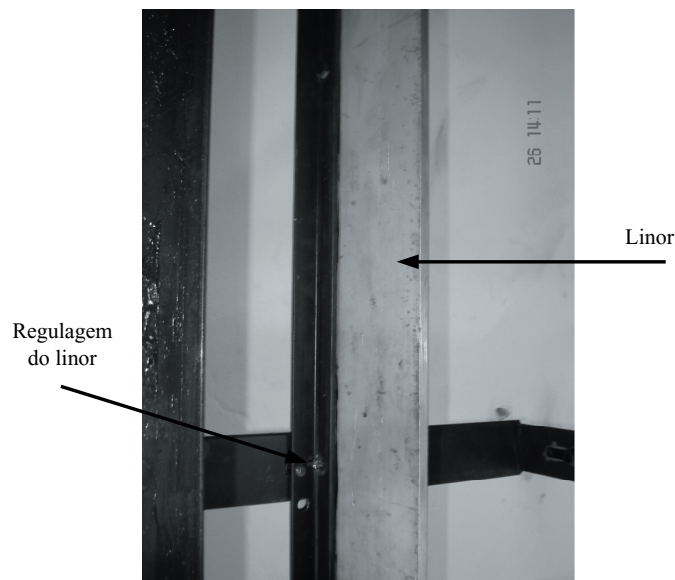


Figura 8: Estrutura de suporte do linor.

Na Figura 9, temos a estrutura final construída. Toda estrutura é composta de cantoneiras “T” em aço 1020 de ¼ pol e barras “chatas” e “metalon” também em aço 1020. O protótipo foi projetado com uma estrutura aberta no qual se podem realizar ajustes internos.



Figura 9: Estrutura do elevador finalizada.

6 Inversor *double-bridge*

Esta pesquisa propõe um novo método de acionamento, fazendo necessário utilizar uma topologia em que forneça ao motor correntes desequilibradas, menor frequência de operação com maior tensão de alimentação. Sendo assim, o inversor será o inversor *double-bridge* como observado na Figura 10, fornecendo ao motor as correntes desequilibradas requeridas.

Assim, o inversor terá uma saída de linha de 220Vrms e para uma frequência nominal de 20 Hz.

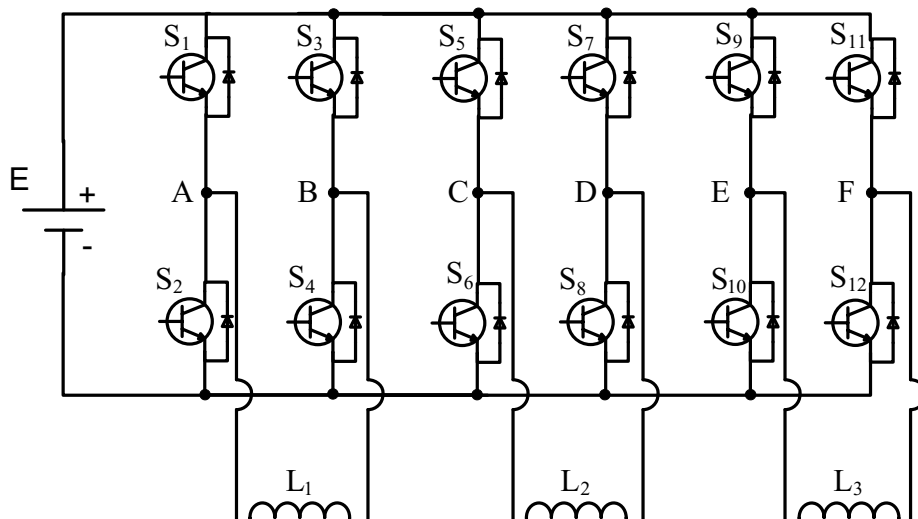


Figura 10: Estrutura do inversor trifásico *double-bridge*.

Nota-se que este tipo de inversor é essencialmente três inversores monofásicos em ponte completa. Deste modo, a análise das etapas de funcionamento podem ser comparadas ao funcionamento de um inversor em ponte completa, nos quais as chaves (S1 e S2, S5 e S6, S9 e S10) compõem os primeiros braços do inversor, enquanto (S3 e S4, S7 e S8, S11 e S12) compõem o segundo braço.

A modulação PWM senoidal utilizada para o projeto consiste na modulação com senóide retificada. Nesta modulação, tem-se o aumento na frequência da onda moduladora em duas vezes. Cada braço do inversor é modulado somente em um semiciclo da senóide. Essa modulação foi escolhida para ser implantada de forma digital, pois não se pode ter tensão negativa em sistema no qual o tratamento de sinais será realizado por micro controlador ou DSP.

O princípio dessa modulação é a comparação da portadora triangular com o sinal senoidal retificada, na qual cada semiciclo da onda moduladora corresponderá a uma seqüência de comutação. Para o primeiro semiciclo, as chaves S1 e S4 deverão conduzir de acordo com o sinal PWM gerado na comparação descrita anteriormente, deixando as chaves S2 e S3 abertas. Ao término do primeiro semiciclo, a lógica deverá ser invertida, fazendo com que as chaves S1 e S4 fiquem abertas e S2 e S3 passem a conduzir, como mostra a Figura 11.

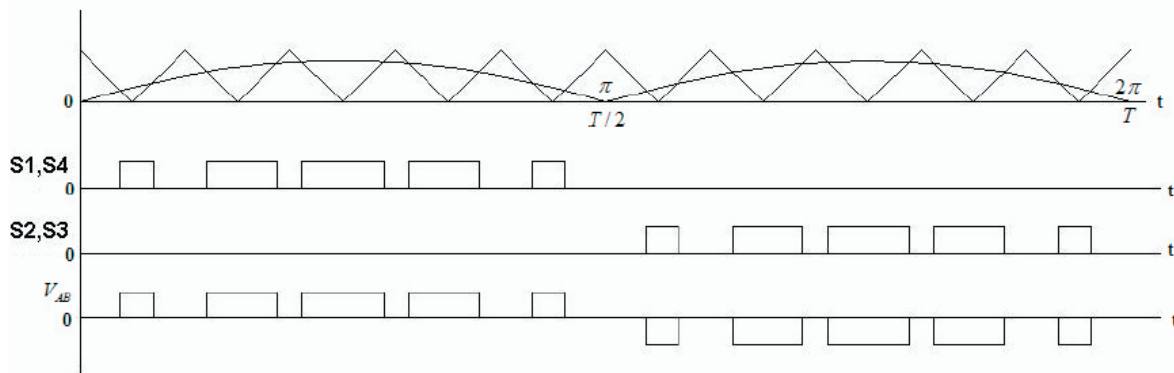


Figura 11: Sinais de comparação, sinais nas chaves do inversor e sinal de saída.

6.1 Especificação do protótipo

As especificações do inversor projetado são apresentadas a seguir na Tabela (1). Variadas condições de alimentação (desequilíbrio da tensão de alimentação e assimetria entre fases) do MIL foram consideradas. A Fig. 12 apresenta o diagrama de blocos do sistema.

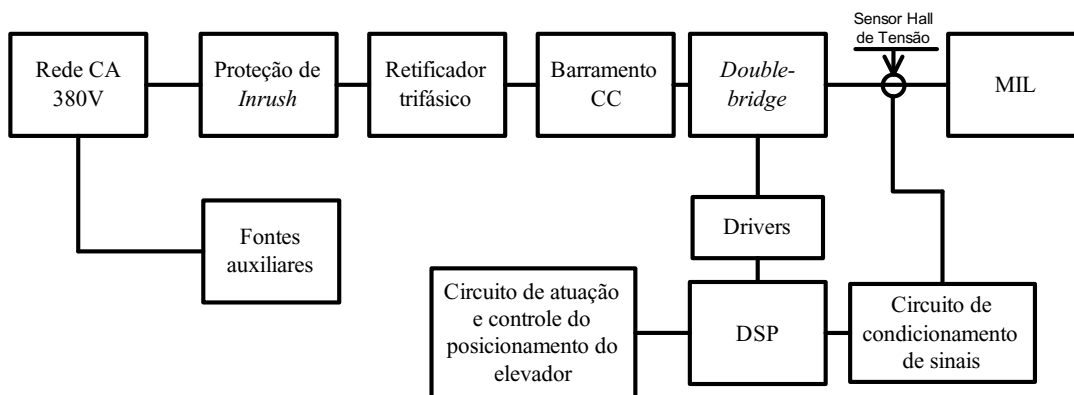


Figura 12: Representação em diagrama de blocos do sistema projetado.

Para o valor desejado da potência aparente do inversor, levou-se em conta a corrente de alimentação do motor obtida através de ensaios, quando alimentado pela rede elétrica, ou seja, aproximadamente 8A.

Tabela 1: Especificações do projeto.

Potência aparente de saída	S=5400VA
Tensão eficaz de alimentação	V _{in} =380AC
Tensão eficaz de saída	V ₀ =220AC
Frequência da rede elétrica	f _r =60Hz
Frequência de comutação	f _S =7500Hz
Frequência de saída	f _{out} =20Hz

7 Técnica do controle de velocidade

A escolha de uma estratégia de controle é muito importante na determinação das características gerais de desempenho de um sistema de acionamento.

Nesta pesquisa, utiliza-se o controle de velocidade em malha aberta do motor de indução linear operando a frequência ajustável, pois o protótipo do sistema de transporte vertical tem como requisito uma partida e uma frenagem suaves (baixas aceleração e desaceleração).

A estratégia escolhida para a realização das rampas de aceleração e desaceleração foi o controle escalar, pois é mais comumente utilizada para o inversor PWM malha aberta (sem realimentação da velocidade).

O controle escalar é a técnica de controle que mantém constante a relação entre a tensão e a frequência de alimentação, mantendo desta forma o fluxo no estator constante.

A implantação do controle deste sistema foi realizada com o uso de um processador digital de sinais (DSP) da TMS320F2812 da Texas Instruments, devido a sua alta velocidade de processamento, alta capacidade de memória e realização de instruções matemáticas, utilizando uma representação numérica de ponto fixo ou flutuante.

O DSP faz um controle totalmente digital da frequência e da tensão de linha na saída do inversor, como também controla as rampas de aceleração e desaceleração do MIL.

Desta maneira, foi implantada, via programação do DSP, uma curva V/f digital mostrada na Figura 13, que permite a redução da tensão proporcionalmente à frequência da fundamental, de modo que o fluxo no entreferro se mantenha constante.

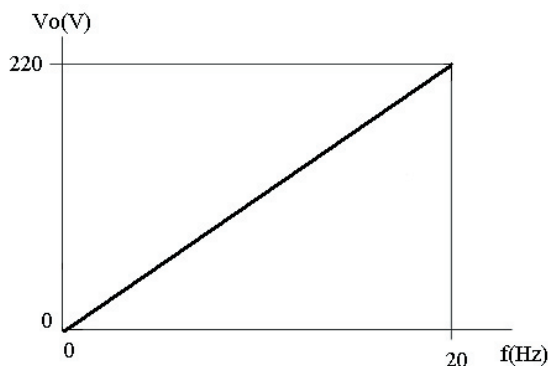


Figura 13: Curva V/f programada no DSP.

8 Resultados experimentais

Os ensaios foram realizados com o MIL em funcionamento nominal com seus enrolamentos conectados em Y (estrela) e uma tensão nominal entre fases de 220 V.

Para a realização deste levantamento, o MIL foi alimentado por um transformador trifásico variável. Com a utilização de um osciloscópio digital *Tektronix* série TPD2000, foram obtidas as correntes de alimentação, como observado na Figura 14 e na Tabela 2.

Tabela 2. Valores eficazes das correntes de linha medida nos terminais do motor linear.

Corrente eficaz fase A	6,69A
Corrente eficaz fase B	5,93A
Corrente eficaz fase C	7,04A

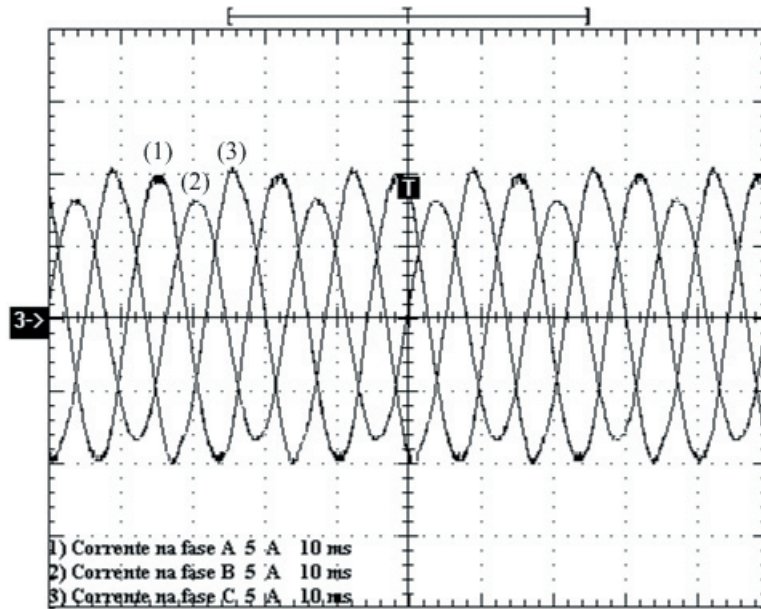


Figura 14: Funcionamento nominal do MIL: 1)= 2)= 3) 5A/div; 10ms/div.

O protótipo de 5,4KVA montado no Grupo de Pesquisa de Automação e Robótica - GPAR do departamento de engenharia elétrica da UFC é apresentado na Figura 15.

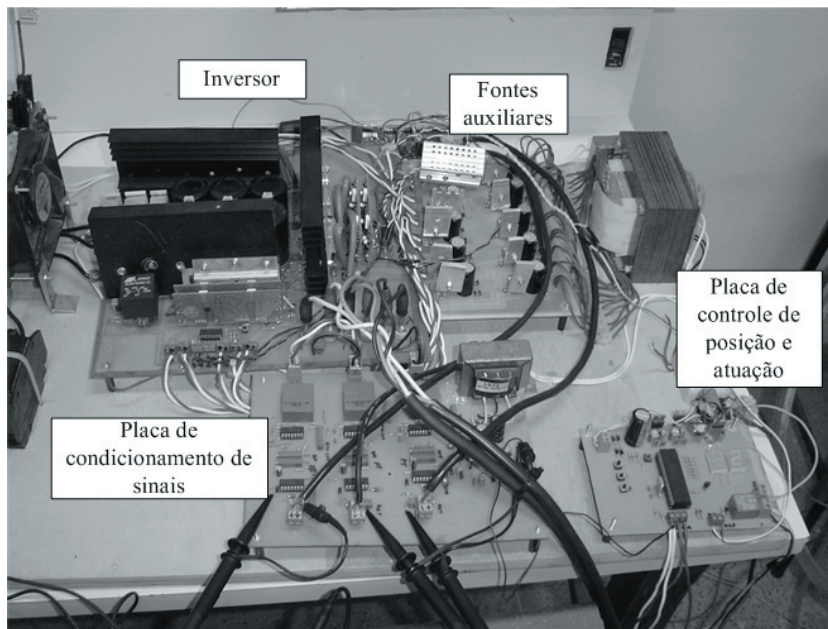


Figura 15: Vista geral do protótipo montado no laboratório.

A Figura 16 apresenta as formas de onda de corrente de saída; a Figura 17 apresenta as formas de onda da tensão de saída para o motor de indução linear projetado para o sistema de transporte vertical, para uma tensão eficaz de saída de 220 V, uma frequência de 20 Hz e uma defasagem angular de 120° graus.

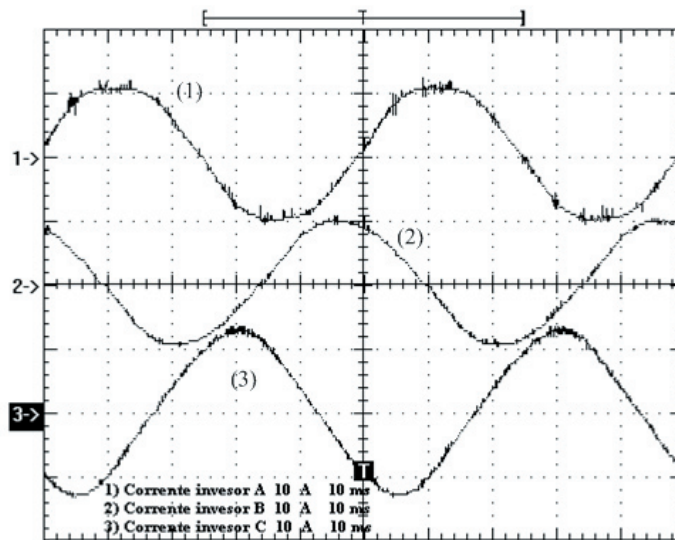


Figura 16: Corrente de saída para o inverter double-bridge. 1)=2)=3)10A/div; 10ms/div.

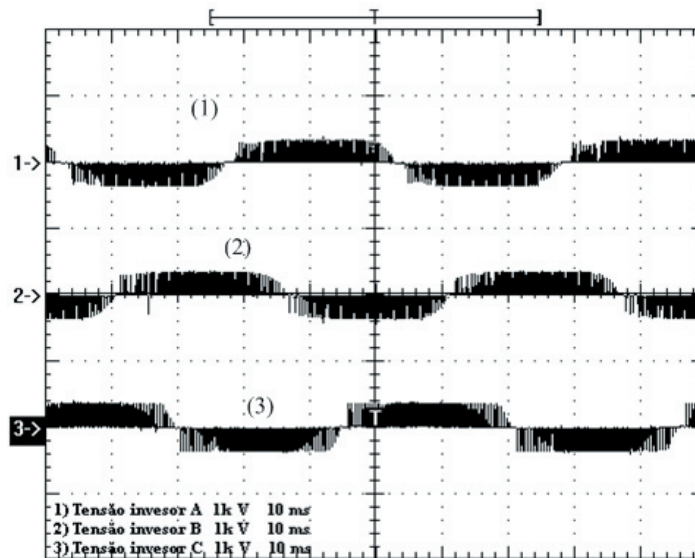


Figura 17: Tensão de saída para o inverter double-bridge. 1)=2)=3)1kV/div; 10ms/div.

A partir da técnica de controle V/f constante, foi feito um programa no DSP, para que o motor obtivesse uma partida em rampa de aproximadamente 1,5s.

A Figura 18 apresenta as formas de onda da corrente do motor linear projetado, para uma partida, com uma rampa de tensão variando de 0-220 V e a frequência variando de 0-20 Hz, para uma defasagem de 120° graus.

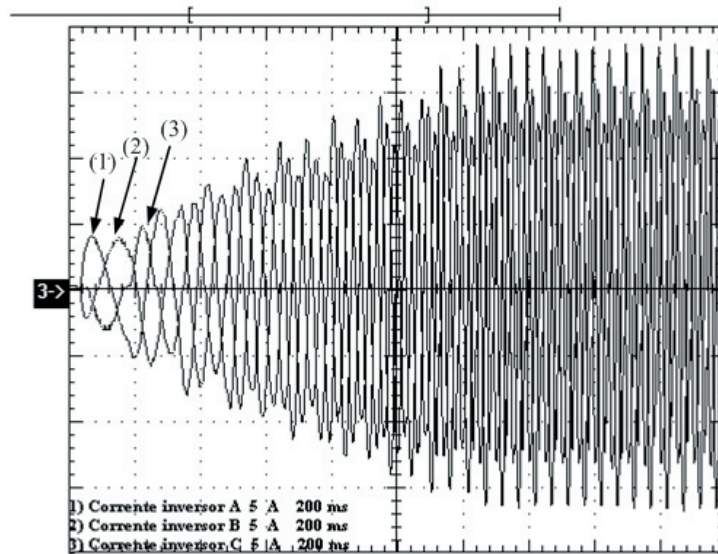


Figura 18: Corrente do MIL, para uma rampa de aceleração. 1)=2)=3)5A/div; 200ms/div.

Também, a partir da técnica de controle V/f constante, foi feito um programa no DSP, para que o motor obtivesse uma parada com uma rampa uma de desaceleração de aproximadamente 2,5s.

A Figura 19 apresenta as formas de onda da corrente do motor linear projetado, para uma parada, com uma rampa com tensão variando de 220-0 V e uma frequência variando de 20-0 Hz, para uma defasagem de 120° graus.

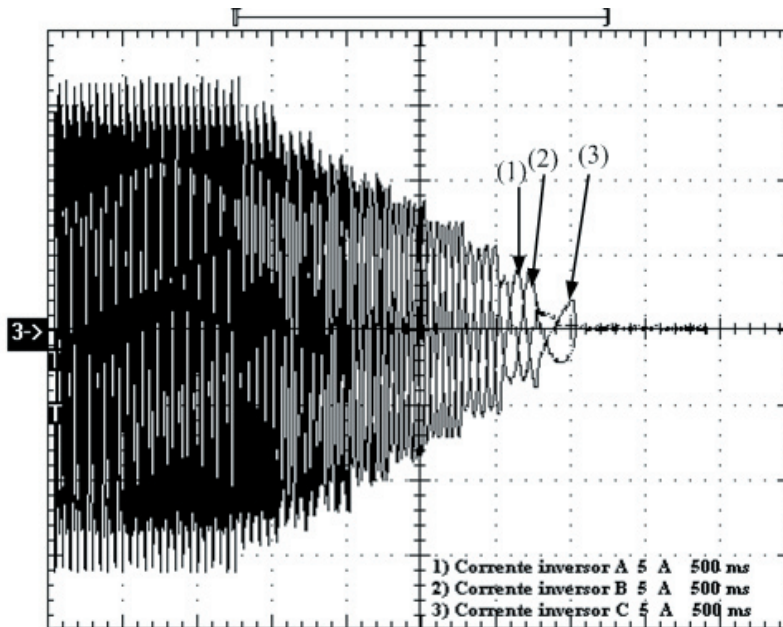


Figura 19: Corrente do MIL para uma rampa de desaceleração. 1)=2)=3)5A/div; 500ms/div.

9 Conclusão

Neste trabalho, foi apresentado o estudo teórico e prático de um sistema de transporte vertical utilizando o motor de indução linear. Um protótipo de elevador utilizando um MIL bilateral foi construído e ensaiado, constando da estrutura mecânica do elevador, do sistema de freio eletromagnético, do sistema de acionamento e controle de parada.

Como o inversor de tensão *double-bridge* corresponde a três inversores monofásicos em ponte completa, o DSP pode controlar de maneira independente cada um deles, ou seja, impor níveis de tensão eficaz, defasagem angular e frequência da tensão fundamental de saída, diferentes. Com isso, seu uso no acionamento do motor linear o torna uma ferramenta para impor diferentes condições de alimentação para estudos futuros.

Com o uso desta tecnologia, ocorrerá uma quebra de paradigma, devido a uma nova maneira de construção de elevadores, não existentes nas normas.

Assim, com a utilização do motor linear em elevadores, o usuário terá uma operação suave, um maior conforto na subida e descida, devido:

- ao controle de velocidade feito pelo inversor, melhor manutenção, fácil acesso à inspeção;
- à topologia do motor fornecer essa facilidade, a ausência da casa de máquinas, podendo assim economizar material de construção civil, economia de energia, redução da potência exigida;
- à otimização do motor a carga e altas velocidades devido à característica do motor linear no projeto de sua velocidade final, sem alterar na força nominal do motor ou uso de moto-redutores.

A aplicação desta tecnologia visa aos mercados onde há armazenagem como os centros de distribuição do setor varejista, o setor portuário, aplicações industriais ou transporte vertical de passageiros.

10 Agradecimentos

À FUNCAP (Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico) que contribuiu com apoio financeiro necessário à realização deste trabalho e desenvolvimento científico

Referências

- FERNANDES NETO, T. R. *Sistema de transporte vertical utilizando motor de indução linear bilateral*. 2007. 182 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica)-Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2007.
- FERNANDES NETO, T. R.; PONTES, R. S. T. Design of a vertical conveying system using a three-phase double-sided linear induction motor. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INDUSTRIAL APPLICATIONS, 7., 2006, Recife. *Anais...* Recife: IEA/AEI, 2006. 1 CD-ROM.
- GIERAS, J. F. *Linear induction drives*. Oxford: Clarendon, 1994. 298 p.
- GIERAS, J. F et al. *Control of an elevator drive with a single-sided linear motor*. Exeter: The European Power Electronics Association, 1993. Short run press.
- LAITHWAITE, E. R. *Máquinas de inducción especiales*. Barcelona: Labor, 1976. 371 p.
- PONTES, R. S. T. *Modelagem do motor de indução linear baseando-se na equivalência com o motor rotativo*. 2003. 196 f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica)-Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2003.
- SIMONE, G. A. *Uma contribuição ao estudo dos conversores assíncronos lineares*. 1989. 167 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica)-Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 1989.
- SIMONE, G. A. *Máquinas de indução trifásicas: teoria e exercícios*. São Paulo: Erica, 2000. 352 p.
- YAMAMURA, S. *Theory of linear induction motors*. Tokyo: University of Tokyo, 1972. 235 p.

SOBRE OS AUTORES

Dr. Ricardo Silva Thé Pontes

Nascido em Fortaleza-CE em 1956. Graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Ceará –UFC em 1979. Recebeu seu título de Mestre em Engenharia Elétrica em 1983 pela Universidade de Brasília-UNB e o título de Doutor em 2003 pela Universidade Federal de Uberlândia – UFC. Atualmente atua como professor na UFC. Suas áreas de interesses são Máquinas Elétricas, Acionamento de Máquinas e Automação Industrial.

M.Sc. Tobias Rafael Fernandes Neto

Nascido em Fortaleza-CE em 1981. Graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade de Fortaleza –UNIFOR em 2004. Recebeu seu título de Mestre em Engenharia Elétrica em 2007 pela Universidade de Federal do Ceará - UFC. Atualmente atua como pesquisador na UFC. Suas áreas de interesses são Acionamento de Máquinas e Automação Industrial.