



REVISTA CIENTÍFICA DA UMC



DESENVOLVIMENTO E IMPLEMENTAÇÃO DE UMA BANCADA EXPERIMENTAL PARA ESTUDO DA MÁQUINA DE INDUÇÃO TRIFÁSICA DE ROTOR BOBINADO

DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF A TEST BENCH TO STUDY THE THREE-PHASE INDUCTION MACHINE OF WOUND ROTOR

Vinicius Marcos Pinheiro, Bruno Lemos Neves, Cássio Alves de Oliveira, Mateus Araújo Beletti, Luciano Coutinho Gomes

Resumo:

Este trabalho aborda o desenvolvimento e a implementação de uma bancada experimental para estudos relacionados à máquina de indução trifásica de rotor bobinado, em virtude do importante papel que esta vem apresentando na geração de eletricidade a partir da energia eólica. Nesse sentido, são apresentados e descritos, em detalhes, os diversos equipamentos que a compõem, tais como o sistema de acionamento e o sistema de condicionamento e aquisição de dados implementado. Ademais, ainda é apresentado uma breve revisão bibliográfica acerca dos principais temas de pesquisa que circundam essa máquina, de forma a entender a importância em se ter uma bancada e de como ela pode ser empregada nos estudos.

Palavras-chave: Bancada experimental; Máquina de indução; Rotor bobinado

Abstract:

This paper presents the development and implementation of a test bench for studies related to the three-phase induction machine with wound rotor, due to the important role of this machine in the generation of electricity from wind energy. In this sense, the various equipment used are presented and described in detail, such as the drive system and the implemented measure and data acquisition system. Furthermore, a brief bibliographical review is also presented about the main themes of study that involve this machine, to understand the importance of having a test bench and how it can be used in studies.

Keywords: Test bench; Induction Machine; Wound rotor.

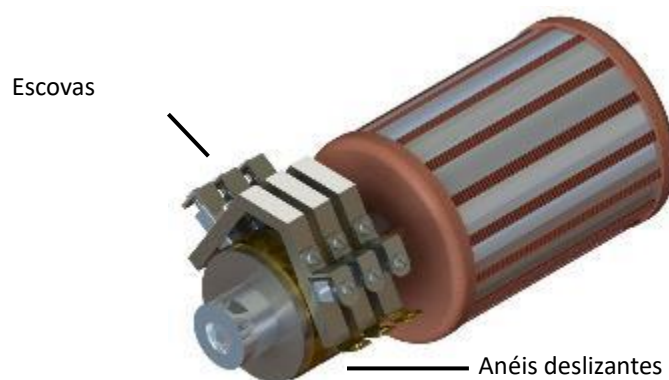
INTRODUÇÃO

A máquina de indução surgiu no final do século XIX, tendo sido desenvolvida e patenteada por Nikola Tesla (LAMME, 1921). Desde então, esse equipamento passou a ser empregado em diversas aplicações tanto como motor quanto gerador, devido à sua simples construção, eficiência e robustez (OLIVEIRA, 2018).

Existem duas diferentes topologias de máquina de indução, que se diferenciam basicamente

pela estrutura que forma o seu rotor (FITZGERALD et al., 2006). A primeira, denominada por máquina de indução de rotor gaiola, cujo rotor é formado por barras que são curto circuitadas em suas extremidades, e a segunda, objeto de estudo do presente trabalho, diz respeito à máquina de indução de rotor bobinado (MIRB) que, como a própria nomenclatura já sugere, o rotor é constituído por enrolamentos bobinados semelhantes aos encontrados no estator, além da particularidade de ser possível o acesso aos terminais de rotor por meio de anéis deslizantes e escovas, conforme está apresentada na Figura 1.

Figura 1: Rotor bobinado de uma máquina de indução trifásica



Fonte: Elaborada pelo autor.

Segundo o Global Wind Energy Council (GWEC, 2020), a topologia de aerogerador mais vendida no mundo nos anos de 2017, 2018 e 2019, faz uso da máquina de indução de rotor bobinado, denominada por gerador de indução duplamente alimentado (PINHEIRO et al., 2018), podendo ser considerada a aplicação mais importante da respectiva máquina na atualidade. No Brasil, em especial, são vários os parques eólicos que fazem uso desse gerador (THE WIND POWER, 2021).

Diante desse contexto, inúmeras pesquisas foram e continuam sendo desenvolvidas tanto na literatura nacional quanto internacional, de forma a analisar e propor soluções para problemas existentes, principalmente quando diz respeito à geração de energia por meio da máquina supracitada. Os temas de pesquisa mais relevantes no que diz respeito à MIRB estão relacionados com a análise da qualidade da energia gerada, dinâmica e controle quando a máquina é acionada como gerador. Segundo Liu (2016), em razão dos aspectos construtivos, o aerogerador que emprega a MIRB é o único que possui injeção grande de harmônicos e Inter harmônicos de baixa ordem, aspecto esse que deve ser observado para atender normas, como é estabelecido pelos Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica (PRODIST, 2021) no Brasil. No que tange à dinâmica e ao controle, são dois aspectos que estão intimamente relacionados, cujo propósito principal se baseia na operação de forma adequada do gerador seja em condições normais quanto na ocorrência de distúrbios, podendo ser citados, a exemplo, os trabalhos desenvolvidos nessa área por Aydin et al. (2016) e por Zhao et al.

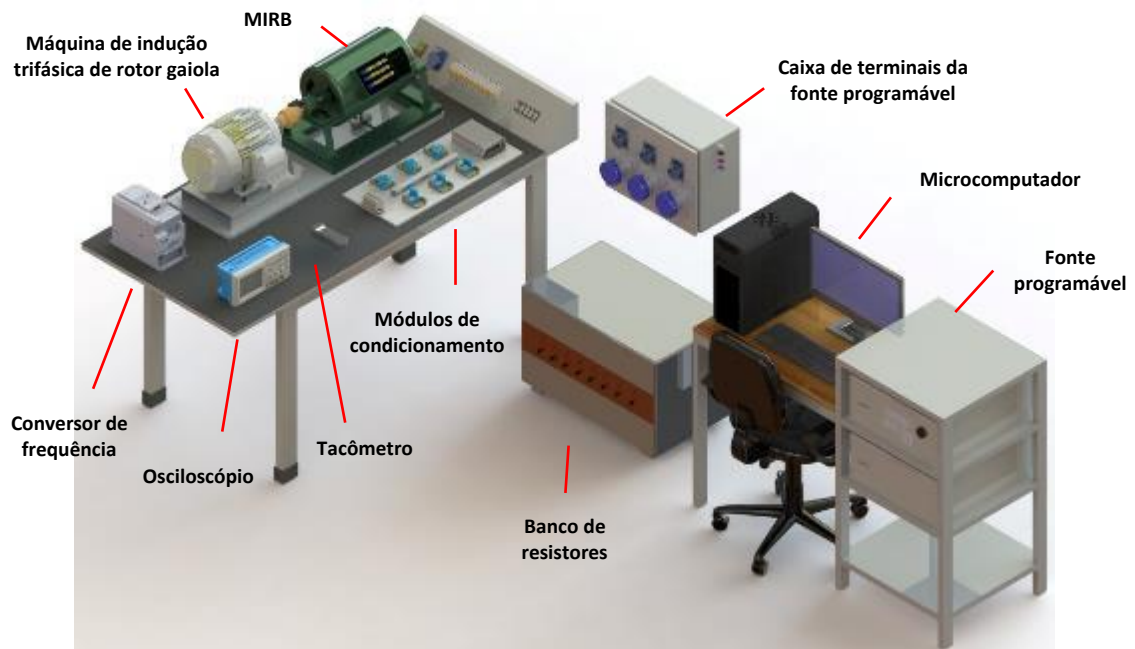
(2017).

Nesse contexto, o presente trabalho tem por objetivo discorrer a respeito do desenvolvimento e implementação de uma plataforma para a realização de estudos acerca da máquina de indução trifásica de rotor bobinado. Assim, são apresentados os diversos equipamentos que a compõem.

Bancada de ensaios

Na Figura 2 está apresentado o arranjo da bancada de ensaios implementada, estando indicado os principais equipamentos que a compõem. Esses podem ser organizados em três grupos. O primeiro está relacionado à parte motriz, sendo composta pelo objeto de estudo, a máquina de indução trifásica de rotor bobinado, e pela máquina de indução trifásica de rotor gaiola de esquilo, empregada para o acionamento do eixo da primeira. Em seguida, tem-se o segundo grupo, composto pelos instrumentos de medição e aquisição de dados, tais como os módulos de condicionamento, tacômetros, osciloscópios, microcomputador e pela fonte programável. O último grupo é formado pelos equipamentos de alimentação e controle das máquinas elétricas, sendo eles o conversor de frequência e a fonte programável, podendo a rede elétrica ser considerada também parte fundamental desse grupo.

Figura 2: Arranjo da plataforma de ensaios implementada.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Componentes da bancada

É essencial, em qualquer estudo que se faz uso, conhecer as especificações e o princípio de funcionamento dos equipamentos empregados, seja o que está sendo analisado, como também os de medição, proteção, entre outros. Dessa forma, além de garantir a sua integridade, permite a realização da pesquisa de forma adequada e segura, principalmente para as pessoas que estejam envolvidas.

Sendo assim, nessa seção é discutido, em detalhes, cada equipamento que compõem a bancada experimental implementada. Com o objetivo de compreender os limites de cada componente, são apresentadas, assim, as principais especificações de cada elemento.

Máquina de indução trifásica de rotor bobinado

Objeto principal da bancada, a máquina de indução trifásica de rotor bobinado utilizada está apresentada na Figura 3 – a). Ademais, é apresentado na Figura 3 – b) o sistema de escovas de carvão responsável por permitir o acesso aos terminais de rotor. De forma a minimizar vibrações e ruídos, que porventura podem interferir na medição e aquisição de dados, a máquina foi instalada sobre uma placa de aço de 1 cm de espessura, assim como a outra que é responsável por acionar o seu eixo e que será apresentada mais adiante.

Figura 3: a) Máquina de indução trifásica de rotor bobinado; b) escovas da máquina.



a)

b)

Fonte: Elaborada pelo autor.

No Quadro 1 estão apresentados os dados de placa da máquina de indução trifásica de rotor bobinado, sendo um dispositivo de 3 cv.

Quadro 1: Dados de placa da máquina de indução trifásica de rotor bobinado

Frequência	60 Hz
Potência	3 cv
Velocidade mecânica	1700 rpm
Fator de potência	0,82
Rendimento	82%
Classe de isolamento	A
Regime de serviço	CONT

Fonte: Elaborada pelo autor.

A respectiva máquina possui doze terminais acessíveis para os enrolamentos de estator, os quais podem ser arranjados conforme os dados indicados no Quadro 2. Os enrolamentos de rotor estão interligados internamente em estrela, estando a disposição para acesso três terminais. A tensão máxima de linha permitida para estes é de 70 Vrms.

Quadro 2: Possíveis arranjos dos enrolamentos de estator da máquina de indução trifásica de rotor bobinado

Possíveis arranjos dos enrolamentos do estator		
Tipo	Tensão (V)	Corrente (A)
Delta-Série	440	4,4
Estrela-Série	760	2,5
Delta-Paralelo	220	8,8
Estrela-Paralelo	380	5,1

Fonte: Elaborada pelo autor.

Fonte programável

A fim de alimentar a máquina de indução trifásica de rotor bobinado com tensões trifásicas senoidais e balanceadas, é empregada uma fonte programável, Figura 4, desenvolvida pela AMETEK Programmable Power®, modelo CSW5550. Esse equipamento possui dois módulos que fornecem, cada um, uma potência máxima de 1,85 kVA por fase. Além disso, outra característica que a torna fundamental para a realização de adequadas análises é o baixo valor da distorção da tensão de saída, sendo de 0,25% para tensões que possuem uma frequência elétrica que esteja no intervalo de 40 a 100Hz. No Quadro 3 estão apresentados outros dados complementares relativos a esse equipamento.

Figura 4: Fonte programável

Fonte: Elaborada pelo autor.

Quadro 3: Principais características da fonte programável

Fabricante	AMETEK Programmable Power
Marca	California Instruments
Modelo	CSW5550
Tensão de saída (CA ou CC)	0-156 V _{rms} (FN) / 0-312 V _{rms} (FN)
Corrente de saída	32,16 A (por fase)
Frequência de saída	CC, 40-5000 Hz

Fonte: Elaborada pelo autor.

No que tange ao controle e programação da fonte, esses podem ser realizados por meio do display frontal localizado no módulo mestre, conforme indicado na Figura 4, ou via *software* instalado em um microcomputador, Figura 5.

Do ponto de vista prático, é perceptível que o *software* permite maior praticidade no controle e na programação da fonte por meio da sua interface principal, Figura 5, permitindo o ajuste da amplitude, frequência, forma de onda e defasamento angular da tensão. Ademais, ainda é possível acompanhar diversas grandezas em sua interface de leitura de dados, Figura 6.

Figura 5: Interface do *software* de ajuste da fonte programável

OUTPUT MODE <input checked="" type="radio"/> AC <input type="radio"/> DC <input type="radio"/> AC+DC	FREQUENCY (HZ) - 60,00 +																
VOLTAGE RANGE <input checked="" type="radio"/> 156 <input type="radio"/> 312	SELECT PHASE(S) TO PROGRAM VOLT/CURR <input checked="" type="checkbox"/> ØA <input checked="" type="checkbox"/> ØB <input checked="" type="checkbox"/> ØC																
PHASE MODE <input type="radio"/> 1-phase <input checked="" type="radio"/> 3-phase	<table border="1"> <tr> <td>AMPLITUDE(V)</td> <td>ØA</td> <td>ØB</td> <td>ØC</td> <td>CURRENT LIMIT(A)</td> <td>ØA</td> <td>ØB</td> <td>ØC</td> </tr> <tr> <td>- 0,00 +</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>- 32,160 +</td> <td>32.16</td> <td>32.16</td> <td>32.16</td> </tr> </table>	AMPLITUDE(V)	ØA	ØB	ØC	CURRENT LIMIT(A)	ØA	ØB	ØC	- 0,00 +	0	0	0	- 32,160 +	32.16	32.16	32.16
AMPLITUDE(V)	ØA	ØB	ØC	CURRENT LIMIT(A)	ØA	ØB	ØC										
- 0,00 +	0	0	0	- 32,160 +	32.16	32.16	32.16										
OVERLOAD MODE <input checked="" type="radio"/> Constant Voltage <input type="radio"/> Constant Current Delay - 0,20 +	PHASE ANGLE <table border="1"> <tr> <td>ØA</td> <td>ØB</td> <td>ØC</td> <td>ØA</td> <td>ØB</td> <td>ØC</td> </tr> <tr> <td>- 0,00 +</td> <td>- 240,00 +</td> <td>- 120,00 +</td> <td>0</td> <td>240</td> <td>120</td> </tr> </table>	ØA	ØB	ØC	ØA	ØB	ØC	- 0,00 +	- 240,00 +	- 120,00 +	0	240	120				
ØA	ØB	ØC	ØA	ØB	ØC												
- 0,00 +	- 240,00 +	- 120,00 +	0	240	120												
ALC/TRIP <input checked="" type="checkbox"/> ALC <input checked="" type="checkbox"/> Trip	WAVEFORMS <table border="1"> <tr> <td>ØA</td> <td>ØB</td> <td>ØC</td> </tr> <tr> <td>SINE ▼</td> <td>SINE ▼</td> <td>SINE ▼</td> </tr> </table>	ØA	ØB	ØC	SINE ▼	SINE ▼	SINE ▼										
ØA	ØB	ØC															
SINE ▼	SINE ▼	SINE ▼															
	CLIP LEVEL <table border="1"> <tr> <td>ØA</td> <td>ØB</td> <td>ØC</td> </tr> <tr> <td>▼</td> <td>▼</td> <td>▼</td> </tr> </table>	ØA	ØB	ØC	▼	▼	▼										
ØA	ØB	ØC															
▼	▼	▼															

Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 6: Interface do *software* de medição da fonte programável

<input checked="" type="checkbox"/> VOLTAGE (VRMS) <table border="1"> <tr> <td>ØA</td> <td>ØB</td> <td>ØC</td> </tr> <tr> <td>126.99</td> <td>127</td> <td>127</td> </tr> </table>	ØA	ØB	ØC	126.99	127	127	<input checked="" type="checkbox"/> CURRENT (ARMS) <table border="1"> <tr> <td>ØA</td> <td>ØB</td> <td>ØC</td> </tr> <tr> <td>9.06</td> <td>8.96</td> <td>8.78</td> </tr> </table>	ØA	ØB	ØC	9.06	8.96	8.78
ØA	ØB	ØC											
126.99	127	127											
ØA	ØB	ØC											
9.06	8.96	8.78											
<input checked="" type="checkbox"/> PHASE (º) <table border="1"> <tr> <td>ØA</td> <td>ØB</td> <td>ØC</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>240.3</td> <td>120.5</td> </tr> </table>	ØA	ØB	ØC	0	240.3	120.5	<input checked="" type="checkbox"/> POWER (KW) <table border="1"> <tr> <td>ØA</td> <td>ØB</td> <td>ØC</td> </tr> <tr> <td>0.93</td> <td>0.9</td> <td>0.9</td> </tr> </table>	ØA	ØB	ØC	0.93	0.9	0.9
ØA	ØB	ØC											
0	240.3	120.5											
ØA	ØB	ØC											
0.93	0.9	0.9											
<input checked="" type="checkbox"/> APPT.POWER (KVA) <table border="1"> <tr> <td>ØA</td> <td>ØB</td> <td>ØC</td> </tr> <tr> <td>1.151</td> <td>1.138</td> <td>1.115</td> </tr> </table>	ØA	ØB	ØC	1.151	1.138	1.115	<input checked="" type="checkbox"/> POWER FACTOR <table border="1"> <tr> <td>ØA</td> <td>ØB</td> <td>ØC</td> </tr> <tr> <td>0.8</td> <td>0.79</td> <td>0.81</td> </tr> </table>	ØA	ØB	ØC	0.8	0.79	0.81
ØA	ØB	ØC											
1.151	1.138	1.115											
ØA	ØB	ØC											
0.8	0.79	0.81											
<input checked="" type="checkbox"/> PEAK CURRENT (A) <table border="1"> <tr> <td>ØA</td> <td>ØB</td> <td>ØC</td> </tr> <tr> <td>15.5</td> <td>15.37</td> <td>14.78</td> </tr> </table>	ØA	ØB	ØC	15.5	15.37	14.78	<input checked="" type="checkbox"/> CREST FACTOR <table border="1"> <tr> <td>ØA</td> <td>ØB</td> <td>ØC</td> </tr> <tr> <td>1.71</td> <td>1.72</td> <td>1.68</td> </tr> </table>	ØA	ØB	ØC	1.71	1.72	1.68
ØA	ØB	ØC											
15.5	15.37	14.78											
ØA	ØB	ØC											
1.71	1.72	1.68											
<input checked="" type="checkbox"/> FREQUENCY 60.01	LINE TO LINE VOLTAGES <table border="1"> <tr> <td>VAC(L-L)</td> <td>VAB(L-L)</td> <td>VBC(L-L)</td> </tr> <tr> <td>219,96</td> <td>219,96</td> <td>219,97</td> </tr> </table>	VAC(L-L)	VAB(L-L)	VBC(L-L)	219,96	219,96	219,97						
VAC(L-L)	VAB(L-L)	VBC(L-L)											
219,96	219,96	219,97											

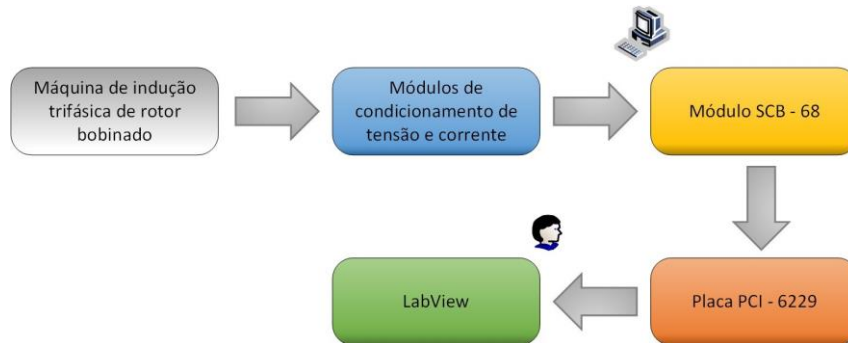
Fonte: Elaborada pelo autor.

Sistema de aquisição e condicionamento de dados

Durante o acionamento da máquina de indução trifásica de rotor bobinado pode ser necessário realizar a aquisição dos sinais instantâneos de tensão e corrente. Dessa forma, um sistema de condicionamento e aquisição de dados é essencial para mensurar, de maneira adequada, essas grandezas elétricas. Na Figura 7 está representado o diagrama referente à composição do sistema

empregado no presente trabalho.

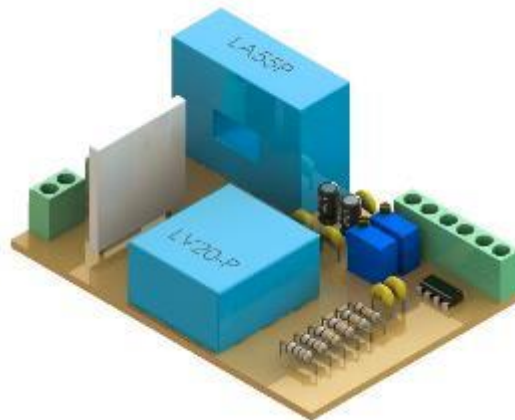
Figura 7: Composição do sistema de aquisição e condicionamento de dados implementado



Fonte: Elaborada pelo autor.

O condicionamento dos sinais de tensão e corrente é realizado por meio de módulos de condicionamento individuais para cada fase de estator e de rotor da MIRB. Na Figura 8 está apresentado um dos módulos empregados, tendo sido desenvolvido em (NEVES et al., 2019) bem como todo o sistema de tratamento dos dados adquiridos.

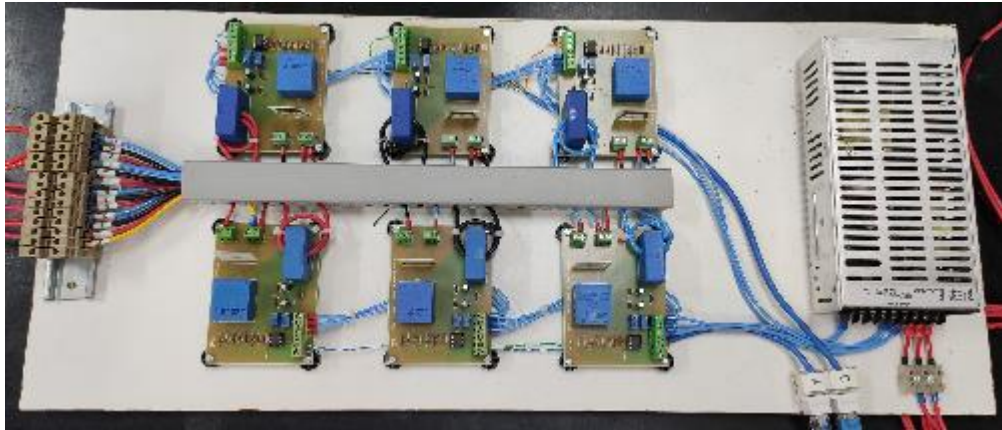
Figura 8: Módulo individual de condicionamento dos sinais de tensão e corrente



Fonte: Elaborada pelo autor.

Para a aquisição do sinal de tensão é empregado o sensor LV20P da fabricante LEM®, sendo possível mensurar valores de tensão que variem no intervalo de 10 a 500Vrms. No que tange à corrente, é utilizado o sensor LA55P da também fabricante LEM®, o qual permite mensurar correntes de até 50Arms. São necessários seis módulos, Figura 9, sendo três para as fases de estator e três para as de rotor.

Figura 9: Conjunto dos módulos de condicionamento dos sinais de tensão e corrente



Fonte: Elaborada pelo autor.

Por meio de um circuito eletrônico, cujo projeto está apresentado na Figura 11, tanto o sinal de tensão quanto de corrente provenientes dos sensores são enquadrados na faixa de tensão que varia de -10 a +10V, de forma a coincidir com a faixa de entrada da placa de aquisição PCI 6229, Figura 10-a), da National Instruments®. Essa é instalada em um microcomputador, sendo responsável pela aquisição dos dados condicionados pelos módulos. Um módulo SCB-68, Figura 10-b), é empregado para realizar a interface entre os módulos e a placa de aquisição.

Figura 10: Placa PCI 6229; b) Módulo SCB-68

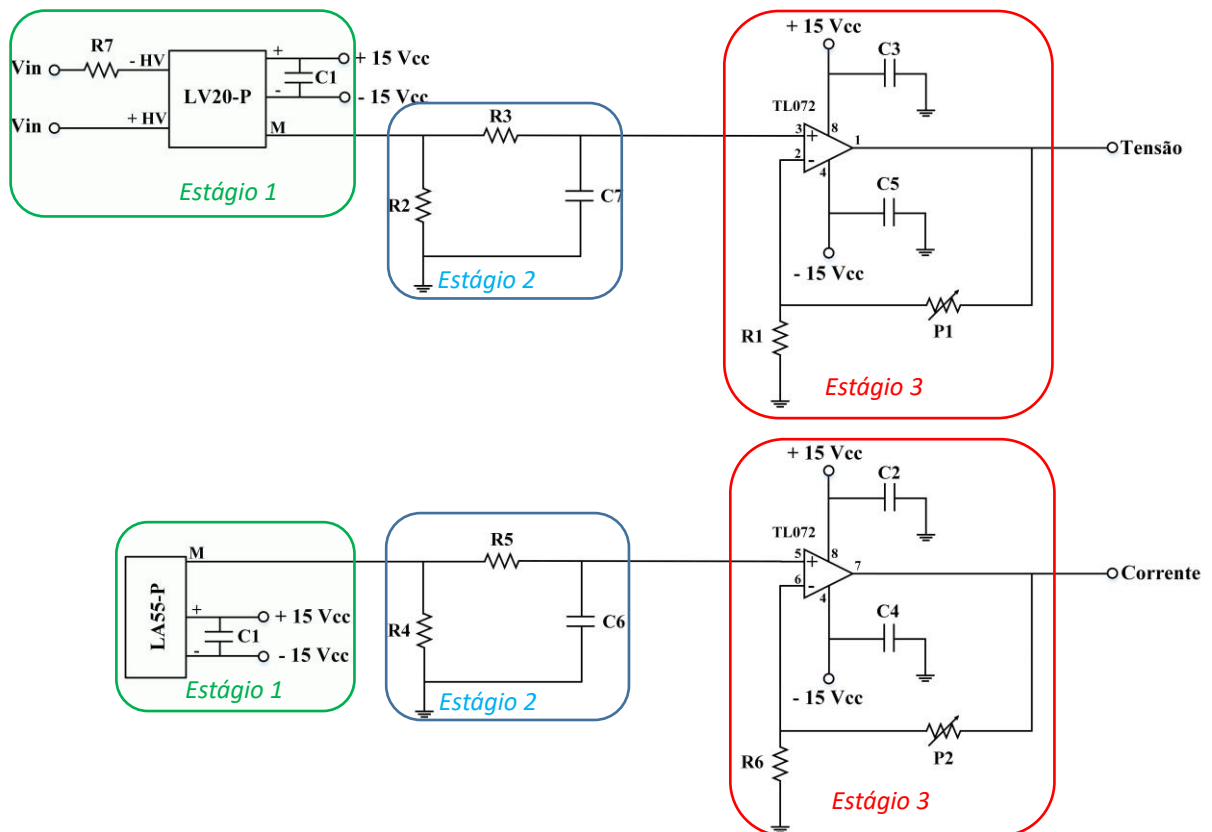


a)



b)

Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 11: Esquema do circuito eletrônico do módulo de condicionamento.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Na Figura 11 tem-se que:

- Resistores - R1, R3, R5, R6 – 10k Ω .
R2, R4 – 100 Ω .
- Potenciômetros - P1, P2 – 50k Ω .
- Capacitores de cerâmica - C1, C3, C5, C6, C7 – 100nF.
- Capacitores eletrolíticos - C2, C4 – 4,7 μ F.
- Resistor de precisão - R7 - 50k Ω .

O diagrama ilustrado na Figura 11 é formado por dois circuitos individuais, um para a tensão e outro para a corrente. Esses, por sua vez, são formados, cada um, por três circuitos interligados, os quais foram aqui designados por estágios e estão indicados na respectiva figura. Esses estágios desempenham funções diferentes, de forma que:

Estágio 1 – Entrada dos transdutores de corrente e tensão: este primeiro estágio é composto pelos transdutores de tensão e corrente. Além disso, a entrada desses dispositivos é dimensionada em conformidade com os níveis das grandezas que serão adquiridas, sendo empregados, para isso, capacitores e resistores.

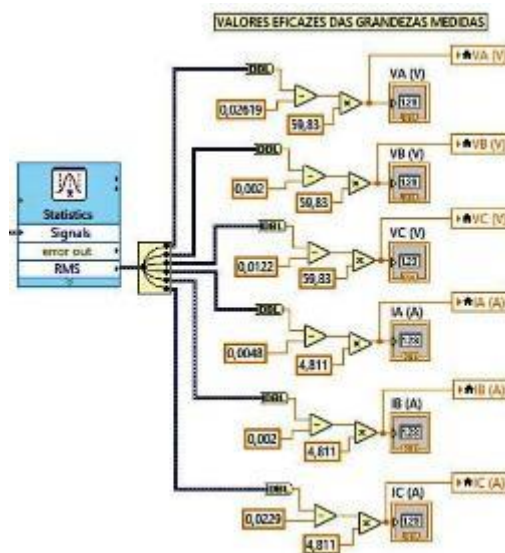
Estágio 2 – Estágio do filtro passa-baixa: nesta etapa, o sinal amostrado no primeiro estágio, seja de

tensão quanto de corrente, é direcionado a um filtro passa-baixa, de forma a limitar a frequência de aquisição do sinal mensurado, assim, sinais fora da frequência desejada, geralmente ruídos, são atenuados. O filtro foi projeto de modo que sua frequência de corte seja 1,6 kHz.

Estágio 3 – Estágio de condicionamento final: este último estágio, que está presente no circuito tanto da tensão como da corrente, tem por objetivo condicionar os sinais de -10V a 10V, faixa de operação da placa de aquisição. Para isso, é empregado o amplificador operacional TL072, que possui alimentação de $\pm 15V$, semelhante à dos sensores de tensão e corrente.

A fim de realizar o tratamento e a manipulação dos sinais mensurados, é empregado o *software* LabView®, sendo esse um sistema desenvolvido pela National Instruments® baseado em linguagem de programação gráfica. Por meio da interface de diagrama de blocos, conforme exemplo apresentado na Figura 12, é realizada a implementação do código gráfico do programa.

Figura 12: Amostra de código elaborado no LabView para o cálculo dos valores eficazes de tensão e corrente



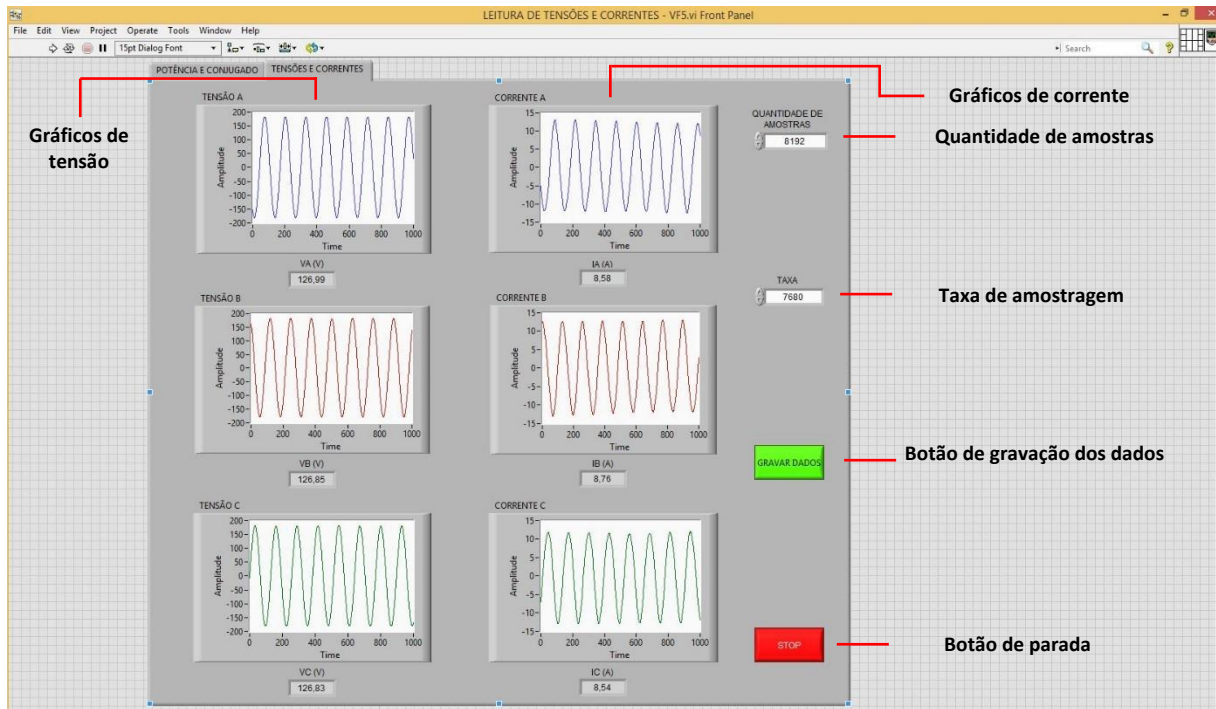
Fonte: Elaborada pelo autor.

Posteriormente, torna-se possível a apresentação na segunda interface, denominada de painel frontal, dos resultados oriundos do diagrama de blocos. Essa segunda interface é composta por ferramentas como gráficos, mostradores digitais, entre outros indicadores animados, que auxiliam na interpretação dos dados tanto por parte do programador do código, quanto daquele que for responsável por sua utilização.

Na Figura 13 está apresentado o painel frontal empregado no presente trabalho para a apresentação dos dados instantâneos de tensão e corrente, além de estarem indicadas as principais funções utilizadas, tais como gráficos, mostradores digitais e botões. Uma funcionalidade que está apresentada na Figura 13 e que merece atenção especial é a possibilidade em indicar a taxa de amostragem, bem como a quantidade de amostras que o usuário necessita. Esse recurso é de grande importância para a posterior manipulação dos dados adquiridos em outros *softwares*, uma vez que

tais informações podem ser armazenadas em arquivo texto.

Figura 13: Tela de supervisão desenvolvida no LabView®



Fonte: Elaborada pelo autor.

Sistema emulador de turbina

A fim de analisar o funcionamento da máquina de indução de rotor bobinado como gerador, é empregado para o acionamento do seu eixo uma máquina de indução trifásica de rotor gaiola de 5 cv. As principais informações relativas a essa máquina estão apresentadas no Quadro 4.

Quadro 4: Dados de placa da máquina de indução trifásica de rotor gaiola.

Máquina de indução trifásica – Rotor gaiola	
Potência	5 cv
Frequência	60 Hz
Velocidade mecânica	1730 rpm
Fator de potência	0,85
Classe de isolamento	B

Fonte: Elaborada pelo autor.

Com o intuito de controlar a máquina de indução trifásica de rotor gaiola, é empregado um conversor de frequência modelo CFW09, Figura 14, da WEG®. Esse dispositivo permite, por meio de controle escalar, obter velocidades acima da velocidade síncrona, o que é imprescindível para a MIRB operar como gerador.

Figura 14: Conversor de frequência CFW09

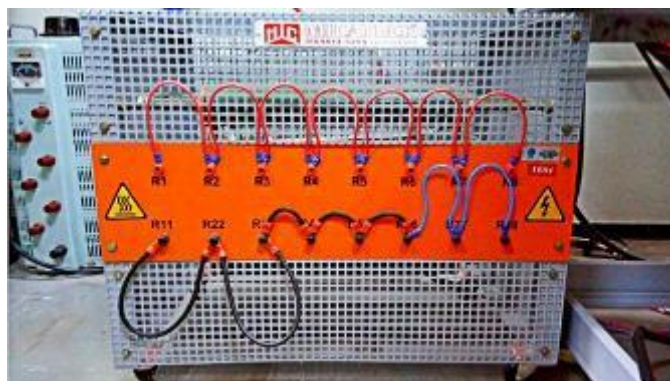


Fonte: Elaborada pelo autor.

Banco de resistores

Quando a MIRB é acionada como gerador, a potência ativa gerada no processo é dissipada em um banco de resistores, Figura 15, constituído por oito resistências, as quais, juntas, podem dissipar uma potência ativa total máxima de 6,4kW.

Figura 15: Banco de resistores



Fonte: Elaborada pelo autor.

Conclusão e considerações

É inegável que a máquina de indução trifásica de rotor bobinado vem sendo objeto de muito estudo, principalmente quando se diz respeito ao seu uso na geração de energia elétrica a partir da energia eólica. Por meio de uma revisão bibliográfica na literatura nacional e internacional, foi constatado que inúmeros temas de pesquisa ainda estão em aberto, tendo sido um dos motivos para a realização deste trabalho.

Dessa forma, a plataforma aqui apresentada foi desenvolvida e implementada de forma a poder auxiliar em diferentes linhas de pesquisa relacionadas à MIRB. Além disso, por estar inserida em um ambiente de ensino, a bancada também pode ser empregada de forma didática, devido à sua robustez.

REFERÊNCIAS

- AYDIN, E.; POLAT, A.; ERGENE, L. T. Vector control of DFIG in wind power applications. 2016 IEEE International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA), p. 478-483., 2016.
- FITZGERALD, A. E.; KINGSLEY, J. R. e UMANS, C. Máquinas Elétricas: Com introdução a eletrônica de potência. 6ª ed. Bookman. Porto Alegre, 2006.
- GLOBAL WIND ENERGY COUNCIL. Disponível em: <https://gwec.net/>. Acessado em 09/11/2020.
- LAMME, B. G. The story of the induction motor. Journal of the American Institute of Electrical Engineers, vol. 40, p. 203-223, 1921.
- LIU, S. Y. Estudo dos harmônicos e inter-harmônicos relacionados ao gerador de indução duplamente excitado. Tese de doutorado. Universidade Federal de Minas Gerais, 2016.
- NEVES, B. L.; OLIVEIRA, C. A; PINHEIRO, V. M. e GOMES, L. C. Sistema de aquisição de dados e de instrumentação virtual para ensaios de máquinas elétricas rotativas. XVII Conferência de Estudos em Engenharia Elétrica, 2019.
- OLIVEIRA, C. A. Plataforma para ensaios de motores de indução trifásicos e simulação de cargas mecânicas: acionamento, operação e monitoramento com auxílio de fonte programável. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Uberlândia, 2018.
- PINHEIRO, V. M. e GOMES, L. C. Análise do gerador de indução duplamente alimentado aplicado à geração eólica. Revista Eletrônica Científica Inovação e Tecnologia, 2018.
- PROCEDIMENTOS DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NO SISTEMA ELÉTRICO NACIONAL – PRODIST. Disponível em: < <https://www.aneel.gov.br/prodist>>. Acessado em 22/05/2021.
- THE WIND POWER. Disponível em: < <https://www.thewindpower.net/index.php>>. Acessado em 22/05/2021.
- ZHAO, J., ZUO, L., HUANG, S., & ZHAO, L. Study on DFIG voltage control strategy considering small-disturbance voltage stability of microgrid. 2017 IEEE Conference on Energy Internet and Energy System Integration, p. 1-