

# **Programa SEL-423 – Laboratório de Máquinas Elétricas (2016)**

Elmer Pablo Tito Cari, José Carlos de Melo Vieira Jr. e Luís F. C. Alberto

## *Introdução*

O conteúdo programático do laboratório de máquinas elétricas será um projeto no qual os estudantes realizarão ensaios para validar modelos em um sistema elétrico de potência protótipo montado no laboratório. Com isto, os alunos terão condições de colocar em prática conhecimentos adquiridos nas disciplinas de Conversão Eletromecânica de Energia, Análise Estática de Sistemas de Energia, Geração de Energia e Linhas de Transmissão de Energia Elétrica.

Este conteúdo inclui a verificação experimental da operação e desempenho de máquinas síncronas e assíncronas e a realização de experimentos para levantamento de parâmetros de modelo destas máquinas. Além disso, os alunos utilizarão estes parâmetros para alimentar modelos computacionais e, com isso, simular os experimentos conduzidos no laboratório.

## *Projeto da Disciplina*

O projeto será formulado com base em um problema a ser resolvido. Para isso utilizaremos um pequeno sistema elétrico de potência, montado em laboratório, constituído de 2 geradores síncronos, 3 linhas de transmissão e uma barra de carga composta por carga resistiva, motor de indução e capacitores de compensação de reativos. O diagrama unifilar do sistema elétrico de potência a ser estudado é apresentado na figura 1.

## Pequeno Sistema Elétrico de Potência

Diagrama unifilar simplificado

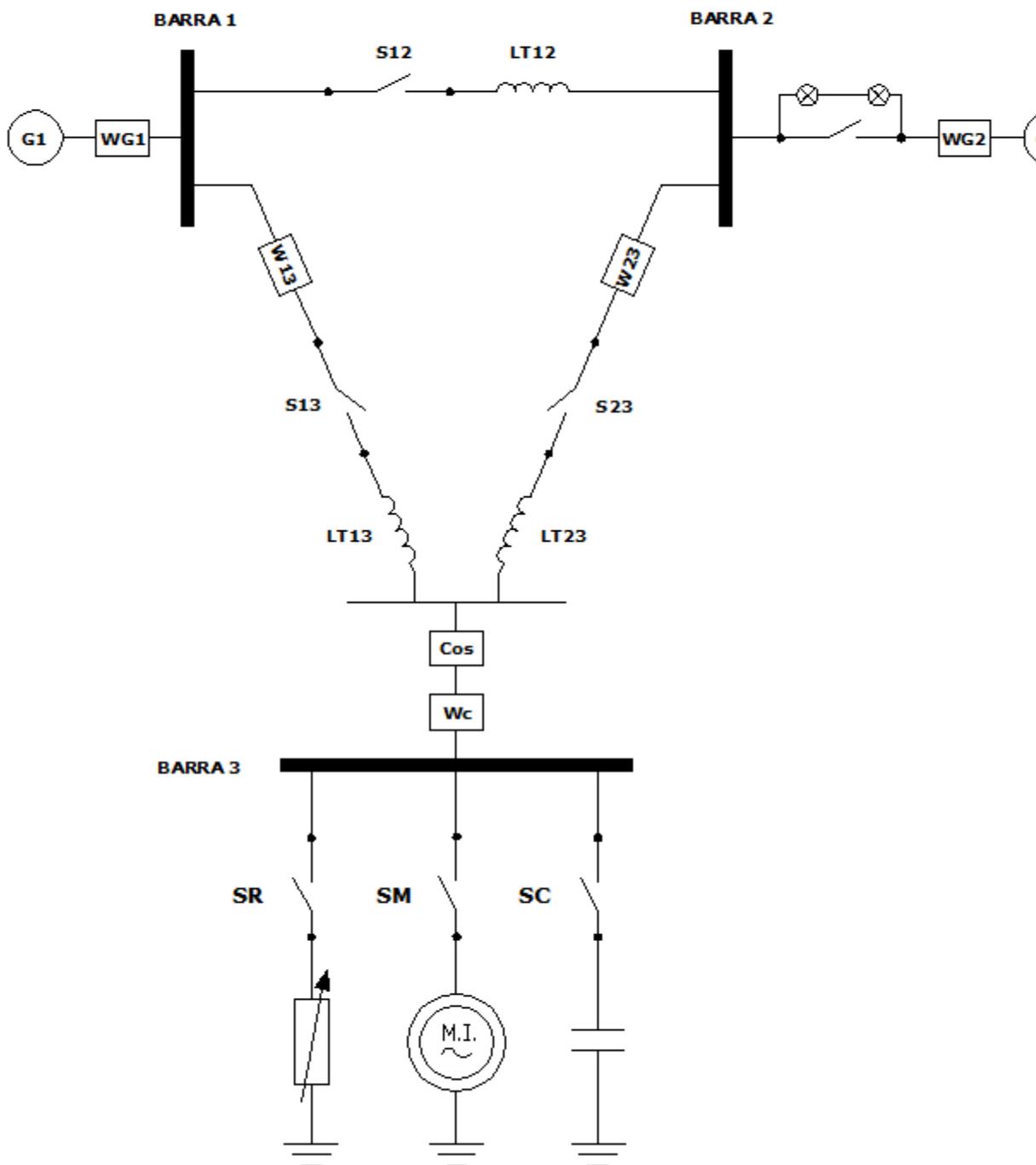


Figura 1: Diagrama monofásico do sistema de potência montado no laboratório.

O sistema da figura 1 será colocado em operação e analisaremos o comportamento do mesmo em diversas situações de operação e chaveamento. Verificaremos o comportamento da tensão nas barras, fluxos de potência e fator de potência em situações de regime permanente e transitório.

Diversos problemas operacionais serão observados experimentalmente e discutiremos soluções que poderiam minimizar os problemas observados.

### ***Objetivos Específicos do Projeto do Laboratório de Máquinas Elétricas***

#### 1) Regime Permanente

1.1) Obter um modelo para simulação em regime permanente (fluxo de carga) do sistema elétrico montado em laboratório.

1.2) Validar o modelo com as medidas obtidas em laboratório.

1.3) Calcular, via fluxo de carga, qual é o máximo valor de carga que o sistema suporta com fator de potência da carga unitário e fator de potência 0,9 indutivo.

#### 2) Regime Transitório

2.1) Obter um modelo para simulação em regime transitório do sistema elétrico montado em laboratório.

2.2) Repetir os procedimentos de chaveamento de carga realizados em laboratório para validar o modelo.

### ***Cronograma de Avaliação***

A avaliação será realizada de forma continuada dos grupos formados:

<b>Semana</b>	<b>Data</b>	<b>Descrição</b>
1	5/08	Apresentação da disciplina e realização de ensaios no sistema elétrico.
2-3	12/08 19/08	Entrega dos grupos formados: 4 por bancada. Toma de dados no sistema de potência. Plantão de dúvidas
4	26/08	<b>Avaliação 1 (10%):</b> Entrega do <b>Relatório I</b> contendo: - Ensaios a serem realizados. - Justificativas dos ensaios propostos. Início da realização dos experimentos.
5-6	02/09 16/09	Realização dos experimentos em regime permanente.
7	23/09	Integra Elétrica
8	30/09	<b>Avaliação 2 (25%).</b> -Entrega de Relatório II das simulações de regime permanente. Devem constar os resultados dos experimentos para levantamento dos parâmetros do sistema elétrico e as simulações das condições ensaiadas nas aulas 1-2.  -Início dos ensaios em regime transitório.

9-11	07/10 14/10 21/10 11/11	Realização dos experimentos em regime transitório.
12	18/11	<b>Refinamento de Resultados.</b> Escolha do apresentador dos resultados finais. Pré-entrega dos trabalhos finalizados.
13	25/11	<b>Entrega de Relatório</b> Entrega do relatório das simulações de regime transitório: devem constar os resultados dos experimentos para levantamento dos parâmetros de regime transitório da máquina e as simulações das condições ensaiadas nas aulas 1-2. Realização dos experimentos. <b>Apresentação Oral dos Resultados</b>  <b>Avaliação 3</b> = Entrega de Relatório 80% + 20% Apresentação Oral dos Resultados (máximo 5min).
14	02/12	Última chance para os grupos que não conseguiram resultados satisfatórios.

Além das avaliações dos projetos em si, serão avaliados organização e atitude prevencionista contra acidentes e contra danos aos equipamentos e a participação de todos os integrantes do grupo (10%).

**Média Final** =

$$0,10 \times \text{Avaliação1} + 0,30 \times \text{Avaliação2} + 0,45 \times \text{Avaliação3} + 0,15 \times \text{ParticipaçãoIndividual}$$

Em caso de falta não justificados durante os ensaios, implicam em uma redução de 25% for falta na participação individual automaticamente.

**Horário de Permanência: DIA:terça-feira 17:00-17:50h**

**Hora: Sexta-feira 17:00-17:50h**\_\_\_\_\_

### **Informações Adicionais**

Será disponibilizado roteiros e material adicional no Moodle Stoa  
Nome: Laboratório de Máquinas Elétricas (2016) Turma 2

### **Contato**

Prof. Elmer Pablo Tito Cari

Telefone: 3373-9337

E-mail: [elmerpab@sc.usp.br](mailto:elmerpab@sc.usp.br)

Sala N° 3084 (3ro Andar, prédio antigo)

## Bibliografia Sugerida

1. P. C. Sen, *Principles of Electric Machine and Power Electronics*
2. McPersonn & Laramore, *Electrical Machines and Transformers*
3. E. Fitzgerald, Charles Kingsley Jr., Stephen D. Umans, *Electric Machinery*
4. Máquinas Síncronas, Rubens Guedes Jordão, Editora da Universidade de São Paulo, 1980.
5. Kimbark, Edward Wilson, *Power system stability*. Vol. 3. Synchronous Machines
6. IEEE Guide: Test Procedure for Synchronous Machines; IEEE Std 115-2009. Disponível em <http://www.ieeexplore.ieee.org>
7. IEEE Standard Test Procedure for Polyphase Induction Motors and Generators. IEEE Std 112-2004. Disponível em <http://www.ieeexplore.ieee.org>
8. Lucas Beordo, “Determinação experimental dos parâmetros de um gerador síncrono via testes convencionais” Trabalho de Conclusão de Curso, USP. 2014-11-20; <http://www.tcc.sc.usp.br/tce/disponiveis/18/180500/tce-23012015-150548/?&lang=br>
9. Beordo L.; Cari, E P. T.; Taylon, G. Landgraf; Alberto, L. F. C.; “Validation of Synchronous Generators by Offline and Online Methods”, *International Transactions on Electrical Energy Systems*, Wiley only library, July 2016, DOI 10.1002/etep.2255
10. Fernando C. Fajoni “Estudo sobre determinação de parâmetros elétricos de geradores síncronos de polos salientes”, 2011, Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação, Dissertação (mestrado).

## Recomendações e Regras para o Uso do Laboratório de Máquinas Elétricas

O choque elétrico, seja por contato direto ou indireto, é um dos acidentes mais perigosos. Uma corrente elétrica de 25 mA pode causar choque elétrico (parado do coração) a uma pessoa, enquanto que uma corrente da ordem de 100 mA pode ser fatal. Além do risco de choque elétrico, máquinas em movimento podem causar acidentes traumáticos. A seguir apresentam-se algumas regras e sugestões que devem ser adotadas para evitar acidentes durante a realização dos experimentos.

### Regras

1. Será **obrigatório** o uso de um calçado (tênis ou sapato) com sola de borracha e calça. Chinelos e sandálias não serão permitidos. Bermudas ou shorts também não serão permitidos. O aluno que descumprir esta norma não poderá assistir à aula, perdendo pontos no item II de cada trabalho. Será recomendado o uso do protetor auricular quando possível e obrigatório o uso de óculos de segurança;
2. **Nunca energizar** o circuito sem a autorização do professor;
3. **É proibido** o consumo de alimentos e bebidas dentro do laboratório.

### Sugestões

1. Sempre que possível, utilizar apenas a mão direita para manusear equipamentos energizados;
2. Evitar o uso de correntinhas, pulseiras, gravatas ou quaisquer outros acessórios que possam enroscar nas máquinas em movimento. Para aqueles que tiverem cabelo comprido, recomenda-se que venham com cabelo preso;
3. Sempre ter em mente a localização do disjuntor a ser desligado em caso de emergência;
4. Manter o acesso aos disjuntores desobstruído. Não deixar bolsas e mochilas em cima das bancadas.
5. **Certifique-se do valor da tensão em que conectará os equipamentos (110 V ou 220 V);**
6. Cuidado especial com o aterramento dos osciloscópios: o pino terra não deve, em geral, ser conectado para evitar curtos-circuitos;
7. Verifique os circuitos em detalhes antes de colocá-los em funcionamento. Montagens organizadas simplificam esta verificação.
8. **Observe os limites de corrente e tensão de todos os equipamentos.**

O comportamento prevencionista no que se diz respeito à segurança pessoal e dos equipamentos será avaliada durante a realização dos projetos. Violações das normas de segurança resultarão em perdas de pontos para o infrator e, dependendo da infração, em perdas de pontos para o grupo. Violações reincidentes implicarão em penalizações maiores.