

# **Programa SEL-423 – Laboratório de Máquinas Elétricas (2017)**

José Carlos de Melo Vieira Jr.

O conteúdo programático da disciplina de Máquinas Elétricas será o foco dos experimentos realizados neste laboratório. Além disso, 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.

## *Descrição Geral das Atividades*

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 para compensação de potência reativa. O diagrama unifilar do sistema elétrico de potência a ser estudado é apresentado na Figura 1.

## Pequeno Sistema Elétrico de Potência

Diagrama unifilar simplificado

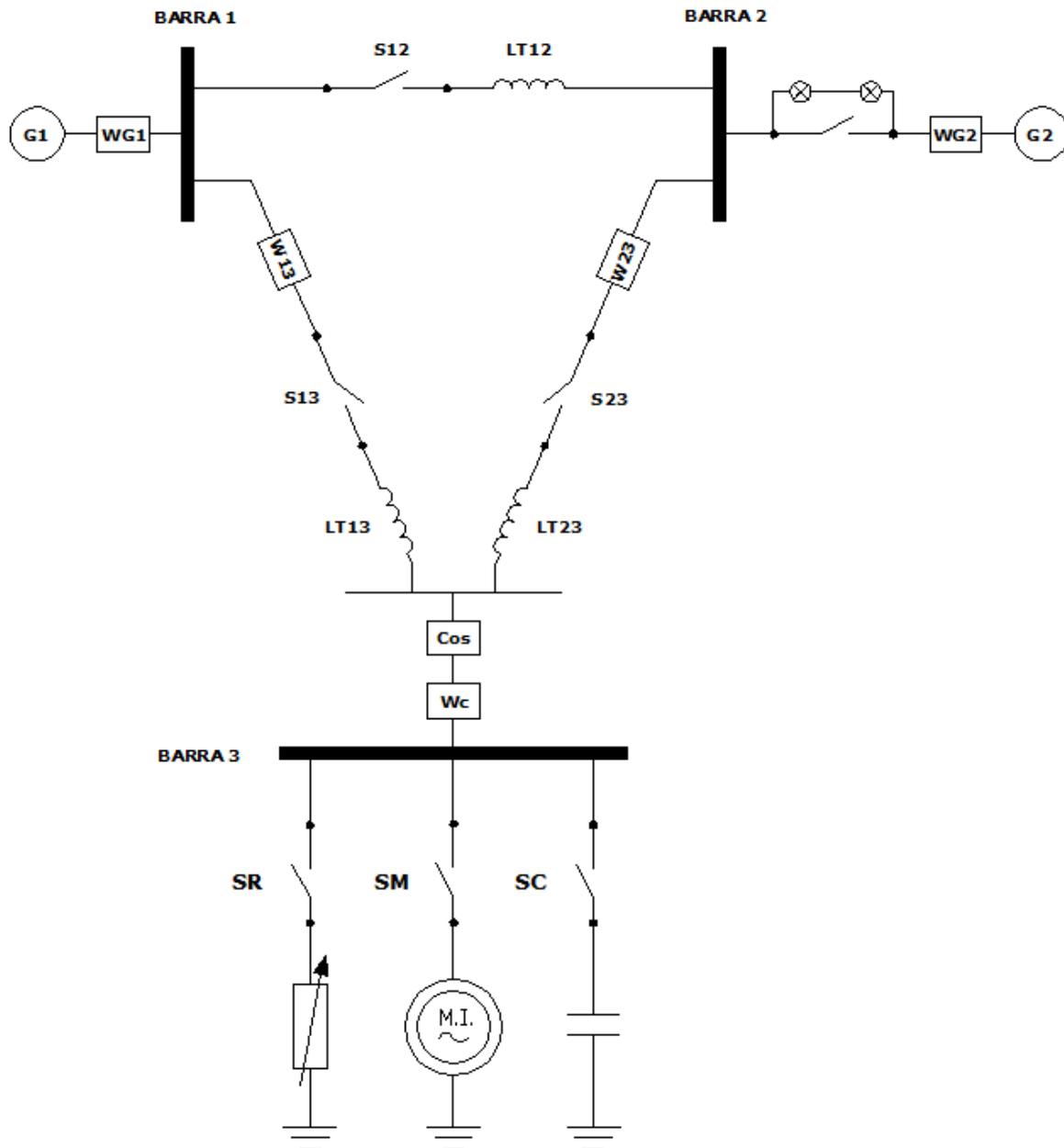


Figura 1: Diagrama monofásico do sistema de potência montado no laboratório.

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.

Os projetos serão realizados em grupos.

Os alunos deverão simular em *software* específico o comportamento em regime permanente e transitório do sistema elétrico de potência em situações semelhantes àquelas observadas em laboratório.

### **Análise do Sistema Elétrico de Potência**

#### 1) Regime Permanente

1.1) Obter um modelo para simulação em regime permanente (fluxo de carga) do sistema elétrico montado em laboratório. Escolher o *software* mais apropriado.

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

#### 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.

#### *Avaliação*

A avaliação será realizada de forma continuada e individualizada por meio de relatórios. A avaliação dos grupos será realizada por meio dos relatórios e a individualizada por meio do desempenho de cada aluno na realização dos experimentos. Assim, o cronograma de realização dos experimentos e as datas para entrega dos relatórios são apresentados a seguir.

Semana	Data	Descrição
1	01/08	<p>Apresentação da disciplina.</p> <p><b>Explicação da 1ª atividade:</b> escolha do software e elaboração de roteiros para o levantamento dos parâmetros de regime permanente dos elementos do sistema elétrico. Os roteiros devem incluir o seguinte: (i) procedimentos detalhados dos experimentos a serem realizados em laboratório com os devidos esquemas elétricos, (ii) cronograma de execução e (iii) responsáveis por cada atividade. Procedimentos a serem considerados:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) Levantamento dos parâmetros das linhas de transmissão (transformadores com um dos lados em curto-circuito).</li> <li>(2) Parâmetros do circuito equivalente da máquina de indução (em regime).</li> <li>(3) Parâmetros do circuito equivalente da máquina síncrona (em regime), incluindo a reatância de Poitier.</li> <li>(4) Curva de capacidade da máquina síncrona.</li> <li>(5) Curvas V da máquina síncrona.</li> <li>(6) Curva torque x velocidade do motor de indução, considerando resistência nula no rotor.</li> </ol> <p><b>Para fins de avaliação, não serão consideradas figuras copiadas de outras fontes. As figuras a serem utilizadas no roteiro devem ser elaboradas pelo grupo.</b></p>
2	08/08	Realização dos ensaios no sistema elétrico: 1ª parte
3	15/08	<b>Não haverá aulas - feriado.</b>
4	22/08	<b>Não haverá aulas – professor participará de conferência.</b>
6	29/08	<p>Realização de ensaios no sistema elétrico: 2ª parte</p> <p><b>Entrega da 1ª atividade (1ª Avaliação): roteiro e escolha do software.</b></p>
7	05/09	<b>Recesso escolar</b>
8	12/09	Realização dos experimentos/simulações de regime permanente
9	19/09	Realização dos experimentos/simulações de regime permanente
10	26/09	<b>Não haverá aulas. Motivo: 3º SIEEL.</b>
11	03/10	Realização dos experimentos/simulações de regime permanente.
12	10/10	Realização dos experimentos/simulações de regime permanente.
13	17/10	<p>Realização dos experimentos/simulações de regime permanente.</p> <p><b>Explicação da 2ª Atividade:</b> elaboração de roteiros para a determinação dos parâmetros de regime transitório dos geradores síncronos. Deve conter: (i) procedimentos detalhados dos experimentos a serem realizados</p>

		em laboratório com os devidos esquemas elétricos, (ii) cronograma de execução e (iii) responsáveis por cada atividade. <b>Para fins de avaliação, não serão consideradas figuras copiadas de outras fontes. As figuras a serem utilizadas no roteiro devem ser elaboradas pelo grupo.</b>
14	24/10	<b>Entrega do relatório das simulações de regime permanente referentes à Atividade 1 (2ª Avaliação):</b> devem constar no relatório: (1) Uma seção com os resultados dos experimentos para levantamento dos parâmetros do sistema elétrico (2) As simulações computacionais das condições ensaiadas no sistema elétrico de potência.  Explicação sobre os parâmetros transitórios da máquina síncrona.
15	31/10	<b><u>Entrega do roteiro para o levantamento dos parâmetros transitórios das máquinas: (3ª Avaliação).</u></b>
16	07/11	Realização dos experimentos/simulações – regime transitório
17	14/11	Realização dos experimentos/simulações – regime transitório
18	21/11	Realização dos experimentos/simulações – regime transitório
19	28/11	<b>Entrega do relatório das simulações de regime transitório:</b> devem constar os resultados dos experimentos para levantamento dos parâmetros transitório da máquina síncrona e as simulações das condições ensaiadas no sistema elétrico de potência ( <b>4ª Avaliação</b> ).
20	05/11	<b>Prática demonstrativa sobre motores monofásicos</b>

Além das avaliações dos projetos em si, serão avaliados organização e atitude prevencionista contra acidentes e contra danos aos equipamentos.

**Importante:** cada grupo deve eleger um coordenador/líder. Na entrega dos roteiros e dos relatórios, cada membro do grupo deve realizar uma auto-avaliação atribuindo a si mesmo uma nota de 0 a 10 e também atribuir uma nota de 0 a 10 aos demais integrantes do grupo. Essas notas podem ser enviadas ao Professor via email nas datas de entrega das respectivas atividades.

**Média Final = Média Aritmética das 4 Avaliações**

## 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 10 mA pode paralisar 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.

## 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>