

Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP  
Instituto de Física Gleb Wataghin – IFGW

Tópicos de Ensino de Física – F 609

**Adição de Fases num Sistema Trifásico: Ligação  
Estrela-Triângulo**

Relatório Parcial

2º Semestre de 2008

**Aluno:** Adriano Luiz Pedrini  
**Orientador:** Varlei Rodrigues  
**Coordenador:** José J. Lunazzi

**RA:** 058554  
Departamento de Física Aplicada

## **Descrição**

O projeto visa mostrar experimentalmente o princípio de adição de fases em sistemas elétricos alternados. Para isto será montado um sistema de geração de energia elétrica trifásico com ligação entre as fases do tipo estrela e triângulo, usualmente empregados na indústria e geração de energia. A fase e a amplitude dos sinais separados e combinados serão monitorados com um osciloscópio e comparados com o esperado teoricamente.

Dentre os materiais utilizados para a construção desse sistema, consta um motor de corrente contínua. Este motor será importante para rotacionar o eixo onde estarão as bobinas, mantendo a rotação sempre constante. O fato de ser um motor de corrente contínua, servirá simplesmente para facilitar a ligação, sendo que o utilizado poderá ser ligado em uma pilha, ou em uma fonte como as de celular.

## **Importância Didática do Trabalho:**

O trabalho tem como público alvo alunos do ensino médio, centrando-se em conceitos e modelos do eletromagnetismo. Possibilita compreender a teoria, a partir da observação dos fenômenos físicos no experimento, sendo levado a tirar suas próprias conclusões sobre as transformações que o homem faz na natureza, assim como em intervir, compreender e participar da realidade com o auxílio dos conceitos básicos estudados pela Física. Dessa forma, acredita-se que o aluno possa construir seu conhecimento.

Neste experimento, será trabalhado com o aluno a compreensão do funcionamento de um gerador para explicar a produção de energia elétrica e adição de fases num sistema trifásico e com isso resolver situações-problemas que envolvam os conceitos físicos observados.

## **Originalidade:**

O trabalho é inédito e simples de ser feito utilizando sucatas, tornando-o de baixo custo. Além disso, há outras versões mais simples disponíveis na internet, porém não enfatizando as ligações trifásicas. O professor pode praticar com o aluno envolvendo materiais como pilhas, alfinetes e fio, sem a necessidade de equipamentos como osciloscópio. Este trabalho apresenta um diferencial, que é apresentar ao aluno diferentes ligações num sistema trifásico (estrela-triângulo).

Assim, será mostrada a diferença entre elas e sua utilização comercial em transformadores elétricos, algo que está presente no cotidiano dos alunos, de fácil observação.

## **Lista de Materiais:**

Os materiais necessários para a construção do experimento são:

- Imãs
- Barra de ferro para fixação dos imãs
- Fio de cobre
- Cano de PVC 1,5"
- Suporte metálico para construção do estator
- Madeira
- Motor de corrente contínua
- Contatos de carvão
- Osciloscópio
- Eixo de Ferro

Meu orientador, o Prof. Varlei Rodrigues concorda com os termos aqui estabelecidos para o projeto e declara que poderá dispor de todos os elementos necessários a menos de exceções indicadas embaixo.

Exceções: “Não há”

Sigilo: NÃO SOLICITA

### **Palavras-chave**

**ESTATOR:** é a parte de um motor ou gerador elétrico que se mantém fixo a carcaça e tem por função conduzir energia elétrica as vezes para rotacionar e outras transformar a energia cinética do induzido. Geralmente, as bobinas são colocadas no estator e os ímãs no rotor. Para este experimento, as bobinas ficarão no rotor, enquanto os ímãs no estator. As duas montagens são equivalentes em termos de geração de energia, porém, neste caso será mais fácil a construção com as bobinas no rotor.

**ROTOR:** é tudo que gira em torno de seu próprio eixo produzindo movimentos de rotação. Qualquer máquina rotativa, como turbinas, compressores, redutores, entre outros, possuem eixos rotativos apoiados em mancais de deslizamento, rolamento ou magnéticos. Esse conjunto é denominado de Rotor.

**TRIFÁSICO:** é a forma mais comum de geração, distribuição e geração de energia elétrica em corrente alternada. Incorpora o uso de três ondas senoidais defasadas  $120^\circ$  umas das outras, permitindo a flexibilidade em dois níveis de tensão.

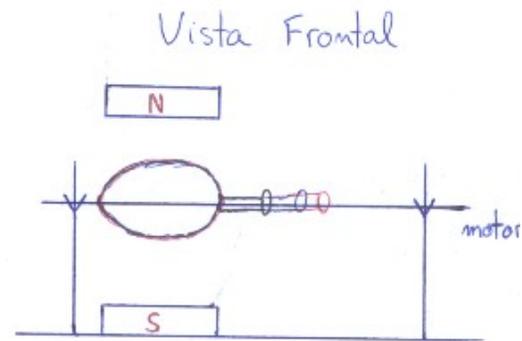
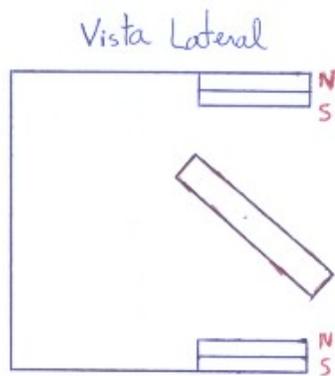
### **Resultados Atingidos**

Para realização do projeto foram montados um rotor e um estator, elementos fundamentais para o funcionamento do gerador. O estator é fixado numa base de madeira e é composto por uma barra metálica em “U” onde ficarão os ímãs. O rotor é composto por um eixo onde as bobinas foram colocadas. Foram construídos dois apoios fixados na mesma base do rotor. Feito isso, serão realizadas as ligações do tipo estrela-triângulo e a seguir serão observadas as formas de onda para cada tipo de ligação através de um osciloscópio.

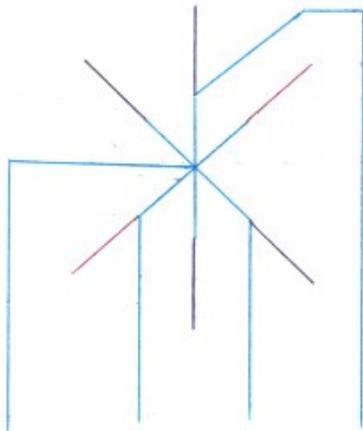
O projeto teve início a partir da relação dos materiais necessários para a realização do projeto. Assim, definiram-se algumas prioridades de modo a organizar as etapas do projeto.

Abaixo, foto do diagrama do projeto feito junto ao orientador:

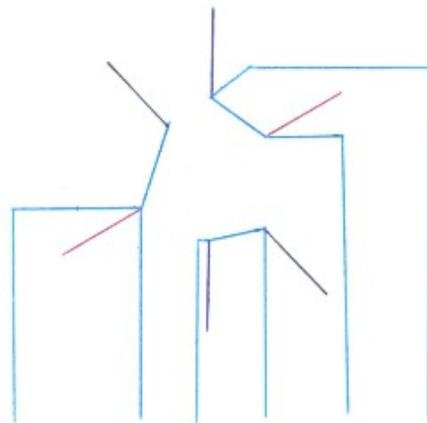
## Croqui



## Ligação Estrela



## Ligação Triângulo



Dessa forma, começou-se a montagem do projeto pela construção do rotor. Este é composto por três bobinas, defasadas de  $120^\circ$  todas fixadas em um eixo. No próprio eixo serão coletadas as pequenas diferenças de potencial elétrico geradas, através dos contatos de carvão. As bobinas foram construídas com fios de cobre utilizados em motores elétricos. O fio utilizado foi o nº 25, o que não impede de serem usados outros diâmetros, porém, esta espessura foi a observada em motores de eletrodomésticos, sendo mais fácil de encontrar em sucatas. Para enrolar as bobinas, utilizou-se um cano de PVC de 1,5". As bobinas depois de enroladas foram presas com barbante e depois de dispostas  $120^\circ$  umas das outras, foram presas com o próprio fio já fixadas no eixo. As pontas de cada bobina foram enroladas na outra extremidade do eixo para a coleta das tensões geradas e identificados o início e fim de cada uma delas.

A etapa de construção do estator se iniciou na busca por um ímã em forma de "U", que envolverá as bobinas presas no eixo. Este ímã pode ser encontrado em lojas especializadas, porém tem um custo alto. Este problema foi contornado substituindo os ímãs em "U", por uma chapa metálica, também em forma de "U", porém com pequenos ímãs nas pontas. Assim, o efeito será o mesmo. Os ímãs podem ser de qualquer tipo, em particular, neste projeto, foram utilizados ímãs de HD de computador, encontrados em sucatas e sem custo. Faz parte do estator os coletores de tensão, conhecidos como contatos de carvão. Assim, foram necessários 6 contatos, dois para cada bobina, sendo um para o início da bobina e outro para o fim da mesma. Esses carvões foram fixados em uma placa de madeira e presos na base de modo a encostar nos fios e coletar as tensões. As ligações serão feitas nas bases do carvão.

Estes foram os resultados atingidos até então. As próximas etapas consistem na ligação das bobinas através dos carvões, acoplamento do motor CC no eixo do gerador, ligação do motor CC que servirá apenas para fazer o eixo do gerador girar, testes com o osciloscópio e avaliação dos resultados obtidos para uma possível melhora.

## Dificuldades Encontradas

Durante a realização do projeto, foram encontradas algumas dificuldades. Dentre elas, a mais importante foi a dificuldade em visualizar o projeto final a partir do croqui elaborado pelo orientador e aluno no início do projeto. Esse fato acarretou na demora para construir algumas partes do motor, como as bobinas e o eixo. Porém isso foi contornado a partir das conversas com o orientador e a montagem mais trabalhosa das partes citadas. Para ilustrar tal fato, segue abaixo fotos de como foi interpretado inicialmente o projeto e na seqüência, como o projeto se apresenta na etapa atual.

Fotos do rotor e estator construídos inicialmente:



Figura 1: Eixo do rotor inicialmente pensado para o projeto



Figura 2: Buchas utilizadas para prender o eixo



Figura 3: Preparação para o corte das buchas

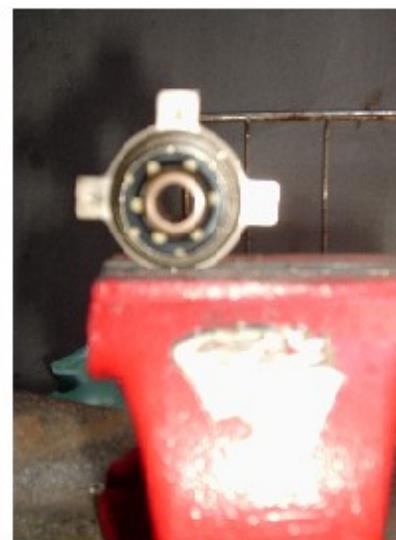


Figura 4: Buchas cortadas prontas para receber o eixo



Figura 5: Base de apoio para rotor



Figura 6: Eapa de construção do rotor finalizada

Pelas fotos acima, é possível se ter uma idéia de como seria o conjunto estator e rotor sem as bobinas e os ímãs e conseqüentemente sem as ligações estrela-triângulo. Da forma como o conjunto foi montado, ficaria muito difícil colocar as bobinas no eixo e seria mais difícil ainda, coletar as diferenças de potenciais através do carvão.

De fato, o que se observou foi que o eixo era pequeno em seu comprimento, porém grande em seu diâmetro, o que dificultaria a montagem das bobinas. No caso do estator, feito com a barra em “U”, pode-se observar que seria mais adequado uma chapa, ao invés de um pedaço curto de ferro como nas fotos, pois assim, haveria um melhor aproveitamento da superfície metálica para a condução das linhas de campo magnético. Além disso, a base como pensada inicialmente, não envolveria todas bobinas e assim, o rendimento do motor seria baixo.

As fotos a seguir mostram as alterações feitas nas construções para se adequar ao croqui estabelecido no início do projeto e dessa forma obter melhores rendimentos na geração de energia.



Figura 9: Corte da base de madeira onde ficarão fixados o rotor e estator



Figura 10: Detalhe da bobina enrolada presa com barbante

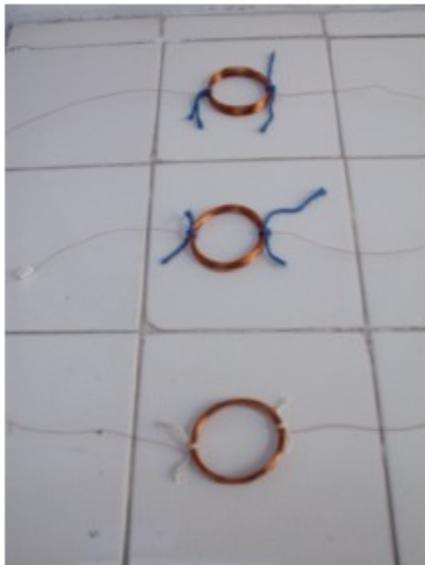


Figura 11: As três bobinas prontas ainda presas com barbante

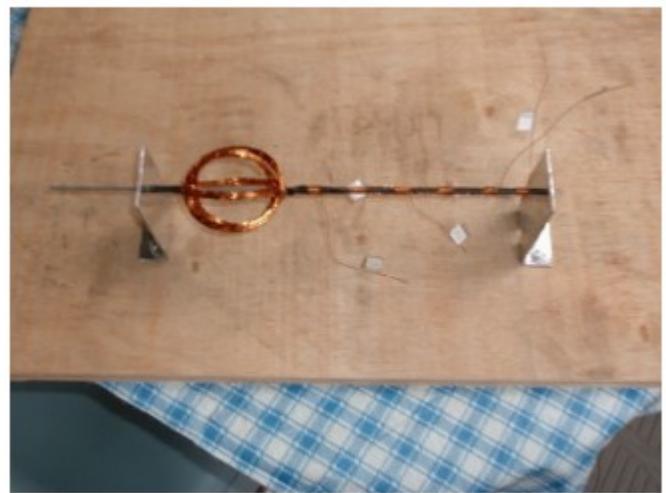


Figura 12: Bobinas fixadas no novo eixo



Figura 13: Detalhe das bobinas presas no eixo e amarradas com o próprio fio de cobre



Figura 14: Detalhe dos fios enrolados no eixo onde serão coletadas os potenciais

As fotos acima mostram as diferenças entre as duas construções, sendo esta mais simples e fácil de ser montada. Assim, as bobinas podem ser de tamanhos pequenos (1,5") e o tamanho e espessura do eixo permitem que as bobinas sejam nele fixadas e possam ser coletadas diferenças de potenciais no mesmo local através dos carvões.

Nas fotos, pode-se perceber também que as bobinas estão numeradas, cada qual com seu início e fim. Isto será importante para as ligações estrela-triângulo posteriormente realizadas após a montagem da estrutura. Para este novo eixo, foi utilizada uma vareta de solda elétrica, outros materiais poderiam ser utilizados, desde que mantivessem diâmetros parecidos. Outra vantagem deste eixo em relação ao anterior, é o fato dele rotacionar livremente, sem ficar preso no seu apoio. Assim, a ligação do motor permitirá que o eixo gire facilmente e as formas de onda observadas no osciloscópio serão mais limpas.

Feito isso, chega-se a etapa da construção da base coletora dos diferenciais elétricos com os carvões. Esta base deve ser preparada de modo a acomodar 6 carvões (um para cada início e fim da bobina). Assim foi construída a seguinte base:



Figura 15: Madeira para a base dos carvões. Detalhe do carvão na madeira

A base foi trabalhada para acomodação dos carvões e será colocada abaixo do eixo, no espaço reservado para as bobinas.



Figura 16: Base para os carvões pronta

Depois de pronta, verificou-se o seguinte problema. Se houver alguma trepidação com eixo rotacionado, o carvão poderá não coletar a tensão como deveria. Então, para evitar este problema outra base

será construída, agora aproveitando as molas do carvão , de modo que ele fique sempre pressionando o eixo e assim não se soltar caso haja alguma trepidação.

É nessa etapa em que se encontra o projeto atualmente. A seguir, fotos da etapa atual.

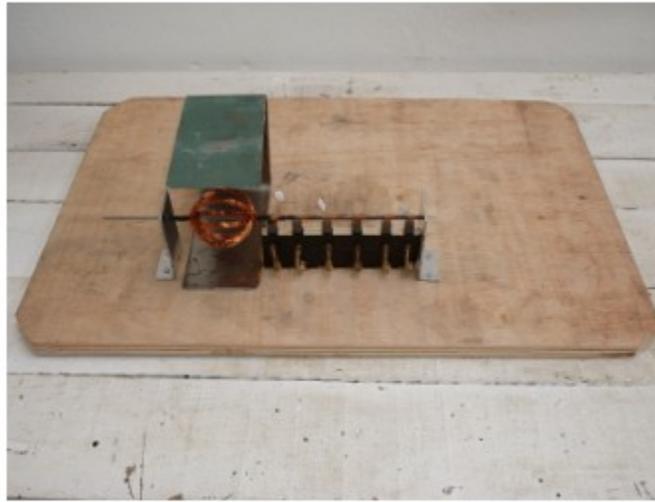


Figura 17: Vista geral do projeto.

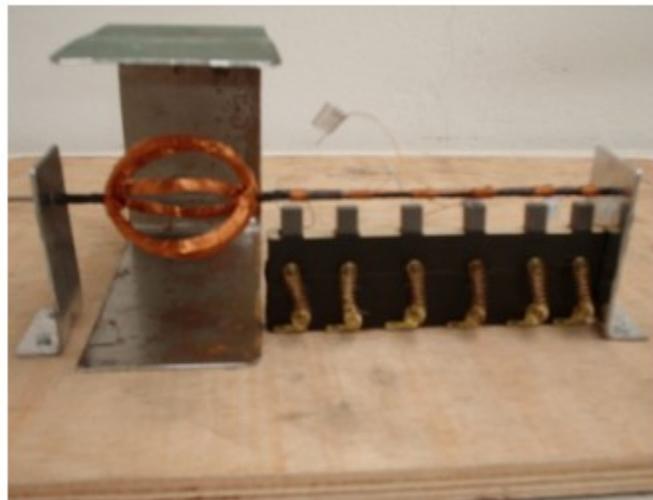


Figura 18: Vista frontal do projeto. Etapa atual

Para finalizar o projeto, basta terminar a nova base para os carvões, fixá-la na base maior e fazer as ligações estrela-triângulo. Feito isso, acoplar o motor ao eixo e visualizar as formas de ondas obtidas no osciloscópio.

### Referências:

LIMA, Eduardo. Eletricidade sem mestre. Companhia Editora Nacional.

Apostilas SENAI. Eletricidade Básica, Prática Profissional, Análise de Circuitos Elétricos.

GUEDES, Manuel Vaz. O motor de Indução Trifásico  
[http://www.estv.ipv.pt/PaginasPessoais/vasco/textos/MI\\_sel&aplic.pdf](http://www.estv.ipv.pt/PaginasPessoais/vasco/textos/MI_sel&aplic.pdf)

Instituto de Física Gleb Wataghin

[http://www.ifi.unicamp.br/~lunazzi/F530\\_F590\\_F690\\_F809\\_F895/F809/F809\\_sem1\\_2006/GustavoB\\_Douglas\\_RF1.pdf](http://www.ifi.unicamp.br/~lunazzi/F530_F590_F690_F809_F895/F809/F809_sem1_2006/GustavoB_Douglas_RF1.pdf)

<b>Data e horário para apresentação: 12 de novembro das 17h-20h</b>
---

Meu orientador, o Prof. Varlei Rodrigues concorda com o expressado neste relatório parcial e deu a seguinte opinião:

O aluno Adriano tem trabalhado com bastante independência e assiduidade, apresentando semanalmente os avanços realizados no projeto. O aluno tem procurado resolver sozinho todos os problemas da montagem, me procurando para apresentar as soluções e discutir os novos passos. Vale destacar que quando ocorre algum problema mais grave, como o documentado nas fotos em relação ao suporte do rotor e do estator, prontamente apresenta uma nova solução e a monta prontamente. Desta forma, o cronograma de construção está sendo seguido e a montagem deverá ser testada em breve.