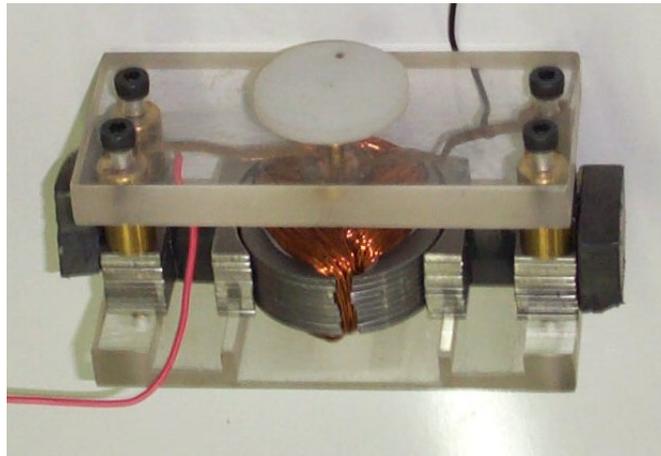




Relatório Final - F809

Construção de um Motor Elétrico Didático de Corrente Contínua



André Lessa - 008087
Orientador: Pedro Raggio

Sumário

1	Introdução	3
2	História	3
3	Teoria	3
3.1	Dipolo Magnético	4
3.2	Magnetização	5
3.3	Indução Eletromagnética	5
4	Motor Elétrico	5
4.1	Partes do Motor Elétrico	6
4.2	Funcionamento	7
4.3	Gerador Elétrico	8
5	Experimento	8
5.1	Objetivos	9
5.2	Especificações Técnicas	9
6	Conclusões	9

1 Introdução

Dentre os desenvolvimentos tecnológicos provenientes da Física pode-se afirmar com relativa segurança que poucos tiveram tanto impacto quanto a descoberta da eletricidade e de como manipulá-la. Os conceitos básicos do Eletromagnetismo foram pesquisados por Michel Faraday (dentre outros), que simultaneamente desenvolveu motores e geradores elétricos. O experimento desenvolvido visa usar o motor elétrico para apresentar conceitos de Eletromagnetismo, assim como suas aplicações no dia-a-dia. Após relatar brevemente a história dos motores elétricos serão abordados os conceitos físicos envolvidos em seu funcionamento. Em Experimento e Objetivos será descrito como o motor desenvolvido pode ser utilizado para experiências didáticas e quais conceitos podem ser apresentados a partir destas.

2 História

Um dos pioneiros no estudo do eletromagnetismo foi Benjamin Franklin, que sugeriu pela primeira vez a idéia de cargas positivas e negativas, isto por volta de 1752. A partir de então diversas pesquisas foram realizadas utilizando os conceitos de corrente elétrica. Em 1800 Alessandro Volta desenvolveu a primeira bateria elétrica. Em 1820 o dinamarquês Hans Christian Oersted desenvolveu as bases do eletromagnetismo, no entanto suas idéias foram lentamente assimiladas no restante da Europa.

Michel Faraday foi o primeiro a conceber a rotação eletromagnética, essencial para o de motores elétricos. Apenas dez anos depois, em 1831, M. Faraday desenvolveu o conceito de indução eletromagnética, que é a base para a geração de energia elétrica. Utilizando suas novas descobertas Faraday demonstrou que o eletromagnetismo poderia ter enormes impactos tecnológicos ao desenvolver os primeiros geradores e motores elétricos. Paralelamente, nos Estados Unidos, Joseph Henry descobria os mesmos fenômenos de indução e construía um motor elétrico semelhante ao de Faraday. Por isso atualmente a invenção do motor elétrico é creditada a ambos os cientistas. Posteriormente, em 1888, Nikola Tesla desenvolveu o primeiro motor de corrente alternada.

Apesar de a base teórica do eletromagnetismo já estar estabelecida, diversas pesquisas tecnológicas atuais ainda se baseiam nos mesmos princípios descobertos no século XIX.

3 Teoria

Para a compreensão do funcionamento do motor¹ ou gerador elétrico são necessários alguns conceitos básicos de eletromagnetismo. Abaixo serão descritos de maneira concisa os conceitos de magnetização, dipolo magnético e indução eletromagnética.

¹Aqui só serão tratados motores de corrente contínua.

3.1 Dipolo Magnético

Considerando uma pequena espira circular com uma corrente constante. Pode-se associar à espira o seguinte momento magnético \vec{m} :

$$\vec{m} = I \int d\vec{a}$$

onde I é a corrente da espira e $d\vec{a}$ seu elemento de área orientado. No limite em que $\vec{a} \rightarrow 0$ e \vec{m} é mantido constante, obtemos um dipolo magnético (com momento \vec{m}), cujo campo é o da figura 1.

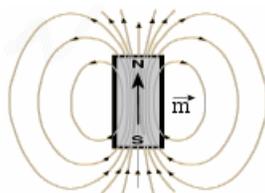


Figura 1: Campo de um dipolo magnético, representado na forma de um ímã.

No entanto se as dimensões da região de corrente são desprezíveis com relação às distâncias de interesse, qualquer distribuição de corrente pode ser aproximada por um dipolo magnético, já que o primeiro termo da expansão multipolar não está presente (não existem monopólos magnéticos).

Na presença de um campo externo, um dipolo magnético com momento \vec{m} sofre um torque $\vec{\tau}$ dado por:

$$\vec{\tau} = \vec{m} \times \vec{B} \quad (1)$$

Como sua energia U potencial é dada por:

$$U = -\vec{m} \cdot \vec{B}$$

considerando um campo \vec{B} constante e uniforme que forma um ângulo θ com \vec{m} , vem:

$$U = -mB\cos\theta \quad (2)$$

Logo a situação de menor energia será aquela em que o dipolo está paralelo ao campo. Pode ser mostrado que na interação de dois dipólos à uma distância fixa, a situação de menor energia é aquela em que ambos estão paralelos. Considerando a representação de dipólos em termos de pólos magnéticos² (norte e sul) resulta o fato que pólos (de ímãs) iguais se repelem e diferentes se atraem.

²Deve-se ressaltar que não existem monopólos magnéticos e portanto os pólos norte ou sul não existem de fato, sendo mais precisa a descrição em termos de dipólos.

3.2 Magnetização

Os fenômenos magnéticos mais explicitamente presentes em nosso dia-a-dia envolvem ímãs, que são materiais com uma magnetização permanente (ferromagnetos). Em geral materiais que podem ser magnetizados se dividem em paramagnetos, diamagnetos ou ferromagnetos.

A magnetização ocorre quando aplicamos um campo magnético externo à determinados tipos de materiais. Sabemos que elétrons (assim como prótons), por possuírem spin $1/2$, possuem um momento magnético intrínseco. Além disso cada átomo possui um momento magnético associado ao momento angular orbital dos elétrons. Desta forma um átomo é considerado um dipolo magnético. Em geral estes dipólos estão distribuídos de maneira aleatória no material, resultando em um momento total nulo. Mas, na presença de um campo magnético externo, eles tenderão à se alinhar paralela (paramagnetos) ou antiparalelamente (diamagnetos) com o campo. Desta forma obtém-se um momento resultante, ou seja, um material magnetizado (ímã). As contribuições para o momento total do material seja este um paramagneto ou um diamagneto depende de sua estrutura e natureza. Alguns materiais possuem certas propriedades que permitem manter a magnetização mesmo sem a presença do campo externo, estes são chamados de ferromagnéticos e constituem os ímãs com magnetização permanente.

3.3 Indução Eletromagnética

Em seus experimentos com campos magnéticos, Faraday foi capaz de induzir uma corrente em uma espira através da variação do campo magnético que passava pela mesma. A relação entre a variação do fluxo de campo (Φ) na espira e a força eletromotriz (ϵ) induzida na mesma ficou conhecida como Lei de Faraday:

$$\epsilon = \oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{d\Phi}{dt}$$

Usando o Teorema de Stokes temos:

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

que é uma das Leis de Maxwell.

Usando este fenômeno Faraday construiu um dos primeiros geradores elétricos ao utilizar trabalho mecânico para variar o fluxo do campo, induzindo, assim, uma corrente elétrica.

4 Motor Elétrico

Utilizando os conceitos apresentados acima podemos compreender o funcionamento básico de um motor de corrente contínua. Este tem como objetivo gerar um movimento de rotação utilizando-se o campo magnético produzido pela energia elétrica.

4.1 Partes do Motor Elétrico

O motor elétrico de corrente contínua é constituído das seguintes partes fundamentais:

Estator: esta peça, que para pequenos motores geralmente é um ímã côncavo, é responsável pelo campo externo aplicado ao rotor. Também pode ser composto por um núcleo de metal magnetizado por um bobinado.

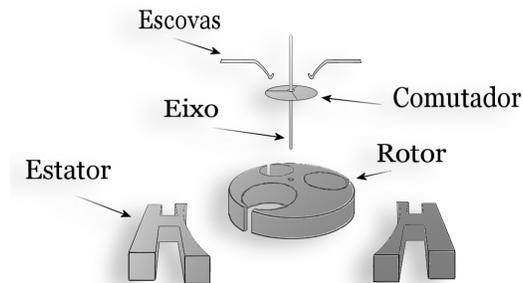


Figura 2: Partes de um motor elétrico de corrente contínua

Rotor: é a parte principal do motor, responsável pela rotação. Pode ser constituída de duas ou mais pás (três, na figura 2) bobinadas. O rotor está ligado ao eixo que transmite o trabalho mecânico.

Comutador: o comutador determina qual o sentido da corrente que passa nas bobinas das pás do rotor. Geralmente é constituído por um cilindro condutor que envolve o eixo.

Escovas: são duas peças que fazem o contato entre o comutador e a fonte de energia em corrente contínua. Normalmente são constituídas de grafite para evitar o desgaste do comutador.

Bateria ou Fonte de Tensão: ligada às escova, a bateria fornece a corrente necessária para magnetizar os pólos do rotor.

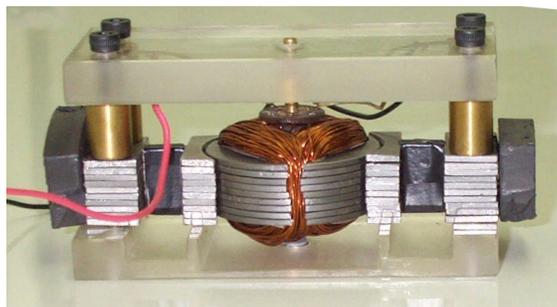


Figura 3: Motor elétrico didático construído para F809

4.2 Funcionamento

As bobinas dos pólos do rotor funcionam como um solenóide e permitem aplicar um campo magnético uniforme nos pólos. Logo estes serão magnetizadas (pois os pólos são feitos de metal paramagnético) funcionando como dipólos. O sentido dos dipólos dependerá do sentido da corrente que passa no bobinado. Já os estatores produzem um campo aproximadamente uniforme e constante na região do rotor (ver figura 3).

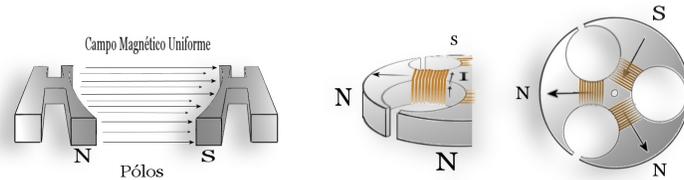
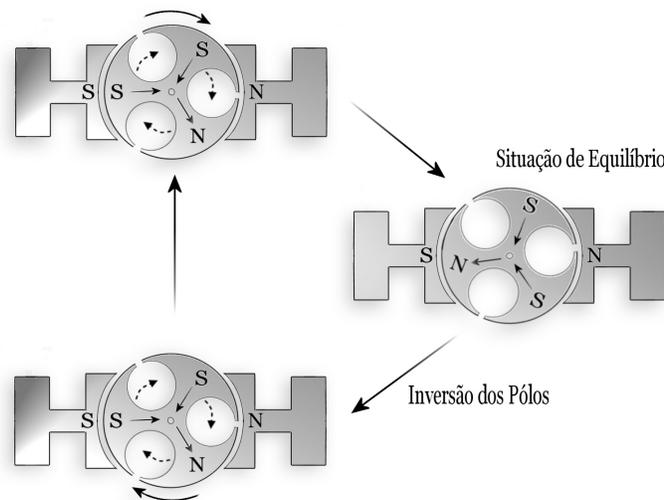


Figura 4: Campos nas pás e no estator.

Vimos anteriormente que um dipolo magnético na presença de um campo externo sofre um torque dado por (1). Logo a situação de equilíbrio será alcançada quando o dipolo for paralelo ou antiparalelo ao campo. No entanto por (2) temos que a posição antiparalela corresponde à um equilíbrio instável. O motor elétrico nada mais é do que um mecanismo que inverte o sentido dos dipólos dos pólos de tal forma que estes nunca fiquem paralelos ao campo e, portanto, sempre estejam sofrendo torque no mesmo sentido. O funcionamento do motor elétrico está esquematizado na figura 4.

Figura 5: Funcionamento de um motor elétrico de corrente contínua



Assim que a corrente começa a passar nas bobinas do rotor, este sofrerá um torque devido à posição das suas pás (dipólos) com relação ao campo externo. Os bobinados estão ligados ao comutador de tal forma que uma das pás sempre tenha um pólo diferente das demais. Como o comutador gira juntamente com o rotor, o sentido da corrente que passa nos pólos é invertido conforme a figura 4. Desta forma inverte-se o sentido dos dipólos de tal forma que estes nunca fiquem alinhados com o campo (situação de equilíbrio). Mantém-se, assim, um movimento de rotação constante.

4.3 Gerador Elétrico

Como o funcionamento de um gerador elétrico é muito semelhante ao funcionamento de um motor elétrico, podemos utilizar o mesmo aparato da figura 2 para explicar o funcionamento de um gerador. De maneira inversa ao motor elétrico, o gerador tem como objetivo transformar trabalho mecânico em energia elétrica.

Suponha que temos o mesmo motor da figura 2, porém sem uma fonte de tensão (pois o próprio aparato será o gerador). Se fornecermos energia mecânica ao rotor de tal forma à manter este girando com uma rotação constante teremos espiras entrando e saindo do campo magnético gerado pelos estatores. Como descrito anteriormente esta variação de fluxo nas espiras induz uma força eletromotriz, que pode ser medida nos terminais das escovas (ver figura 5). Logo estas funcionam agora como uma fonte de tensão. O comutador faz com que as tensões geradas nas espiras dos pólos do rotor tenham sempre a mesma polaridade e não se anulem.

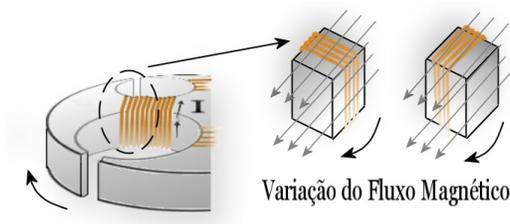


Figura 6: Esquema do funcionamento de um gerador elétrico.

5 Experimento

O experimento descrito a seguir visa expor os conceitos apresentados acima utilizando um motor elétrico didático. Este distingue-se de um motor real apenas em sua forma aberta, para facilitar a exposição.

O motor construído é de fácil operação. Basta ligá-lo em uma fonte de tensão contínua à 2 V e, se necessário, dar um pequeno impulso para iniciar a rotação. O movimento de rotação é então mantido pelo mecanismo descrito anteriormente. Como os ímãs do estator são móveis, estes podem ser retirados para verificar que de fato o rotor não gira sem um campo externo. Além disso, ainda

sem os ímãs, pode-se ligar a fonte de tensão e verificar quais são as polaridades nos pólos do rotor. Mudando a posição das escovas no comutador (através de pequenas rotações no rotor) pode-se verificar, com o auxílio de uma bússola, como as polaridades dos pólos são invertidos conforme o rotor gira.

Para verificar o efeito de gerador elétrico basta ligar um voltímetro analógico (neste caso facilita a medida) nos terminais das escovas (sem desligá-las da fonte de tensão). Então, ao ligar o motor, basta esperar alguns segundos para que este atinja sua rotação máxima e então desligar a fonte de tensão. Desta forma o rotor desacelerará até atingir o repouso. Porém, enquanto ainda estiver com uma frequência próxima da inicial, pode-se verificar uma pequena tensão medida pelo voltímetro. Como a fonte está desligada esta tensão provém do fenômeno de indução eletromagnética nas bobinas do rotor. No entanto o efeito é de curta duração, já que o rotor desacelera rapidamente.

5.1 Objetivos

Seguindo o procedimento descrito acima espera-se que os alunos que tenham contanto com este experimento verifiquem a validade de conceitos de eletromagnetismo, que muitas vezes são de difícil assimilação. O objetivo principal é que o aluno explore as características do motor, entenda seu funcionamento e verifique experimentalmente os fenômenos de indução eletromagnética e magnetização, além dos outros fenômenos associados à dipólos magnéticos descritos em Teoria. Deve-se destacar que o experimento não possui objetivos quantitativos, visando apenas uma ilustração qualitativa dos conceitos abordados.

5.2 Especificações Técnicas

A seguir estão alguns dados relativos ao funcionamento do motor.

Tensão	Corrente	Frequência
2,2 V	380 mA	350 RPM

Para o gerador temos uma voltagem de aproximadamente 0,5 V mantida por cerca de 3s.

No nosso protótipo construímos um motor com 3 pólos. No entanto é comum a produção de motores de corrente contínua com 5 e até 7 pólos no rotor, que resultam em velocidades de rotação mais constantes.

6 Conclusões

A importância dos motores elétricos para a tecnologia moderna dificilmente pode ser superestimada. Praticamente todos os dispositivos elétricos que realizam algum tipo de trabalho mecânico se valem dos mesmos princípios descritos aqui. Atualmente diversas variações do motor de pólos já foram desenvolvidas, como motores lineares, por exemplo. Apesar de se valerem dos princípios de repulsão e atração de dipólos os motores lineares produzem um movimento de translação (em contraste com o movimento de rotação do rotor).

Os conceitos físicos apresentados aqui também são extremamente importantes para diversas aplicações tecnológicas, além de fazerem parte do eletromagnetismo, uma das teorias físicas mais bem sucedida atualmente.

Finalmente, considero que o trabalho descrito aqui cumpriu com os objetivos propostos no projeto, além de acrescentar alguns tópicos importantes (como a demonstração do gerador elétrico). O motor construído está de acordo com o esperado, cumprindo seu papel didático de forma satisfatória.

Referências

- [1] Griffiths, J.D. *Introduction to Electrodynamics*, 3rd ed. New York. (Prentice Hall). 1998.
- [2] <http://library.thinkquest.org/2763/Electricity/History/Inventions/Motor.html>
- [3] http://www.bergen.org/AAST/Projects/Engineering_Graphics/Hedge_Trimmer/electmotor.html
- [4] <http://www.ideafinder.com/features/smallstep/electricity.htm>
- [5] <http://www.rigb.org/rimain/heritage/faradaypage.jsp>
- [6] <http://www.howstuffworks.com>