

As máquinas elétricas do século XIX

Clovis Goldemberg

Depto. de Energia e Automação Elétricas
Escola Politécnica da USP

Outubro/2007

(c) 2007, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - EPUSP
Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas - PEA
Autor: Prof. Dr. Clovis Goldemberg

Direitos autorais liberados desde que mantidas as referências acima.
Imagens do acervo pessoal do Prof. Clovis Goldemberg.
Contato na EPUSP
Prof. Dr. Eduardo Lorenzetti Pellini <elpellini@usp.br>

As máquinas elétricas do Século XIX

O ovo ou a galinha? A teoria ou a prática?

- Porque fazer arqueologia técnica?
- A prática muitas vezes precedeu a teoria. Na medida em que houve muita “tentativa e erro”, senso prático foi fundamental. A teoria ajudou, muitas vezes “a posteriori”.
- Não vou seguir uma ordem cronológica rigorosa!
- Não vou apenas glorificar Faraday e Maxwell pois, como dito acima, os “engenheiros empíricos” (e alguns que nem engenheiros eram) tiveram um papel fundamental!

(c) 2007, PEA - EPUSP

Autor: Clovis Goldemberg

Direitos autorais liberados, desde que mantidas as referências acima.

As máquinas
elétricas do século
XIX

Clovis Goldemberg

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC
elementares

Motores de
relutância

Máquinas
dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

Gênese do motor
de indução

Corrente alternada

Niagara Falls

Steinmetz versus
Maxwell

Conclusões

As máquinas elétricas do Século XIX

O ovo ou a galinha? A teoria ou a prática?

- Porque fazer arqueologia técnica?
- A prática muitas vezes precedeu a teoria. Na medida em que houve muita “tentativa e erro”, senso prático foi fundamental. A teoria ajudou, muitas vezes “a posteriori”.
- Não vou seguir uma ordem cronológica rigorosa!
- Não vou apenas glorificar Faraday e Maxwell pois, como dito acima, os “engenheiros empíricos” (e alguns que nem engenheiros eram) tiveram um papel fundamental!

(c) 2007, PEA - EPUSP

Autor: Clovis Goldemberg

Direitos autorais liberados, desde que mantidas as referências acima.

As máquinas
elétricas do século
XIX

Clovis Goldemberg

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC
elementares

Motores de
relutância

Máquinas
dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

Gênese do motor
de indução

Corrente alternada

Niagara Falls

Steinmetz versus
Maxwell

Conclusões

As máquinas elétricas do Século XIX

O ovo ou a galinha? A teoria ou a prática?

- Porque fazer arqueologia técnica?
- A prática muitas vezes precedeu a teoria. Na medida em que houve muita “tentativa e erro”, senso prático foi fundamental. A teoria ajudou, muitas vezes “a posteriori”.
- Não vou seguir uma ordem cronológica rigorosa!
- Não vou apenas glorificar Faraday e Maxwell pois, como dito acima, os “engenheiros empíricos” (e alguns que nem engenheiros eram) tiveram um papel fundamental!

As máquinas
elétricas do século
XIX

Clovis Goldemberg

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC
elementares

Motores de
relutância

Máquinas
dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

Gênese do motor
de indução

Corrente alternada

Niagara Falls

Steinmetz versus
Maxwell

Conclusões

(c) 2007, PEA - EPUSP

Autor: Clovis Goldemberg

Direitos autorais liberados, desde
que mantidas as referências acima.

As máquinas elétricas do Século XIX

O ovo ou a galinha? A teoria ou a prática?

- Porque fazer arqueologia técnica?
- A prática muitas vezes precedeu a teoria. Na medida em que houve muita “tentativa e erro”, senso prático foi fundamental. A teoria ajudou, muitas vezes “a posteriori”.
- Não vou seguir uma ordem cronológica rigorosa!
- Não vou apenas glorificar Faraday e Maxwell pois, como dito acima, os “engenheiros empíricos” (e alguns que nem engenheiros eram) tiveram um papel fundamental!

(c) 2007, PEA - EPUSP

Autor: Clovis Goldemberg

Direitos autorais liberados, desde que mantidas as referências acima.

As máquinas
elétricas do século
XIX

Clovis Goldemberg

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC
elementares

Motores de
relutância

Máquinas
dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

Gênese do motor
de indução

Corrente alternada

Niagara Falls

Steinmetz versus
Maxwell

Conclusões

Disco de Arago

1824-25

- sabia-se (Gambey, Paris/1824) que a agulha de uma bússola, quando deslocada do seu ponto de equilíbrio, oscila sobre seu pivô até se estabilizar. Se o fundo da caixa fôr feito de cobre este amortecimento será mais rápido.
- Arago fez um relato à Academia de Ciências, Paris, 22/Novembro/1824. Deslocava o ponteiro de 45° e contava o número de oscilações até que estas ficassem inferiores a 10° . Numa caixa de madeira eram 145 oscilações. Numa caixa de cobre fino eram 66 e numa caixa de cobre grosso apenas 33.
- O período das oscilações não se alterava. Apenas sua amplitude.
- Só existia força quando havia movimento relativo entre a agulha e a massa de cobre, que ele denominou “magnetismo de rotação”.

Disco de Arago

1824-25

- sabia-se (Gambey, Paris/1824) que a agulha de uma bússola, quando deslocada do seu ponto de equilíbrio, oscila sobre seu pivô até se estabilizar. Se o fundo da caixa fôr feito de cobre este amortecimento será mais rápido.
- Arago fez um relato à Academia de Ciências, Paris, 22/Novembro/1824. Deslocava o ponteiro de 45° e contava o número de oscilações até que estas ficassem inferiores a 10° . Numa caixa de madeira eram 145 oscilações. Numa caixa de cobre fino eram 66 e numa caixa de cobre grosso apenas 33.
- O período das oscilações não se alterava. Apenas sua amplitude.
- Só existia força quando havia movimento relativo entre a agulha e a massa de cobre, que ele denominou “magnetismo de rotação”.

Disco de Arago

1824-25

- sabia-se (Gambey, Paris/1824) que a agulha de uma bússola, quando deslocada do seu ponto de equilíbrio, oscila sobre seu pivô até se estabilizar. Se o fundo da caixa fôr feito de cobre este amortecimento será mais rápido.
- Arago fez um relato à Academia de Ciências, Paris, 22/Novembro/1824. Deslocava o ponteiro de 45° e contava o número de oscilações até que estas ficassem inferiores a 10° . Numa caixa de madeira eram 145 oscilações. Numa caixa de cobre fino eram 66 e numa caixa de cobre grosso apenas 33.
- O período das oscilações não se alterava. Apenas sua amplitude.
- Só existia força quando havia movimento relativo entre a agulha e a massa de cobre, que ele denominou “magnetismo de rotação”.

Disco de Arago

1824-25

- sabia-se (Gambey, Paris/1824) que a agulha de uma bússola, quando deslocada do seu ponto de equilíbrio, oscila sobre seu pivô até se estabilizar. Se o fundo da caixa fôr feito de cobre este amortecimento será mais rápido.
- Arago fez um relato à Academia de Ciências, Paris, 22/Novembro/1824. Deslocava o ponteiro de 45° e contava o número de oscilações até que estas ficassem inferiores a 10° . Numa caixa de madeira eram 145 oscilações. Numa caixa de cobre fino eram 66 e numa caixa de cobre grosso apenas 33.
- O período das oscilações não se alterava. Apenas sua amplitude.
- Só existia força quando havia movimento relativo entre a agulha e a massa de cobre, que ele denominou “magnetismo de rotação”.

Disco de Arago

1825

As máquinas
elétricas do século
XIX

Clovis Goldemberg

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC
elementares

Motores de
relutância

Máquinas
dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

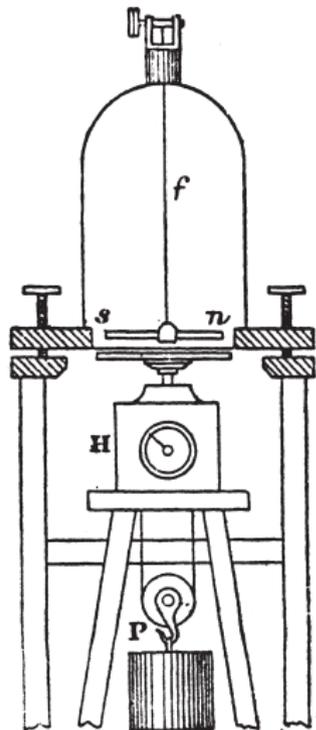
Gênese do motor
de indução

Corrente alternada

Niagara Falls

Steinmetz versus
Maxwell

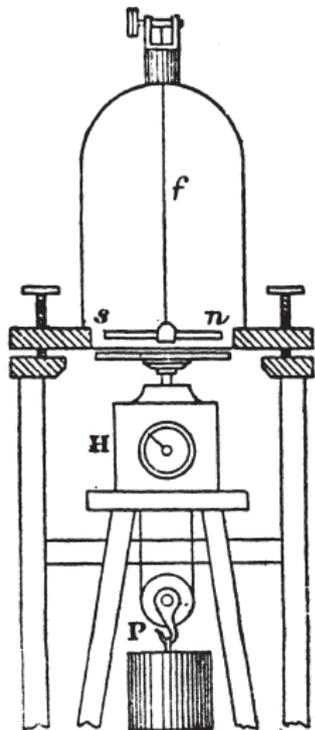
Conclusões



- quando se gira o disco de cobre a agulha imantada se desvia da posição de equilíbrio;
- quando mais rápido girar o disco de cobre maior será o deslocamento da agulha imantada;
- quando a rotação aumenta ao ponto de fazer a agulha se desviar de 90 graus, esta passa a girar continuamente;
- Poisson elaborou a idéia era a de todos os corpos adquirem uma magnetização temporária na presença do imã. Na presença do cobre, este magnetismo demoraria para desaparecer. Arago discordava, insistindo na idéia de um "magnetismo de rotação".

Disco de Arago

1825



- quando se gira o disco de cobre a agulha imantada se desvia da posição de equilíbrio;
- quando mais rápido girar o disco de cobre maior será o deslocamento da agulha imantada;
- quando a rotação aumenta ao ponto de fazer a agulha se desviar de 90 graus, esta passa a girar continuamente;
- Poisson elaborou a idéia era a de todos os corpos adquirem uma magnetização temporária na presença do ímã. Na presença do cobre, este magnetismo demoraria para desaparecer. Arago discordava, insistindo na idéia de um "magnetismo de rotação".

Disco de Arago

1825

(c) 2007, PEA - EPUSP
Autor: Clovis Goldemberg

As máquinas
elétricas do século
XIX

Clovis Goldemberg

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC
elementares

Motores de
relutância

Máquinas
dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

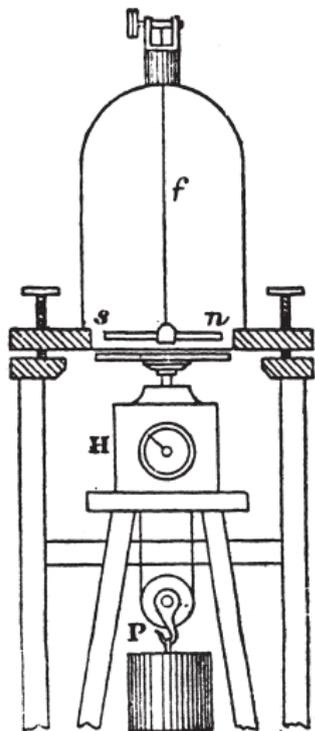
Gênese do motor
de indução

Corrente alternada

Niagara Falls

Steinmetz versus
Maxwell

Conclusões



- quando se gira o disco de cobre a agulha imantada se desvia da posição de equilíbrio;
- quando mais rápido girar o disco de cobre maior será o deslocamento da agulha imantada;
- quando a rotação aumenta ao ponto de fazer a agulha se desviar de 90 graus, esta passa a girar continuamente;
- Poisson elaborou a idéia era a de todos os corpos adquirem uma magnetização temporária na presença do ímã. Na presença do cobre, este magnetismo demoraria para desaparecer. Arago discordava, insistindo na idéia de um “magnetismo de rotação”.

Disco de Arago

Babbage e Herschel/Inglaterra 1825

As máquinas
elétricas do século
XIX

Clovis Goldemberg

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC
elementares

Motores de
relutância

Máquinas
dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

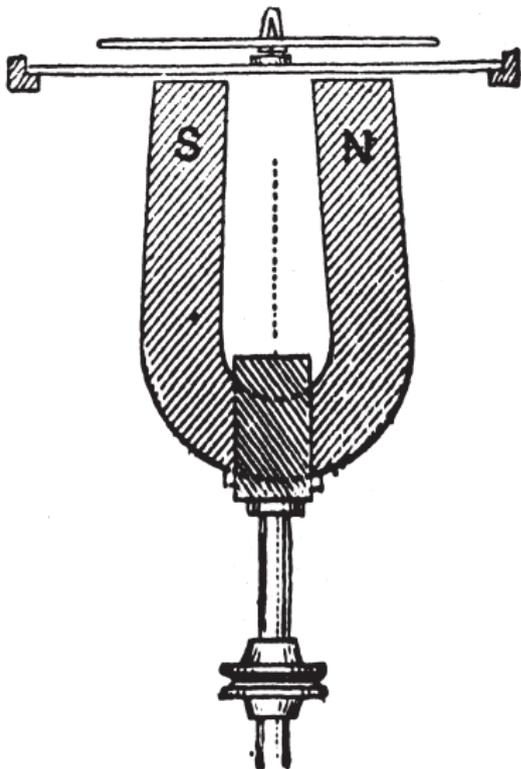
Gênese do motor
de indução

Corrente alternada

Niagara Falls

Steinmetz versus
Maxwell

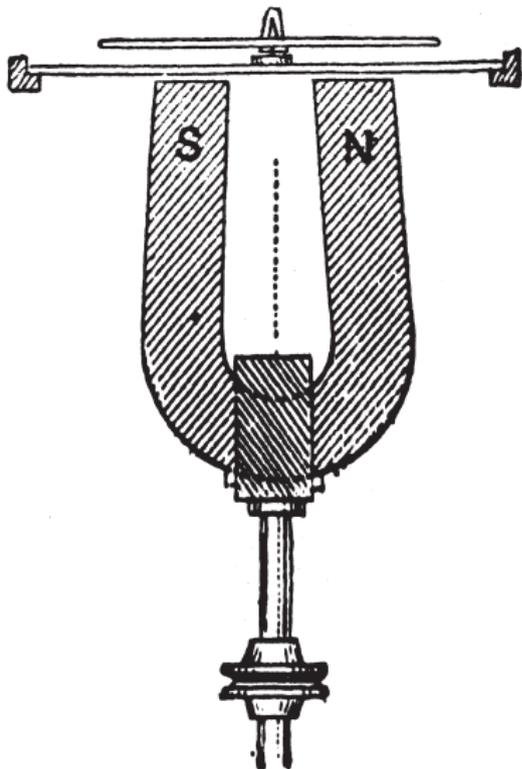
Conclusões



- repetiram a experiência original de Arago medindo a força exercida sobre a agulha. Esta força depende do material utilizado no disco. Por ordem decrescente: prata, cobre, ouro e zinco, mercúrio e bismuto (muito inferiores);
- conseguiram inverter o fenômeno, fazendo o disco girar sob a ação do ímã;
- experimentaram discos de cobre com vários tipos de fendas radiais, notando que a força sobre o disco diminuía.

Disco de Arago

Babbage e Herschel/Inglaterra 1825



- repetiram a experiência original de Arago medindo a força exercida sobre a agulha. Esta força depende do material utilizado no disco. Por ordem decrescente: prata, cobre, ouro e zinco, mercúrio e bismuto (muito inferiores);
- conseguiram inverter o fenômeno, fazendo o disco girar sob a ação do imã;
- experimentaram discos de cobre com vários tipos de fendas radiais, notando que a força sobre o disco diminuía.

Clovis Goldemberg

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC
elementares

Motores de
relutância

Máquinas
dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

Gênese do motor
de indução

Corrente alternada

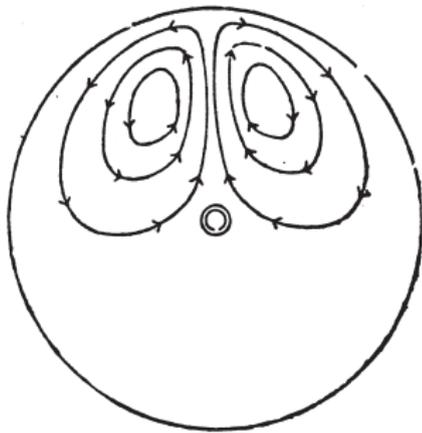
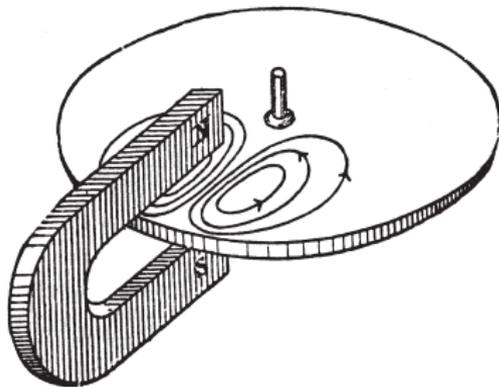
Niagara Falls

Steinmetz versus
Maxwell

Conclusões

Disco de Arago

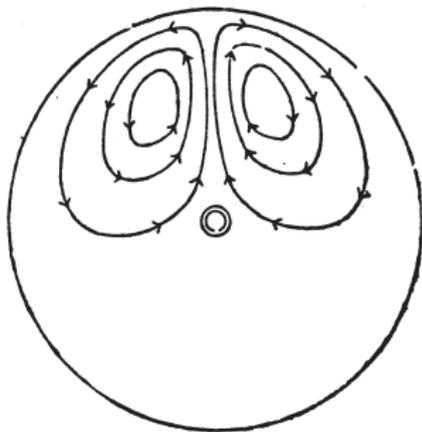
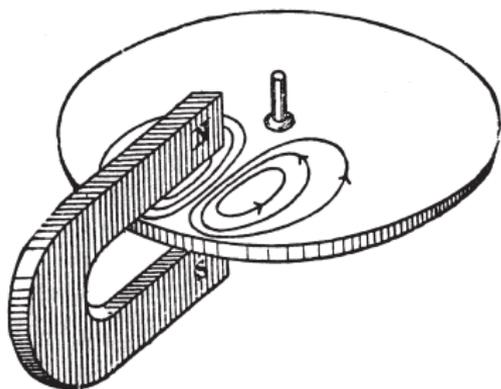
A interpretação de Faraday/1831



- um movimento relativo entre um ímã e um disco de cobre induz correntes elétricas (“correntes parasitas”) neste disco;
- estas correntes reagem sobre o ímã tentando diminuir a velocidade relativa entre ambos;
- estas forças agem no sentido oposto ao movimento do ímã;
- as eventuais fendas no disco limitam a circulação destas correntes parasitas.

Disco de Arago

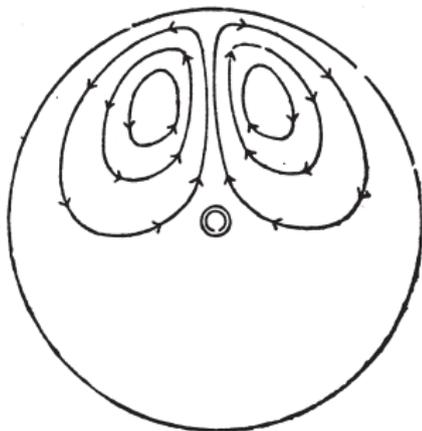
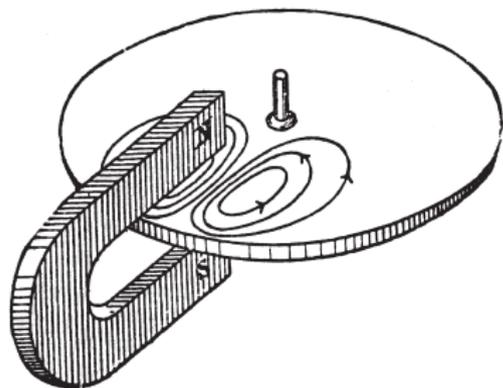
A interpretação de Faraday/1831



- um movimento relativo entre um ímã e um disco de cobre induz correntes elétricas (“correntes parasitas”) neste disco;
- estas correntes reagem sobre o ímã tentando diminuir a velocidade relativa entre ambos;
- estas forças agem no sentido oposto ao movimento do ímã;
- as eventuais fendas no disco limitam a circulação destas correntes parasitas.

Disco de Arago

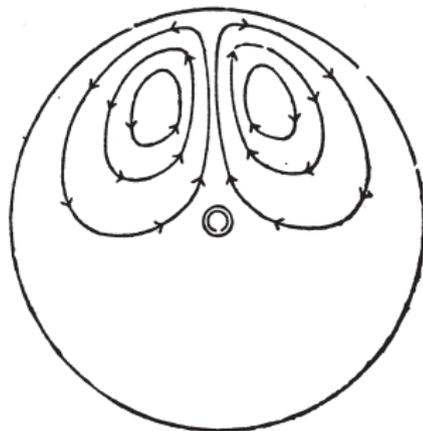
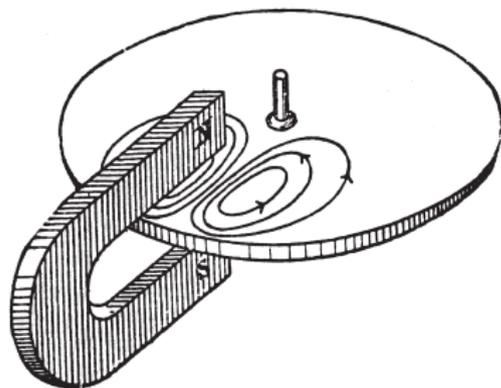
A interpretação de Faraday/1831



- um movimento relativo entre um ímã e um disco de cobre induz correntes elétricas (“correntes parasitas”) neste disco;
- estas correntes reagem sobre o ímã tentando diminuir a velocidade relativa entre ambos;
- estas forças agem no sentido oposto ao movimento do ímã;
- as eventuais fendas no disco limitam a circulação destas correntes parasitas.

Disco de Arago

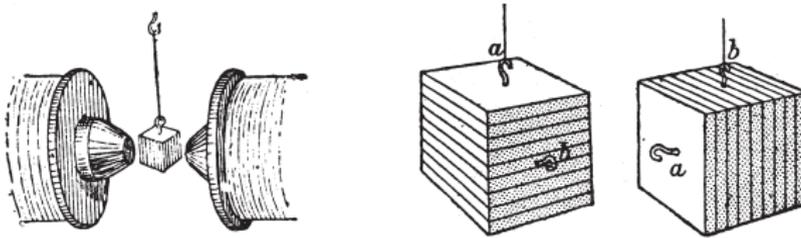
A interpretação de Faraday/1831



- um movimento relativo entre um ímã e um disco de cobre induz correntes elétricas (“correntes parasitas”) neste disco;
- estas correntes reagem sobre o ímã tentando diminuir a velocidade relativa entre ambos;
- estas forças agem no sentido oposto ao movimento do ímã;
- as eventuais fendas no disco limitam a circulação destas correntes parasitas.

Disco de Arago

Qual o sentido das correntes elétricas induzidas?



- vários cientistas tentaram responder à esta pergunta (Faraday, Sturgeon, Hertz, Mateucci);
- na montagem de Faraday (esquerda) um cubo de cobre sólido girava rapidamente com o eletroímã desligado. Ao energizar este eletroímã o cubo parava instantaneamente e depois recomeçava a girar numa velocidade bem menor;
- na montagem de Mateucci (direita) este cubo era composto de lâminas isoladas entre si. Se o cubo estivesse suspenso pelo gancho **A** nada acontecia enquanto que ao suspender o cubo pelo gancho **B** o comportamento descrito por Faraday se repetia;

Disco de Arago

(c) 2007, PEA - EPUSP
Autor: Clovis Goldemberg

As máquinas
elétricas do século
XIX

Clovis Goldemberg

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC
elementares

Motores de
relutância

Máquinas
dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

Gênese do motor
de indução

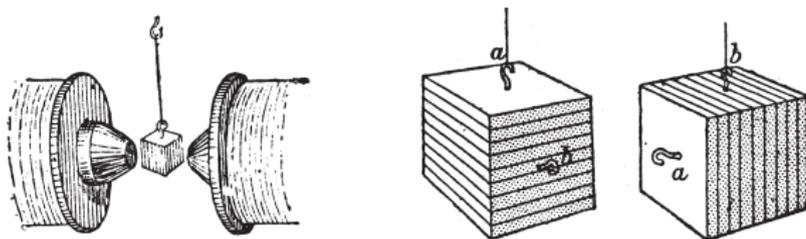
Corrente alternada

Niagara Falls

Steinmetz versus
Maxwell

Conclusões

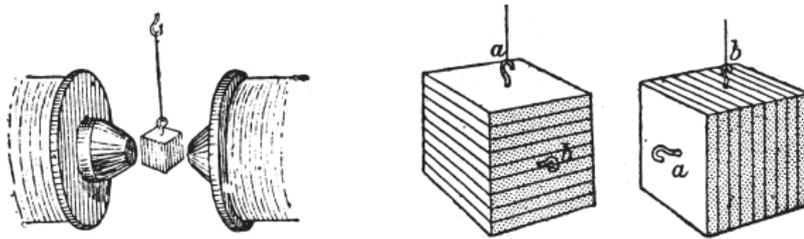
Qual o sentido das correntes elétricas induzidas?



- vários cientistas tentaram responder à esta pergunta (Faraday, Sturgeon, Hertz, Mateucci);
- na montagem de Faraday (esquerda) um cubo de cobre sólido girava rapidamente com o eletroímã desligado. Ao energizar este eletroímã o cubo parava instantaneamente e depois recomeçava a girar numa velocidade bem menor;
- na montagem de Mateucci (direita) este cubo era composto de lâminas isoladas entre si. Se o cubo estivesse suspenso pelo gancho **A** nada acontecia enquanto que ao suspender o cubo pelo gancho **B** o comportamento descrito por Faraday se repetia;

Disco de Arago

Qual o sentido das correntes elétricas induzidas?



- vários cientistas tentaram responder à esta pergunta (Faraday, Sturgeon, Hertz, Mateucci);
- na montagem de Faraday (esquerda) um cubo de cobre sólido girava rapidamente com o eletroímã desligado. Ao energizar este eletroímã o cubo parava instantaneamente e depois recomeçava a girar numa velocidade bem menor;
- na montagem de Mateucci (direita) este cubo era composto de lâminas isoladas entre si. Se o cubo estivesse suspenso pelo gancho **A** nada acontecia enquanto que ao suspender o cubo pelo gancho **B** o comportamento descrito por Faraday se repetia;

Disco de Arago

“Dando nome aos bois” . . . ou “este mundo é injusto”

- Porque as correntes parasitas vieram a ser chamadas de “Correntes de Foucault”?
- Foucault mostrou **mais tarde** que as correntes induzidas eram capazes de esquentar o disco metálico’;
- “Se o mundo fosse justo . . .” tais correntes deveriam se chamar de correntes de Faraday ou correntes de Arago.

(c) 2007, PEA - EPUSP

Autor: Clovis Goldemberg

Direitos autorais liberados, desde
que mantidas as referências acima.

As máquinas
elétricas do século
XIX

Clovis Goldemberg

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC
elementares

Motores de
relutância

Máquinas
dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

Gênese do motor
de indução

Corrente alternada

Niagara Falls

Steinmetz versus
Maxwell

Conclusões

Disco de Arago

“Dando nome aos bois” . . . ou “este mundo é injusto”

- Porque as correntes parasitas vieram a ser chamadas de “Correntes de Foucault”?
- Foucault mostrou **mais tarde** que as correntes induzidas eram capazes de esquentar o disco metálico’;
- “Se o mundo fosse justo . . .” tais correntes deveriam se chamar de correntes de Faraday ou correntes de Arago.

(c) 2007, PEA - EPUSP

Autor: Clovis Goldemberg

Direitos autorais liberados, desde
que mantidas as referências acima.

As máquinas
elétricas do século
XIX

Clovis Goldemberg

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC
elementares

Motores de
relutância

Máquinas
dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

Gênese do motor
de indução

Corrente alternada

Niagara Falls

Steinmetz versus
Maxwell

Conclusões

Disco de Arago

“Dando nome aos bois” . . . ou “este mundo é injusto”

- Porque as correntes parasitas vieram a ser chamadas de “Correntes de Foucault”?
- Foucault mostrou **mais tarde** que as correntes induzidas eram capazes de esquentar o disco metálico’;
- “Se o mundo fosse justo . . .” tais correntes deveriam se chamar de correntes de Faraday ou correntes de Arago.

(c) 2007, PEA - EPUSP

Autor: Clovis Goldemberg

Direitos autorais liberados, desde
que mantidas as referências acima.

As máquinas
elétricas do século
XIX

Clovis Goldemberg

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC
elementares

Motores de
relutância

Máquinas
dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

Gênese do motor
de indução

Corrente alternada

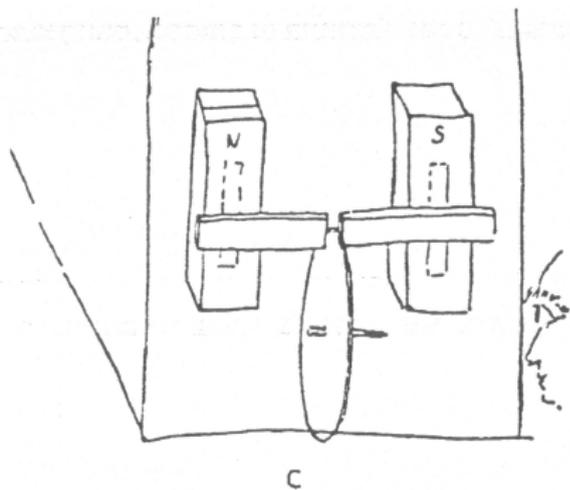
Niagara Falls

Steinmetz versus
Maxwell

Conclusões

Faraday

Ilustração e trecho de seu diário, 28/Outubro/1831:



... eu nunca fui capaz de produzir qualquer sensação na minha língua quando interligava os fios conectados na extremidade do disco giratório com minha língua ... Também não fui capaz de esquentar um fio fino de platina, produzir uma faísca, convulsionar as patas de uma rã. Tampouco consegui produzir nenhum efeito químico associado à eletricidade.

As máquinas
elétricas do século
XIX

Clovis Goldemberg

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC
elementares

Motores de
relutância

Máquinas
dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

Gênese do motor
de indução

Corrente alternada

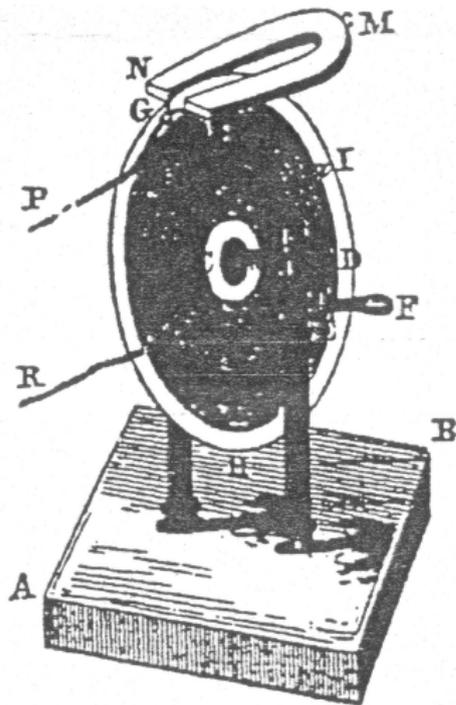
Niagara Falls

Steinmetz versus
Maxwell

Conclusões

Faraday

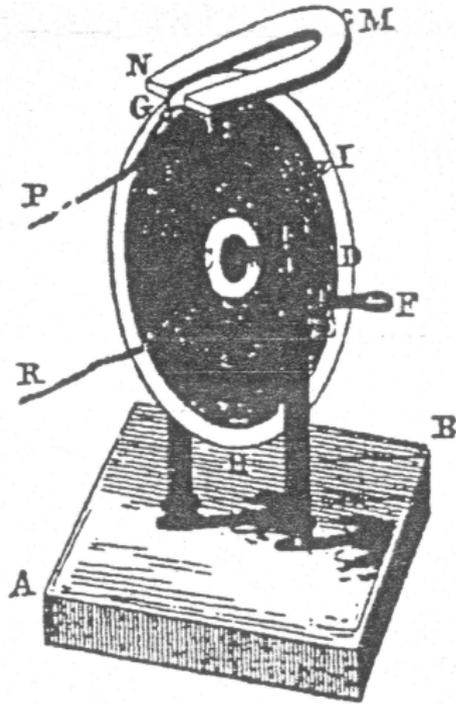
A mesma montagem de Faraday, na forma descrita por Saxton em 1832
A descrição continua sendo dada a partir do diário de Faraday.



- Como extrair parte da “corrente interna” (“hidden current”)?
- Duas tentativas adicionais foram feitas com a intenção de produzir uma **máquina magneto-elétrica**: experimentou discos de cobre de diferentes diâmetros e discos de ferro, sem sucesso.
- Esta foi a primeira menção às **máquinas magneto-elétricas**.
- Faraday só teve sucesso em produzir corrente em 8/Fevereiro/1832 mas o relato oficial é de Maio/1832

Faraday

A mesma montagem de Faraday, na forma descrita por Saxton em 1832
A descrição continua sendo dada a partir do diário de Faraday.



- Como extrair parte da “corrente interna” (“hidden current”)?
- Duas tentativas adicionais foram feitas com a intenção de produzir uma **máquina magneto-elétrica**: experimentou discos de cobre de diferentes diâmetros e discos de ferro, sem sucesso.
- Esta foi a primeira menção às **máquinas magneto-elétricas**.
- Faraday só teve sucesso em produzir corrente em 8/Fevereiro/1832 mas o relato oficial é de Maio/1832

As máquinas elétricas do século XIX

Clovis Goldemberg

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC elementares

Motores de relutância

Máquinas dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

Gênese do motor de indução

Corrente alternada

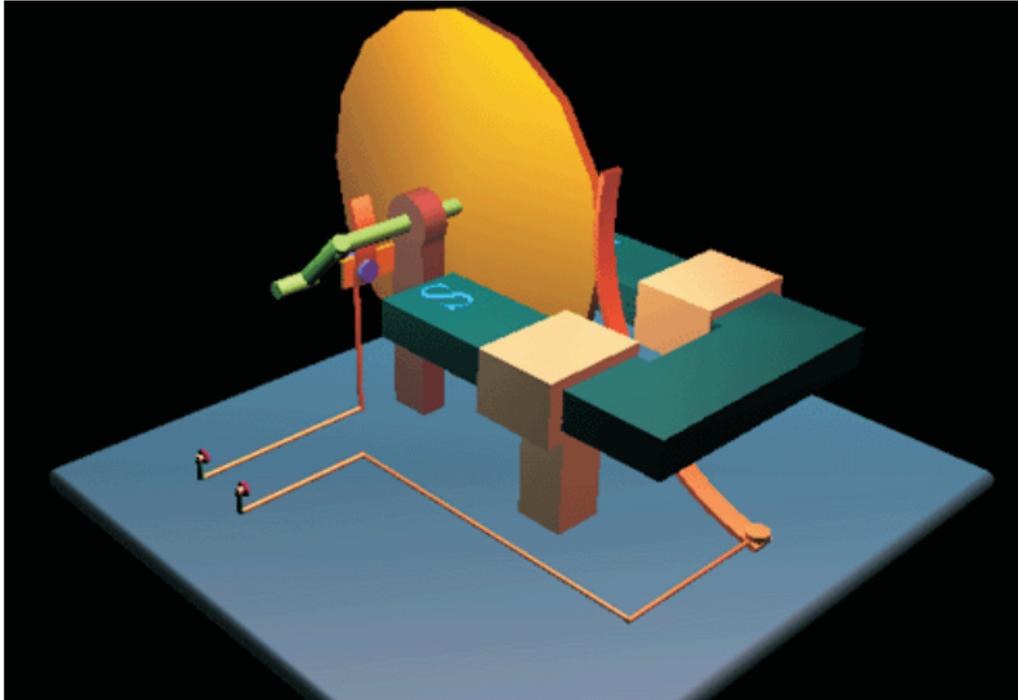
Niagara Falls

Steinmetz versus Maxwell

Conclusões

Faraday

Uma reconstrução moderna (VRML) do disco de Faraday,
feita pela UFRJ/Brasil.



As máquinas
elétricas do século
XIX

Clovis Goldemberg

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC
elementares

Motores de
relutância

Máquinas
dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

Gênese do motor
de indução

Corrente alternada

Niagara Falls

Steinmetz versus
Maxwell

Conclusões

Máquinas DC elementares

Motor desenvolvido por Joseph Henry/EUA em 1831

(c) 2007, PEA - EPUSP
Autor: Clovis Goldemberg

As máquinas
elétricas do século
XIX

Clovis Goldemberg

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC
elementares

Motores de
relutância

Máquinas
dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

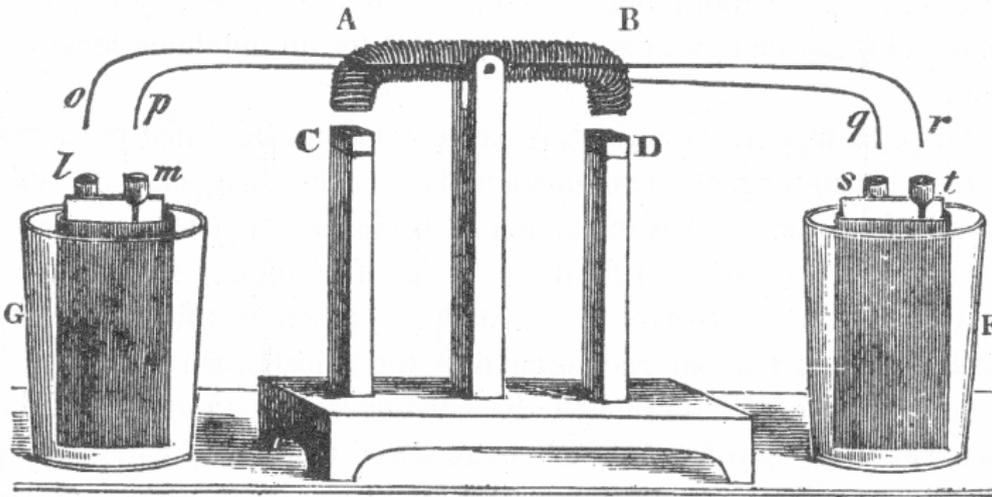
Gênese do motor
de indução

Corrente alternada

Niagara Falls

Steinmetz versus
Maxwell

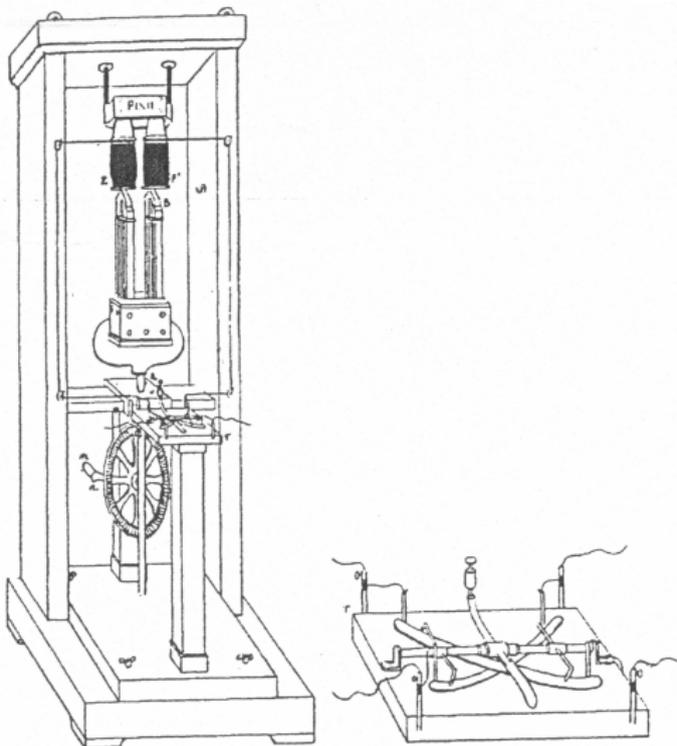
Conclusões



(c) 2007, PEA - EPUSP
Autor: Clovis Goldemberg
Direitos autorais liberados, desde
que mantidas as referências acima.

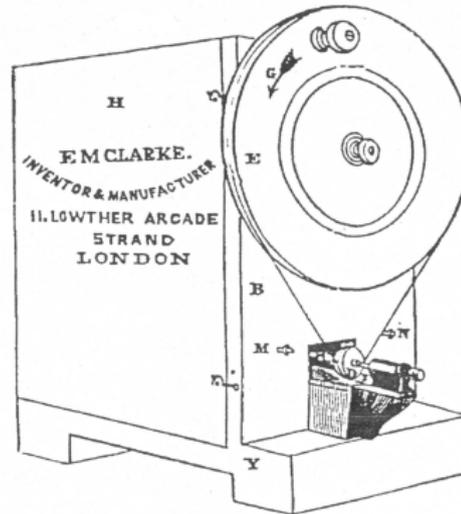
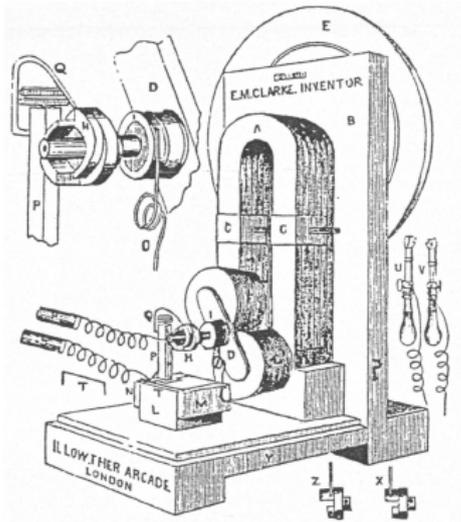
Máquinas DC elementares

Máquina de Pixii (técnico francês), apresentada em 3/Setembro/1832, que inclui um comutador mecânico que “retifica” a tensão AC gerada. Disponível **comercialmente** com ímãs de 4 diferentes intensidades.



Máquinas DC elementares

Clarke, técnico irlandês residente em Londres, 1835.
Esta máquina tomou como base os dispositivos de Pixii.



As máquinas
elétricas do século
XIX

Clovis Goldemberg

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC
elementares

Motores de
relutância

Máquinas
dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

Gênese do motor
de indução

Corrente alternada

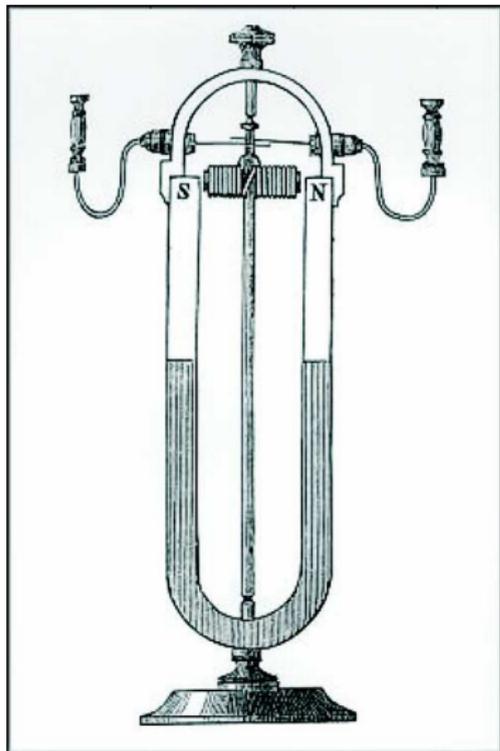
Niagara Falls

Steinmetz versus
Maxwell

Conclusões

Máquinas DC elementares

Charles Grafton Page, físico americano, 1837. Motor DC.



- o campo podia ser feito com ímãs permanentes (como mostra a figura) ou com eletroímãs
- existe um comutador de dois segmentos logo acima do enrolamento de armadura

As máquinas elétricas do século XIX

Clovis Goldemberg

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC elementares

Motores de relutância

Máquinas dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

Gênese do motor de indução

Corrente alternada

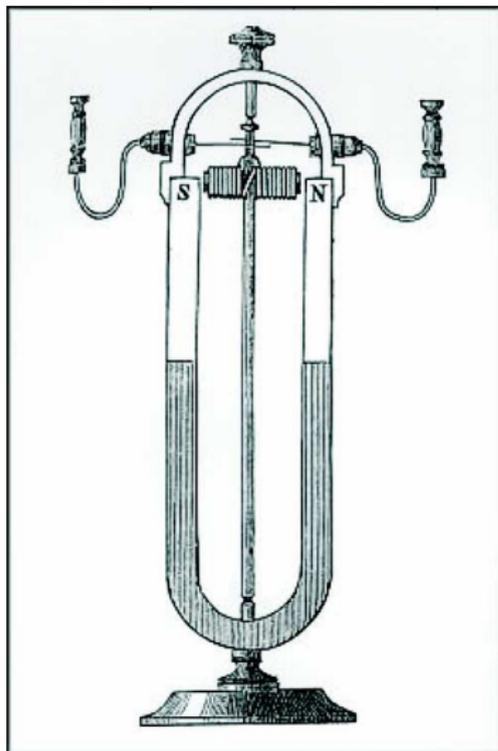
Niagara Falls

Steinmetz versus Maxwell

Conclusões

Máquinas DC elementares

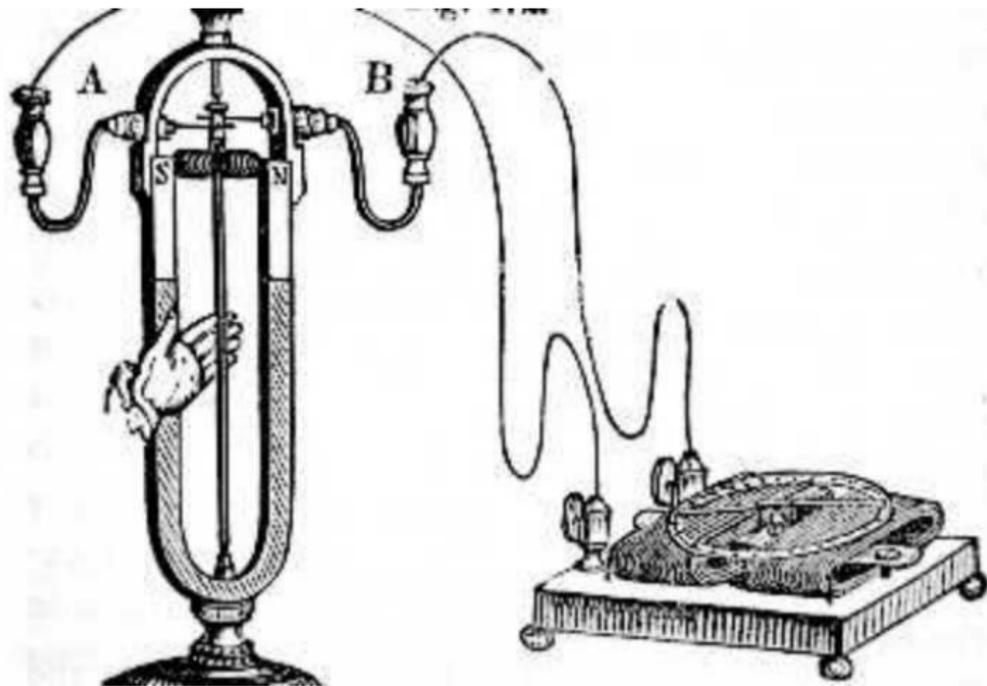
Charles Grafton Page, físico americano, 1837. Motor DC.



- o campo podia ser feito com ímãs permanentes (como mostra a figura) ou com eletroímãs
- existe um comutador de dois segmentos logo acima do enrolamento de armadura

Máquinas DC elementares

Charles Grafton Page, físico americano, 1842. Gerador DC.



As máquinas
elétricas do século
XIX

Clovis Goldemberg

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC
elementares

Motores de
relutância

Máquinas
dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

Gênese do motor
de indução

Corrente alternada

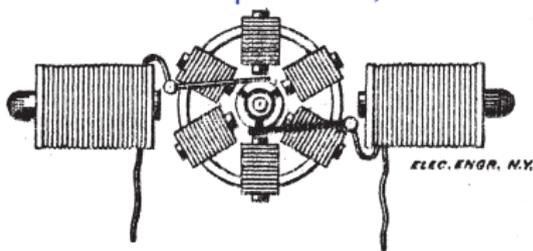
Niagara Falls

Steinmetz versus
Maxwell

Conclusões

Máquinas DC elementares

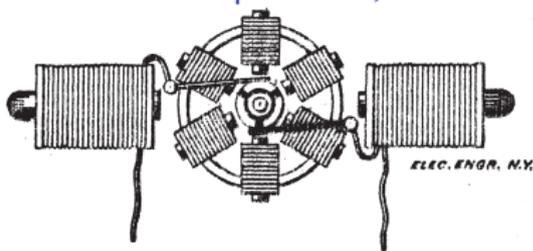
Thomas Davenport/EUA, 1837. Motor DC série.



- Ferreiro sem instrução formal alguma que se interessou por eletromagnetismo em 1833;
- Fascinado pela capacidade de um eletroímã de 3 libras ser capaz de erguer uma massa 150 libras trocou a carruagem, cavalo e mercadorias (do irmão) por este eletroímã. Construiu um segundo eletroímã, mais possante, usando o vestido de seda da esposa como isolante.
- O objetivo era conseguir transformar o movimento linear descontínuo num movimento rotativo contínuo, objetivo alcançado em 1834 com um protótipo de 1/50 CV.
- Solicitou uma patente em 1835 mas ... o Depto. de Patentes pegou fogo, destruindo o protótipo e a documentação;
- Retomou seu pedido de patente que foi concedido em 1837;
- Morreu na miséria em 1851.

Máquinas DC elementares

Thomas Davenport/EUA, 1837. Motor DC série.

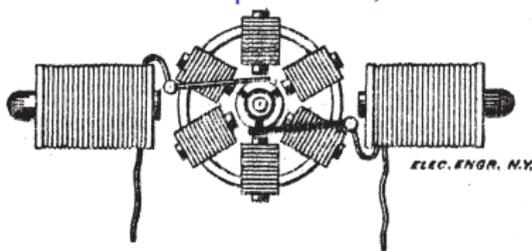


- Ferreiro sem instrução formal alguma que se interessou por eletromagnetismo em 1833;
- Fascinado pela capacidade de um eletroímã de 3 libras ser capaz de erguer uma massa 150 libras trocou a carruagem, cavalo e mercadorias (do irmão) por este eletroímã. Construiu um segundo eletroímã, mais possante, usando o vestido de seda da esposa como isolante.

- O objetivo era conseguir transformar o movimento linear descontínuo num movimento rotativo contínuo, objetivo alcançado em 1834 com um protótipo de 1/50 CV.
- Solicitou uma patente em 1835 mas ... o Depto. de Patentes pegou fogo, destruindo o protótipo e a documentação;
- Retomou seu pedido de patente que foi concedido em 1837;
- Morreu na miséria em 1851.

Máquinas DC elementares

Thomas Davenport/EUA, 1837. Motor DC série.

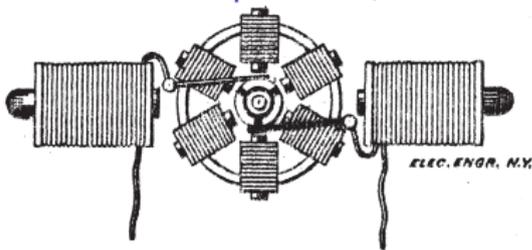


- Ferreiro sem instrução formal alguma que se interessou por eletromagnetismo em 1833;
- Fascinado pela capacidade de um eletroímã de 3 libras ser capaz de erguer uma massa 150 libras trocou a carruagem, cavalo e mercadorias (do irmão) por este eletroímã. Construiu um segundo eletroímã, mais possante, usando o vestido de seda da esposa como isolante.

- O objetivo era conseguir transformar o movimento linear descontínuo num movimento rotativo contínuo, objetivo alcançado em 1834 com um protótipo de 1/50 CV.
- Solicitou uma patente em 1835 mas ... o Depto. de Patentes pegou fogo, destruindo o protótipo e a documentação;
- Retomou seu pedido de patente que foi concedido em 1837;
- Morreu na miséria em 1851.

Máquinas DC elementares

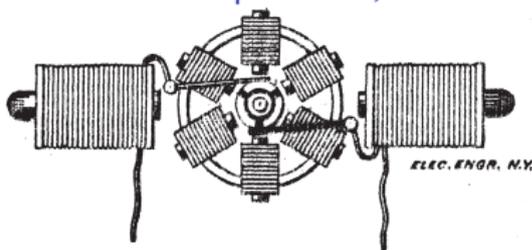
Thomas Davenport/EUA, 1837. Motor DC série.



- Ferreiro sem instrução formal alguma que se interessou por eletromagnetismo em 1833;
- Fascinado pela capacidade de um eletroímã de 3 libras ser capaz de erguer uma massa 150 libras trocou a carruagem, cavalo e mercadorias (do irmão) por este eletroímã. Construiu um segundo eletroímã, mais possante, usando o vestido de seda da esposa como isolante.
- O objetivo era conseguir transformar o movimento linear descontínuo num movimento rotativo contínuo, objetivo alcançado em 1834 com um protótipo de 1/50 CV.
- Solicitou uma patente em 1835 mas ... o Depto. de Patentes pegou fogo, destruindo o protótipo e a documentação;
- Retomou seu pedido de patente que foi concedido em 1837;
- Morreu na miséria em 1851.

Máquinas DC elementares

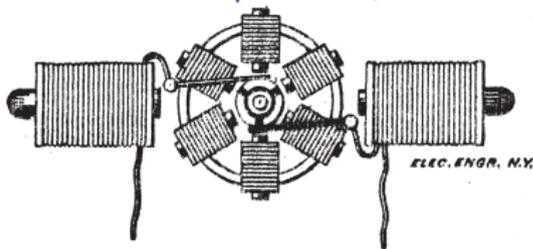
Thomas Davenport/EUA, 1837. Motor DC série.



- Ferreiro sem instrução formal alguma que se interessou por eletromagnetismo em 1833;
- Fascinado pela capacidade de um eletroímã de 3 libras ser capaz de erguer uma massa 150 libras trocou a carruagem, cavalo e mercadorias (do irmão) por este eletroímã. Construiu um segundo eletroímã, mais possante, usando o vestido de seda da esposa como isolante.
- O objetivo era conseguir transformar o movimento linear descontínuo num movimento rotativo contínuo, objetivo alcançado em 1834 com um protótipo de 1/50 CV.
- Solicitou uma patente em 1835 mas ... o Depto. de Patentes pegou fogo, destruindo o protótipo e a documentação;
- Retomou seu pedido de patente que foi concedido em 1837;
- Morreu na miséria em 1851.

Máquinas DC elementares

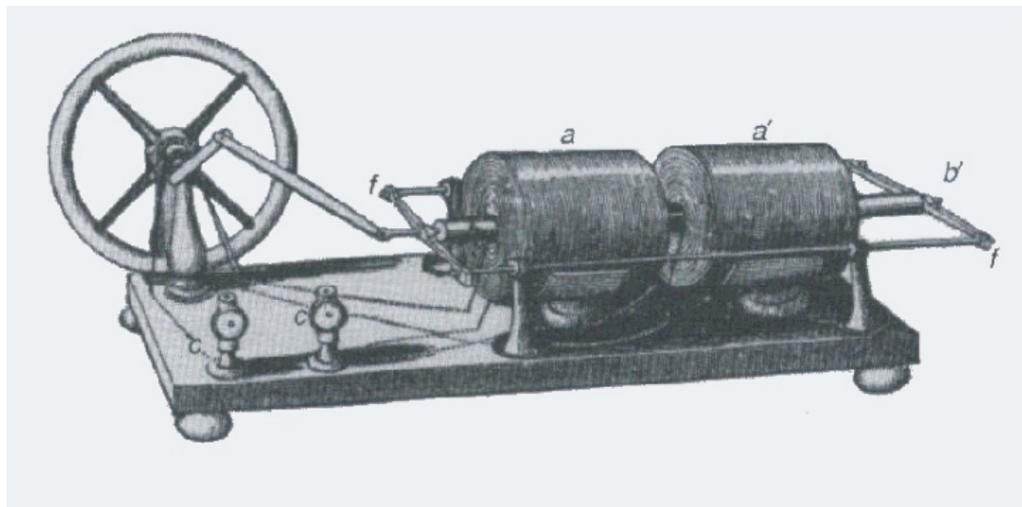
Thomas Davenport/EUA, 1837. Motor DC série.



- Ferreiro sem instrução formal alguma que se interessou por eletromagnetismo em 1833;
- Fascinado pela capacidade de um eletroímã de 3 libras ser capaz de erguer uma massa 150 libras trocou a carruagem, cavalo e mercadorias (do irmão) por este eletroímã. Construiu um segundo eletroímã, mais possante, usando o vestido de seda da esposa como isolante.
- O objetivo era conseguir transformar o movimento linear descontínuo num movimento rotativo contínuo, objetivo alcançado em 1834 com um protótipo de 1/50 CV.
- Solicitou uma patente em 1835 mas ... o Depto. de Patentes pegou fogo, destruindo o protótipo e a documentação;
- Retomou seu pedido de patente que foi concedido em 1837;
- Morreu na miséria em 1851.

Motores de relutância

Charles Grafton Page/EUA - 1844



- o comutador, que corresponde ao sistema de “ignição das bobinas”, não aparece de forma clara na figura
- os “pistões” são acionados alternadamente

As máquinas elétricas do século XIX

Clovis Goldemberg

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC elementares

Motores de relutância

Máquinas dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

Gênese do motor de indução

Corrente alternada

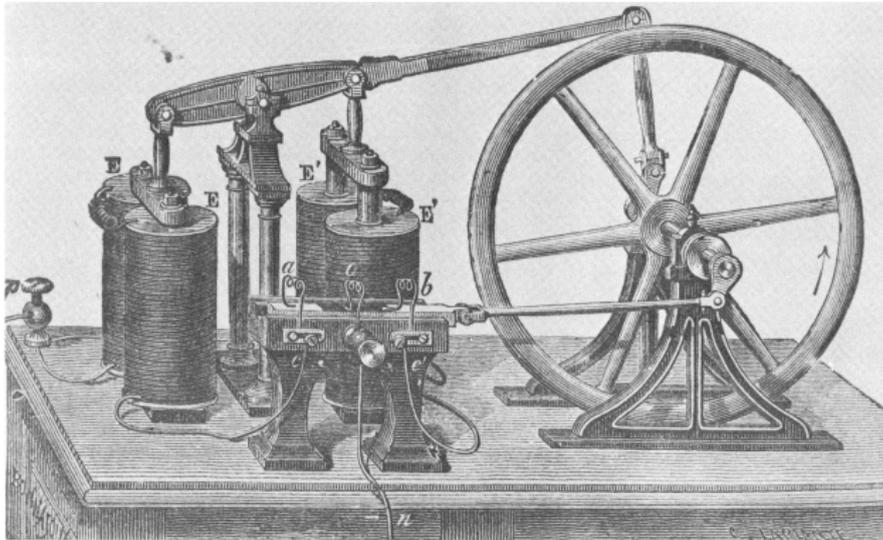
Niagara Falls

Steinmetz versus Maxwell

Conclusões

Motores de relutância

Bourbrouze/França - Data indeterminada



- inspirado nas máquinas a vapor, com 2 “pistões”
- o próprio virabrequim (lado direito) aciona o “sistema de ignição” (o comutador) das bobinas

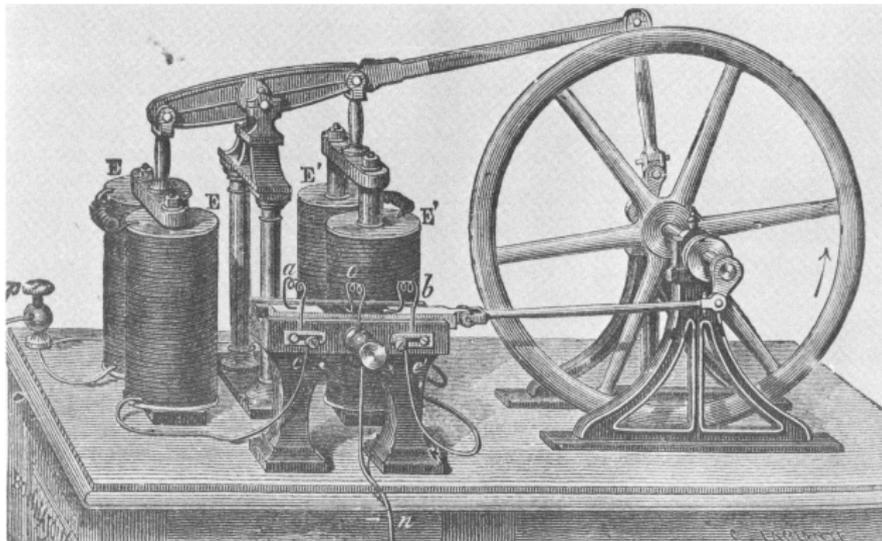
Motores de relutância

Bourbrouze/França - Data indeterminada

(c) 2007, PEA - EPUSP
Autor: Clovis Goldemberg

As máquinas
elétricas do século
XIX

Clovis Goldemberg



- inspirado nas máquinas a vapor, com 2 “pistões”
- o próprio virabrequim (lado direito) aciona o “sistema de ignição” (o comutador) das bobinas

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC
elementares

Motores de
relutância

Máquinas
dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

Gênese do motor
de indução

Corrente alternada

Niagara Falls

Steinmetz versus
Maxwell

Conclusões

Motores de relutância

Allan/Inglaterra - 1852 - “An engine should look like an engine”

(c) 2007, PEA - EPUSP
Autor: Clovis Goldemberg

As máquinas
elétricas do século
XIX

Clovis Goldemberg

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC
elementares

Motores de
relutância

Máquinas
dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

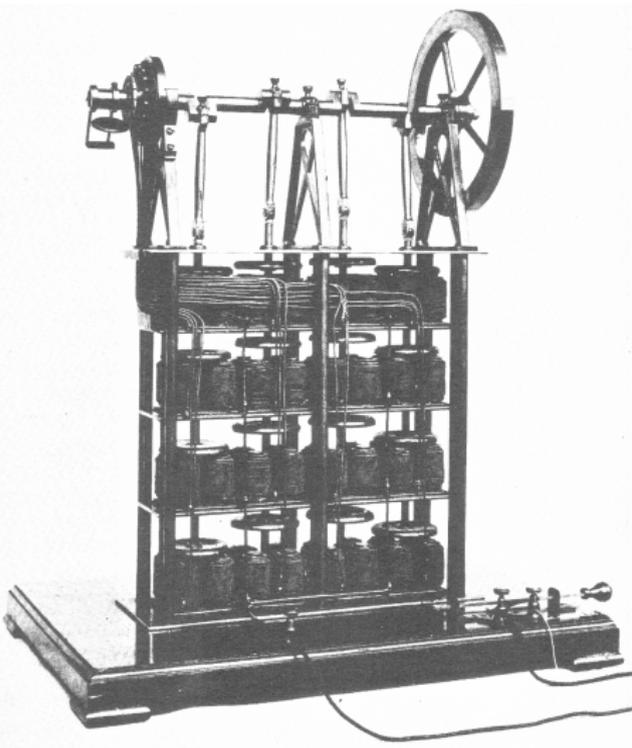
Gênese do motor
de indução

Corrente alternada

Niagara Falls

Steinmetz versus
Maxwell

Conclusões



- motor de 4 “cilindros”
- grupos de 3 eletroímãs atuando em conjunto
- virabrequim na parte superior

Motores de relutância

Allan/Inglaterra - 1852 - "An engine should look like an engine"

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC
elementares

Motores de
relutância

Máquinas
dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

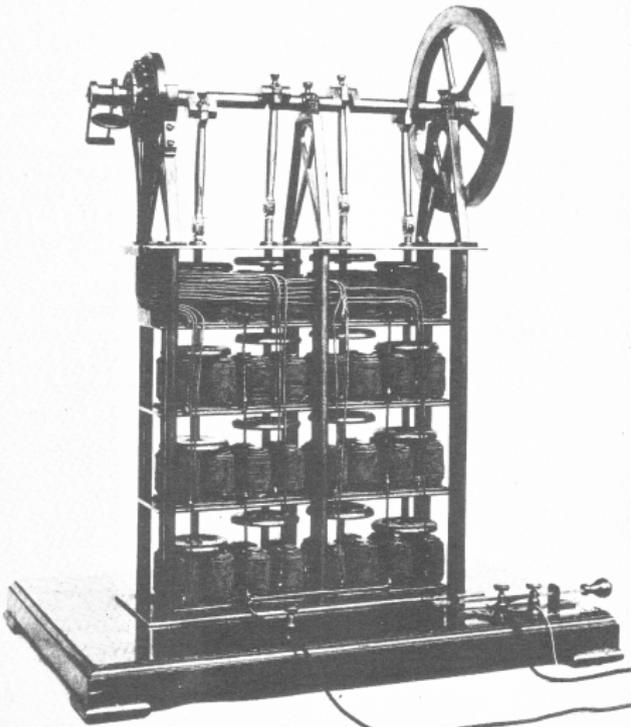
Gênese do motor
de indução

Corrente alternada

Niagara Falls

Steinmetz versus
Maxwell

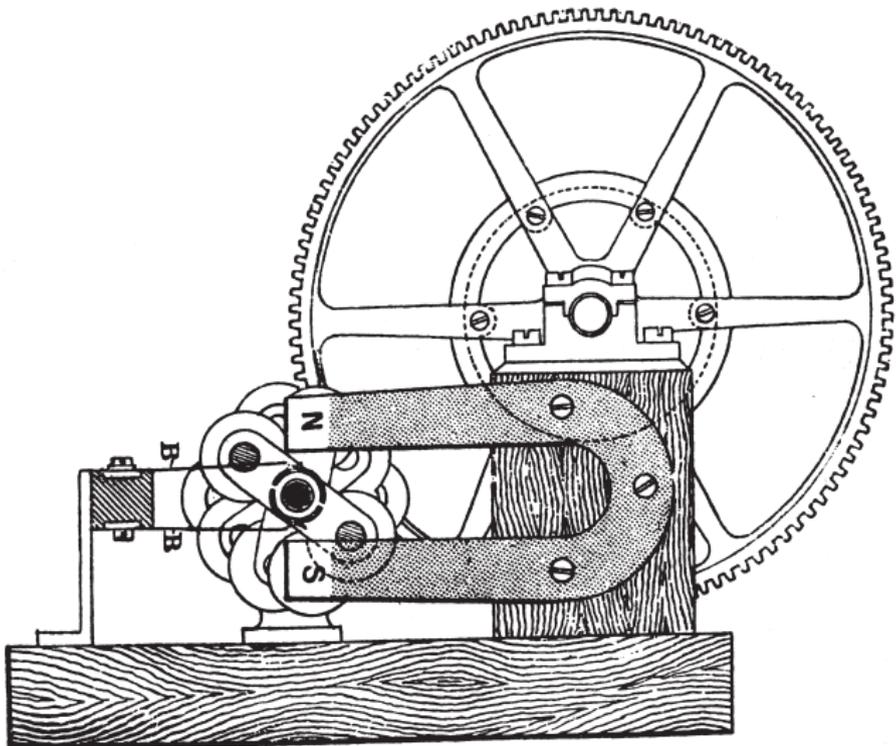
Conclusões



- motor de 4 "cilindros"
- grupos de 3 eletroímãs atuando em conjunto
- virabrequim na parte superior

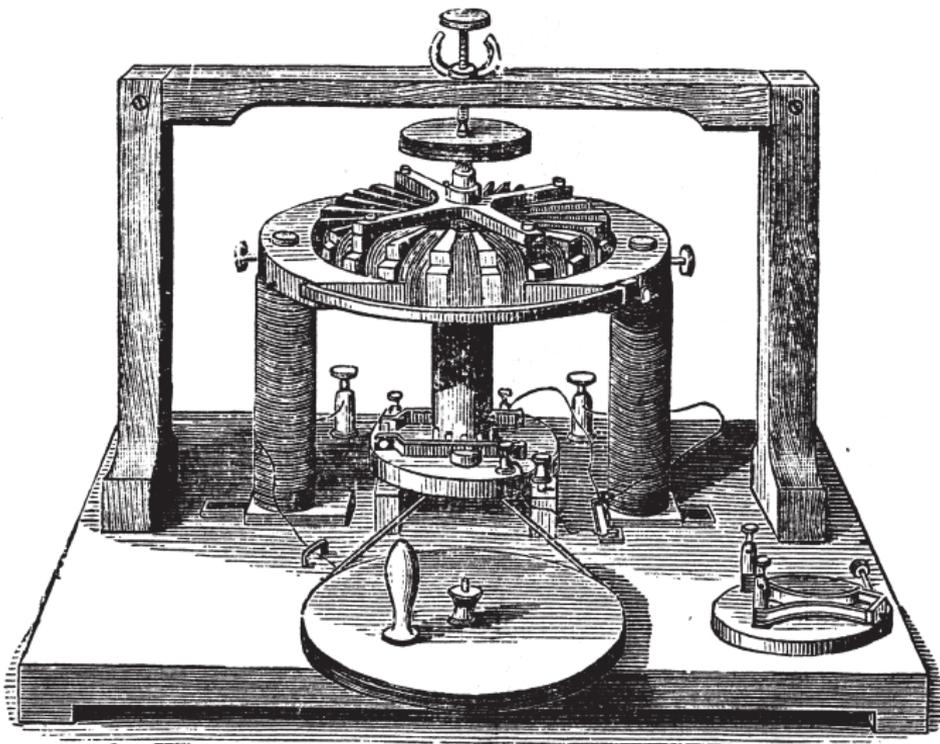
Máquinas dínamo-elétricas

A denominação de máquinas dínamo-elétricas (ou de forma abreviada dínamo) abrange um enorme número de máquinas desenvolvidas ao longo do século XIX. Wheatstone, Inglaterra, 1845.



Máquinas dínamo-elétricas

Pacinotti, Itália, 1860. Aparentemente já se sabia que poderia funcionar tanto como motor quanto gerador. Ou seja, as baterias não eram mais a única fonte de energia disponível!



As máquinas
elétricas do século
XIX

Clovis Goldemberg

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC
elementares

Motores de
relutância

Máquinas
dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

Gênese do motor
de indução

Corrente alternada

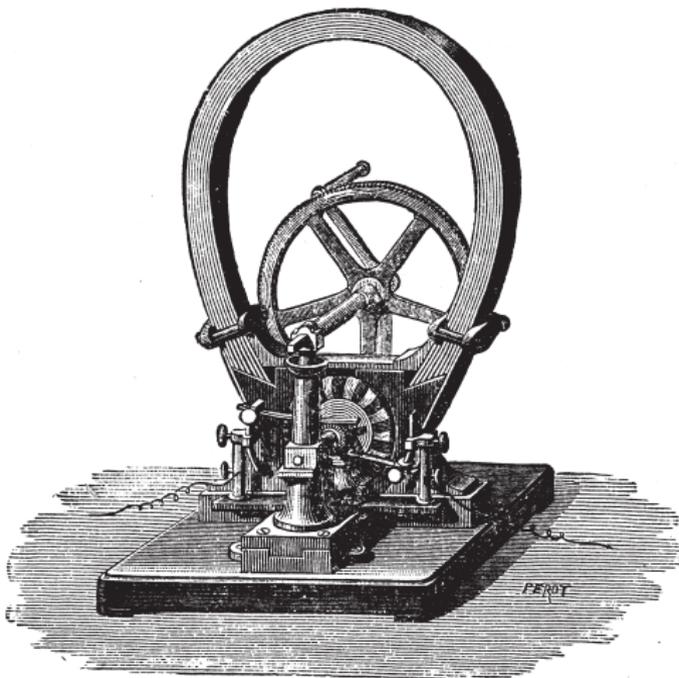
Niagara Falls

Steinmetz versus
Maxwell

Conclusões

Máquinas dínamo-elétricas

Máquina de Gramme, França, 1871. O fluxo é produzido por chapas de ferro previamente magnetizadas, sendo capaz de produzir até 2 Volts. A idéia de usar um eletroímã (um enrolamento de campo) foi apresentada em 1872.



As máquinas
elétricas do século
XIX

Clovis Goldemberg

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC
elementares

Motores de
relutância

Máquinas
dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

Gênese do motor
de indução

Corrente alternada

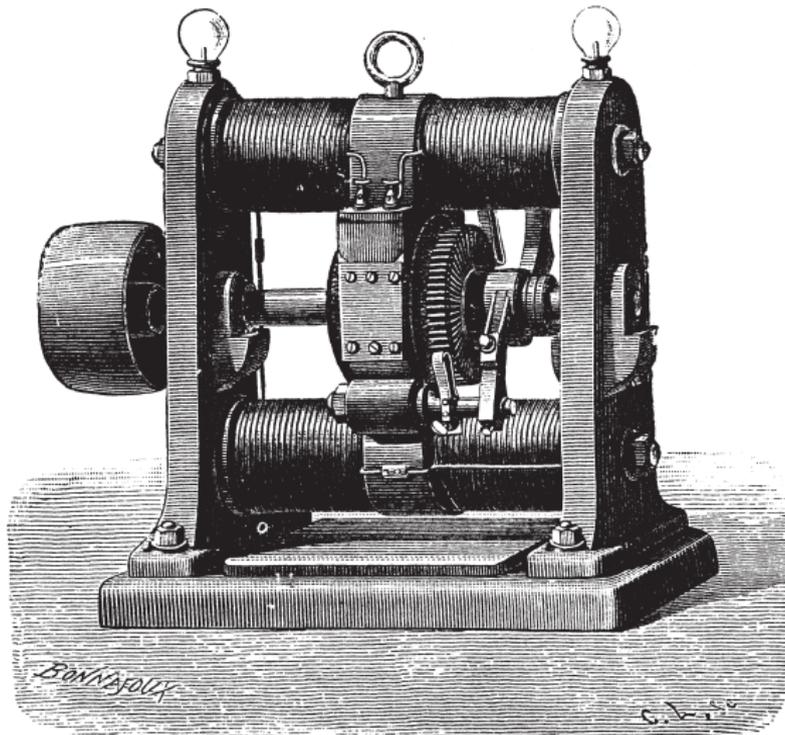
Niagara Falls

Steinmetz versus
Maxwell

Conclusões

Máquinas dínamo-elétricas

Gramme/França, 1871. Máquina do tipo “A” fabricada comercialmente.



As máquinas
elétricas do século
XIX

Clovis Goldemberg

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC
elementares

Motores de
relutância

Máquinas
dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

Gênese do motor
de indução

Corrente alternada

Niagara Falls

Steinmetz versus
Maxwell

Conclusões

Máquinas dínamo-elétricas

Werner Von Siemens - 1813/1891

- 1847 - Inventou um método para isolar condutores elétricos usando “gutta-percha” (latex)
- 1847 - Fundou a empresa Siemens & Halske, que fabricava equipamentos telegráficos
- 1866 - Primeiros trabalhos com dínamos
- 1867 - Escreveu um tratado sobre “A conversão de potência mecânica em corrente elétrica sem o uso de ímãs permanentes”
- 1881 - Defende o estabelecimento de cursos de engenharia elétrica

As máquinas
elétricas do século
XIX

Clovis Goldemberg

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC
elementares

Motores de
relutância

Máquinas
dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

Gênese do motor
de indução

Corrente alternada

Niagara Falls

Steinmetz versus
Maxwell

Conclusões

(c) 2007, PEA - EPUSP

Autor: Clovis Goldemberg

Direitos autorais liberados, desde
que mantidas as referências acima.

Máquinas dínamo-elétricas

Werner Von Siemens - 1813/1891

- 1847 - Inventou um método para isolar condutores elétricos usando “gutta-percha” (latex)
- 1847 - Fundou a empresa Siemens & Halske, que fabricava equipamentos telegráficos
- 1866 - Primeiros trabalhos com dínamos
- 1867 - Escreveu um tratado sobre “A conversão de potência mecânica em corrente elétrica sem o uso de ímãs permanentes”
- 1881 - Defende o estabelecimento de cursos de engenharia elétrica

As máquinas
elétricas do século
XIX

Clovis Goldemberg

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC
elementares

Motores de
relutância

Máquinas
dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

Gênese do motor
de indução

Corrente alternada

Niagara Falls

Steinmetz versus
Maxwell

Conclusões

(c) 2007, PEA - EPUSP

Autor: Clovis Goldemberg

Direitos autorais liberados, desde
que mantidas as referências acima.

Máquinas dínamo-elétricas

Werner Von Siemens - 1813/1891

- 1847 - Inventou um método para isolar condutores elétricos usando “gutta-percha” (latex)
- 1847 - Fundou a empresa Siemens & Halske, que fabricava equipamentos telegráficos
- 1866 - Primeiros trabalhos com dínamos
- 1867 - Escreveu um tratado sobre “A conversão de potência mecânica em corrente elétrica sem o uso de ímãs permanentes”
- 1881 - Defende o estabelecimento de cursos de engenharia elétrica

(c) 2007, PEA - EPUSP

Autor: Clovis Goldemberg

Direitos autorais liberados, desde que mantidas as referências acima.

As máquinas
elétricas do século
XIX

Clovis Goldemberg

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC
elementares

Motores de
relutância

Máquinas
dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

Gênese do motor
de indução

Corrente alternada

Niagara Falls

Steinmetz versus
Maxwell

Conclusões

Máquinas dínamo-elétricas

Werner Von Siemens - 1813/1891

- 1847 - Inventou um método para isolar condutores elétricos usando “gutta-percha” (latex)
- 1847 - Fundou a empresa Siemens & Halske, que fabricava equipamentos telegráficos
- 1866 - Primeiros trabalhos com dínamos
- 1867 - Escreveu um tratado sobre “A conversão de potência mecânica em corrente elétrica sem o uso de ímãs permanentes”
- 1881 - Defende o estabelecimento de cursos de engenharia elétrica

(c) 2007, PEA - EPUSP

Autor: Clovis Goldemberg

Direitos autorais liberados, desde que mantidas as referências acima.

As máquinas
elétricas do século
XIX

Clovis Goldemberg

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC
elementares

Motores de
relutância

Máquinas
dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

Gênese do motor
de indução

Corrente alternada

Niagara Falls

Steinmetz versus
Maxwell

Conclusões

Máquinas dínamo-elétricas

Werner Von Siemens - 1813/1891

- 1847 - Inventou um método para isolar condutores elétricos usando “gutta-percha” (latex)
- 1847 - Fundou a empresa Siemens & Halske, que fabricava equipamentos telegráficos
- 1866 - Primeiros trabalhos com dínamos
- 1867 - Escreveu um tratado sobre “A conversão de potência mecânica em corrente elétrica sem o uso de ímãs permanentes”
- 1881 - Defende o estabelecimento de cursos de engenharia elétrica

As máquinas
elétricas do século
XIX

Clovis Goldemberg

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC
elementares

Motores de
relutância

Máquinas
dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

Gênese do motor
de indução

Corrente alternada

Niagara Falls

Steinmetz versus
Maxwell

Conclusões

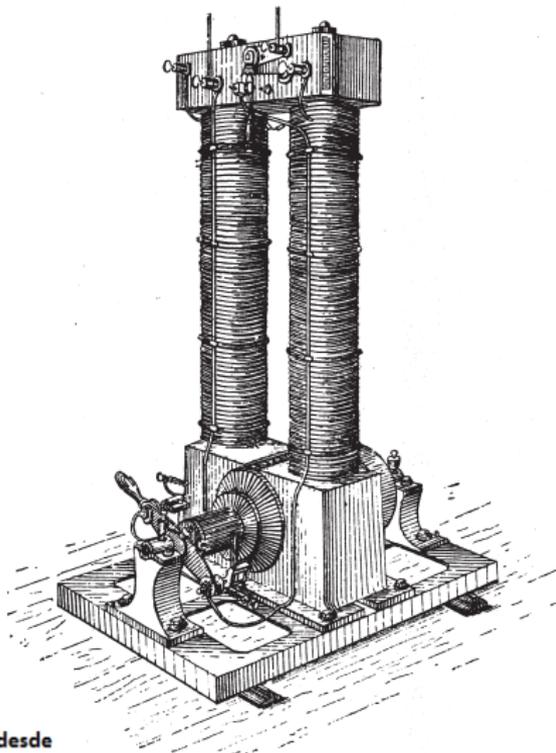
(c) 2007, PEA - EPUSP

Autor: Clovis Goldemberg

Direitos autorais liberados, desde
que mantidas as referências acima.

Máquinas dínamo-elétricas

Edison/EUA, 1881. Modelo "Z", para acionamento de 60 lâmpadas (aproximadamente 2 kW), cujo rendimento era de 58.7 %. O campo era feito em colunas longas e finas.



(c) 2007, PEA - EPUSP

Autor: Clovis Goldemberg

Direitos autorais liberados, desde que mantidas as referências acima.

As máquinas
elétricas do século
XIX

Clovis Goldemberg

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC
elementares

Motores de
relutância

Máquinas
dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

Gênese do motor
de indução

Corrente alternada

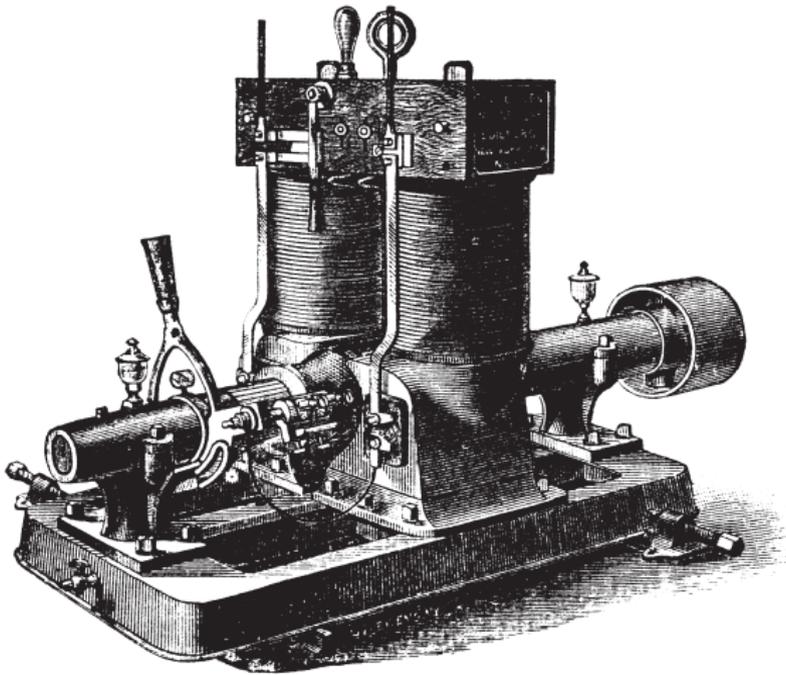
Niagara Falls

Steinmetz versus
Maxwell

Conclusões

Máquinas dínamo-elétricas

Edison/EUA, 1888. Este modelo utiliza colunas mais curtas e mais grossas. Na exposição de Paris em 1889 existiam dínamos similares de 2.5 kW com 38 cm de altura. Também foi apresentado um dínamo de 150 kW, com 2.60 m de altura, pesando 12700 kg.



As máquinas
elétricas do século
XIX

Clovis Goldemberg

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC
elementares

Motores de
relutância

Máquinas
dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

Gênese do motor
de indução

Corrente alternada

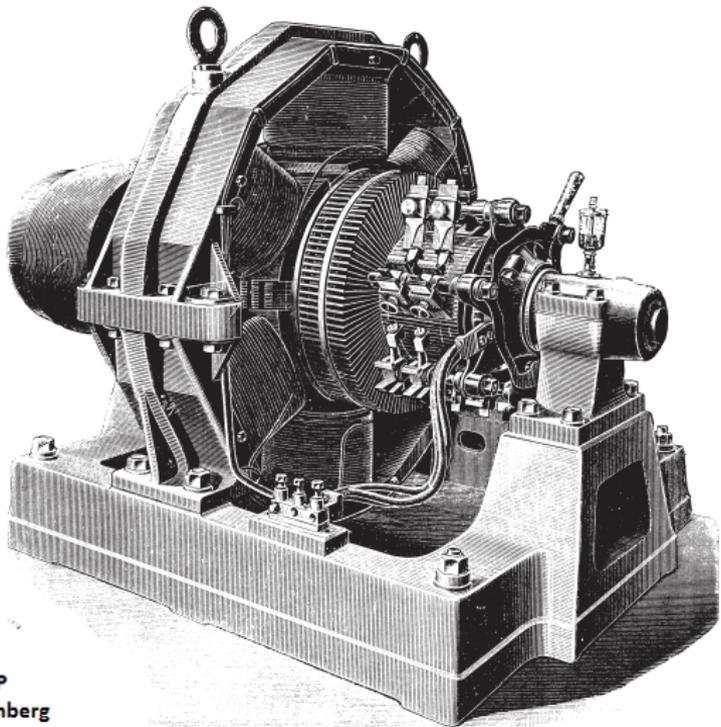
Niagara Falls

Steinmetz versus
Maxwell

Conclusões

Máquinas dínamo-elétricas

Kapp, Alemanha, 1888-89 ?. Máquina de 6 polos com potência de 60 kW. Um modelo de 8 polos, com potência de 134 kW foi apresentado na Exposição de Paris em 1889.



(c) 2007, PEA - EPUSP

Autor: Clovis Goldemberg

Direitos autorais liberados, desde
que mantidas as referências acima.

As máquinas
elétricas do século
XIX

Clovis Goldemberg

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC
elementares

Motores de
relutância

Máquinas
dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

Gênese do motor
de indução

Corrente alternada

Niagara Falls

Steinmetz versus
Maxwell

Conclusões

Máquinas dínamo-elétricas

Brown, Alemanha, 1889. Esta máquina de 4 polos foi apresentada na Exposição de Paris em 1889. Sua potência era 170 kW e tinha quase 2 metros de altura, pesando 15700 kg.

As máquinas elétricas do século XIX

Clovis Goldemberg

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC elementares

Motores de relutância

Máquinas dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

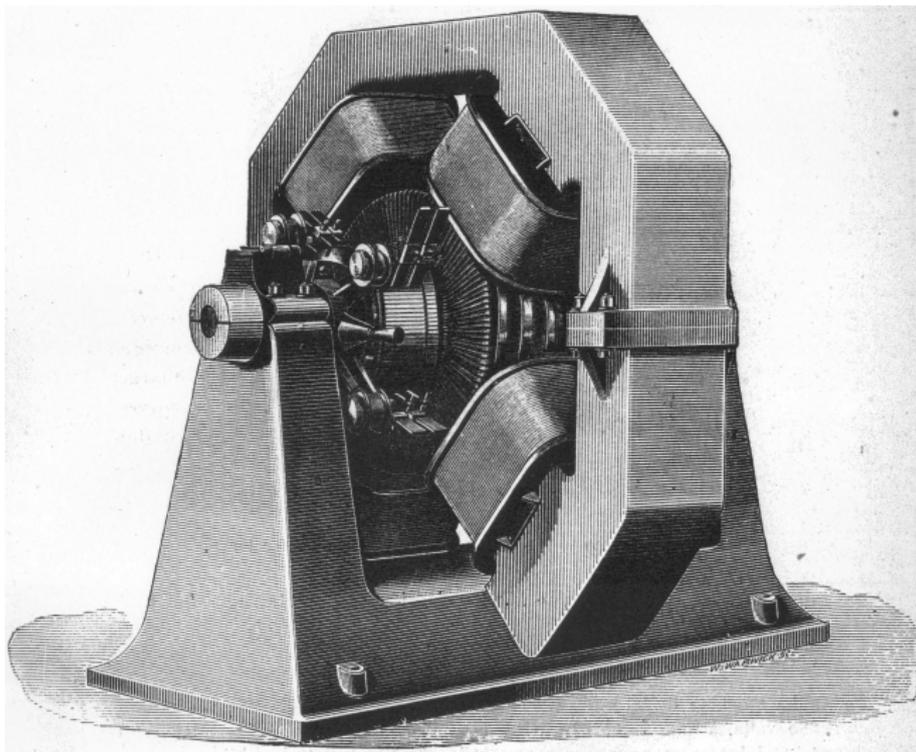
Gênese do motor de indução

Corrente alternada

Niagara Falls

Steinmetz versus Maxwell

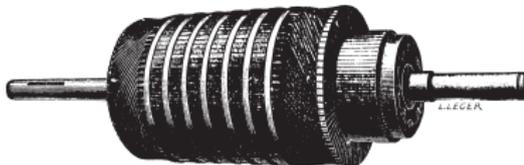
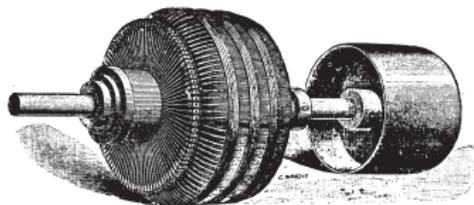
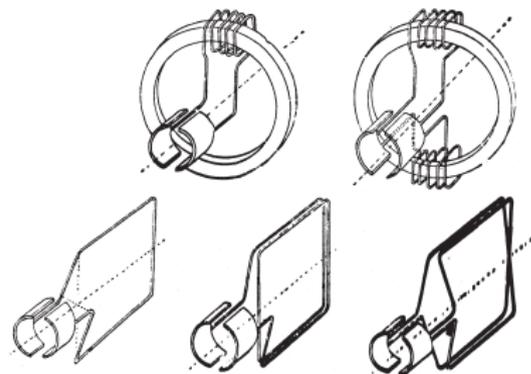
Conclusões



Máquinas dínamo-elétricas

Enrolamentos de armadura - Anel ou tambor?

Enrolamentos alojados na superfície ou em ranhuras?



As máquinas
elétricas do século
XIX

Clovis Goldemberg

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC
elementares

Motores de
relutância

Máquinas
dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

Gênese do motor
de indução

Corrente alternada

Niagara Falls

Steinmetz versus
Maxwell

Conclusões

(c) 2007, PEA - EPUSP

Autor: Clovis Goldemberg

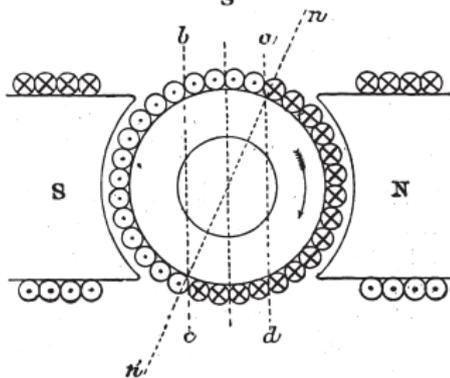
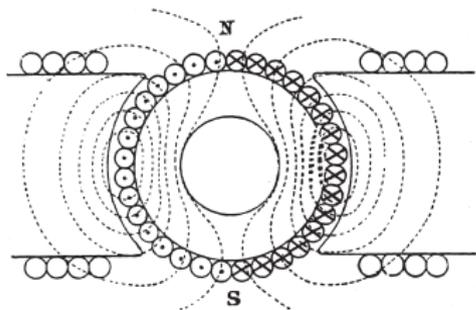
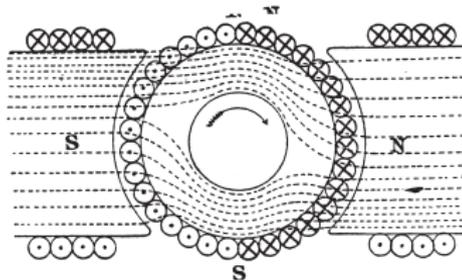
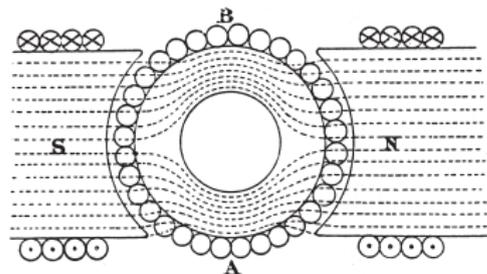
Direitos autorais liberados, desde
que mantidas as referências acima.

Máquinas dínamo-elétricas

Análise da reação de armadura

Machines Dynamo-Électriques

Silvanus Thompson, 1894



(c) 2007, PEA - EPUSP

Autor: Clovis Goldemberg

Direitos autorais liberados, desde
que mantidas as referências acima.

As máquinas
elétricas do século
XIX

Clovis Goldemberg

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC
elementares

Motores de
relutância

Máquinas
dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

Gênese do motor
de indução

Corrente alternada

Niagara Falls

Steinmetz versus
Maxwell

Conclusões

Máquinas dínamo-elétricas

Problemas tecnológicos ao final do século XIX:

- número de polos
- tipo de excitação (série, shunt, compound)
- tensão, corrente e potência nominal
- construção do enrolamento de armadura
- circuito laminado/maciço
- comutador
- eficiência
- refrigeração
- faíscamento do comutador (não existe interpolo)
- posicionamento das escovas
- volume e peso

(c) 2007, PEA - EPUSP

Autor: Clovis Goldemberg

Direitos autorais liberados, desde
que mantidas as referências acima.

As máquinas
elétricas do século
XIX

Clovis Goldemberg

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC
elementares

Motores de
relutância

Máquinas
dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

Gênese do motor
de indução

Corrente alternada

Niagara Falls

Steinmetz versus
Maxwell

Conclusões

Máquinas dínamo-elétricas

Problemas tecnológicos ao final do século XIX:

- número de polos
- tipo de excitação (série, shunt, compound)
- tensão, corrente e potência nominal
- contrução do enrolamento de armadura
- circuito laminado/maciço
- comutador
- eficiência
- refrigeração
- faíscamento do comutador (não existe interpolo)
- posicionamento das escovas
- volume e peso

(c) 2007, PEA - EPUSP

Autor: Clovis Goldemberg

Direitos autorais liberados, desde
que mantidas as referências acima.

As máquinas
elétricas do século
XIX

Clovis Goldemberg

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC
elementares

Motores de
relutância

Máquinas
dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

Gênese do motor
de indução

Corrente alternada

Niagara Falls

Steinmetz versus
Maxwell

Conclusões

Máquinas dínamo-elétricas

Problemas tecnológicos ao final do século XIX:

- número de polos
- tipo de excitação (série, shunt, compound)
- tensão, corrente e potência nominal
- contrução do enrolamento de armadura
- circuito laminado/maciço
- comutador
- eficiência
- refrigeração
- faíscamento do comutador (não existe interpolo)
- posicionamento das escovas
- volume e peso

(c) 2007, PEA - EPUSP

Autor: Clovis Goldemberg

Direitos autorais liberados, desde
que mantidas as referências acima.

As máquinas
elétricas do século
XIX

Clovis Goldemberg

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC
elementares

Motores de
relutância

Máquinas
dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

Gênese do motor
de indução

Corrente alternada

Niagara Falls

Steinmetz versus
Maxwell

Conclusões

Máquinas dínamo-elétricas

Problemas tecnológicos ao final do século XIX:

- número de polos
- tipo de excitação (série, shunt, compound)
- tensão, corrente e potência nominal
- contrução do enrolamento de armadura
- circuito laminado/maciço
- comutador
- eficiência
- refrigeração
- faíscamento do comutador (não existe interpolo)
- posicionamento das escovas
- volume e peso

(c) 2007, PEA - EPUSP

Autor: Clovis Goldemberg

Direitos autorais liberados, desde
que mantidas as referências acima.

As máquinas
elétricas do século
XIX

Clovis Goldemberg

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC
elementares

Motores de
relutância

Máquinas
dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

Gênese do motor
de indução

Corrente alternada

Niagara Falls

Steinmetz versus
Maxwell

Conclusões

Máquinas dínamo-elétricas

Problemas tecnológicos ao final do século XIX:

- número de polos
- tipo de excitação (série, shunt, compound)
- tensão, corrente e potência nominal
- construção do enrolamento de armadura
- circuito laminado/maciço
- comutador
- eficiência
- refrigeração
- faíscamento do comutador (não existe interpolo)
- posicionamento das escovas
- volume e peso

As máquinas
elétricas do século
XIX

Clovis Goldemberg

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC
elementares

Motores de
relutância

Máquinas
dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

Gênese do motor
de indução

Corrente alternada

Niagara Falls

Steinmetz versus
Maxwell

Conclusões

(c) 2007, PEA - EPUSP

Autor: Clovis Goldemberg

Direitos autorais liberados, desde
que mantidas as referências acima.

Máquinas dínamo-elétricas

Problemas tecnológicos ao final do século XIX:

- número de polos
- tipo de excitação (série, shunt, compound)
- tensão, corrente e potência nominal
- construção do enrolamento de armadura
- circuito laminado/maciço
- comutador
- eficiência
- refrigeração
- faíscamento do comutador (não existe interpolo)
- posicionamento das escovas
- volume e peso

(c) 2007, PEA - EPUSP

Autor: Clovis Goldemberg

Direitos autorais liberados, desde
que mantidas as referências acima.

As máquinas
elétricas do século
XIX

Clovis Goldemberg

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC
elementares

Motores de
relutância

Máquinas
dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

Gênese do motor
de indução

Corrente alternada

Niagara Falls

Steinmetz versus
Maxwell

Conclusões

Máquinas dínamo-elétricas

Problemas tecnológicos ao final do século XIX:

- número de polos
- tipo de excitação (série, shunt, compound)
- tensão, corrente e potência nominal
- construção do enrolamento de armadura
- circuito laminado/maciço
- comutador
- eficiência
- refrigeração
- faíscamento do comutador (não existe interpolo)
- posicionamento das escovas
- volume e peso

(c) 2007, PEA - EPUSP

Autor: Clovis Goldemberg

Direitos autorais liberados, desde
que mantidas as referências acima.

As máquinas
elétricas do século
XIX

Clovis Goldemberg

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC
elementares

Motores de
relutância

Máquinas
dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

Gênese do motor
de indução

Corrente alternada

Niagara Falls

Steinmetz versus
Maxwell

Conclusões

Máquinas dínamo-elétricas

Problemas tecnológicos ao final do século XIX:

- número de polos
- tipo de excitação (série, shunt, compound)
- tensão, corrente e potência nominal
- construção do enrolamento de armadura
- circuito laminado/maciço
- comutador
- eficiência
- refrigeração
- faíscamento do comutador (não existe interpolo)
- posicionamento das escovas
- volume e peso

(c) 2007, PEA - EPUSP

Autor: Clovis Goldemberg

Direitos autorais liberados, desde
que mantidas as referências acima.

As máquinas
elétricas do século
XIX

Clovis Goldemberg

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC
elementares

Motores de
relutância

Máquinas
dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

Gênese do motor
de indução

Corrente alternada

Niagara Falls

Steinmetz versus
Maxwell

Conclusões

Máquinas dínamo-elétricas

Problemas tecnológicos ao final do século XIX:

- número de polos
- tipo de excitação (série, shunt, compound)
- tensão, corrente e potência nominal
- contrução do enrolamento de armadura
- circuito laminado/maciço
- comutador
- eficiência
- refrigeração
- faíscamento do comutador (não existe interpolo)
- posicionamento das escovas
- volume e peso

(c) 2007, PEA - EPUSP

Autor: Clovis Goldemberg

Direitos autorais liberados, desde
que mantidas as referências acima.

As máquinas
elétricas do século
XIX

Clovis Goldemberg

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC
elementares

Motores de
relutância

Máquinas
dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

Gênese do motor
de indução

Corrente alternada

Niagara Falls

Steinmetz versus
Maxwell

Conclusões

Máquinas dínamo-elétricas

Problemas tecnológicos ao final do século XIX:

- número de polos
- tipo de excitação (série, shunt, compound)
- tensão, corrente e potência nominal
- construção do enrolamento de armadura
- circuito laminado/maciço
- comutador
- eficiência
- refrigeração
- faíscamento do comutador (não existe interpolo)
- posicionamento das escovas
- volume e peso

(c) 2007, PEA - EPUSP

Autor: Clovis Goldemberg

Direitos autorais liberados, desde
que mantidas as referências acima.

As máquinas
elétricas do século
XIX

Clovis Goldemberg

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC
elementares

Motores de
relutância

Máquinas
dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

Gênese do motor
de indução

Corrente alternada

Niagara Falls

Steinmetz versus
Maxwell

Conclusões

Máquinas dínamo-elétricas

Problemas tecnológicos ao final do século XIX:

- número de polos
- tipo de excitação (série, shunt, compound)
- tensão, corrente e potência nominal
- construção do enrolamento de armadura
- circuito laminado/maciço
- comutador
- eficiência
- refrigeração
- faíscamento do comutador (não existe interpolo)
- posicionamento das escovas
- volume e peso

(c) 2007, PEA - EPUSP

Autor: Clovis Goldemberg

Direitos autorais liberados, desde
que mantidas as referências acima.

As máquinas
elétricas do século
XIX

Clovis Goldemberg

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC
elementares

Motores de
relutância

Máquinas
dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

Gênese do motor
de indução

Corrente alternada

Niagara Falls

Steinmetz versus
Maxwell

Conclusões

Máquinas dínamo-elétricas

Controle de velocidade, 1896

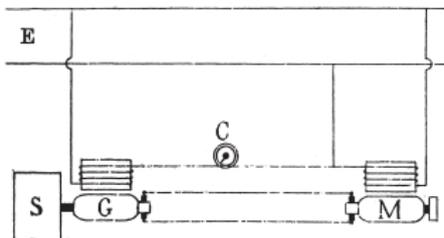
VOLTS VS. OHMS. SPEED REGULATION OF ELECTRIC MOTORS.

BY H. WARD LEONARD.

The control of the speed of an electric motor from a state of rest to that of full speed is a problem of rapidly growing importance to the electrical engineer. The operation by means of electric motors, of elevators, locomotives, printing presses, traveling cranes, turrets on men-of-war, pumps, ventilating fans, air compressors, horseless vehicles, and many other electric motor applications too numerous to mention in detail, all involve the desirability of operating an electric motor under perfect and economical control at any desired rate from rest to full speed.

The most commonly practiced method of controlling the speed of an electric motor for such applications at present, involves the use of ohmic resistance in the circuit of the motor armature, which resistance is varied to control the speed of the motor.

The use of an ohmic resistance for controlling the speed of an electric motor results necessarily in a waste of energy, and in an unstable control of the speed. The object of this paper is to endeavor to show the advantages arising from the use of a system of motor control having several modifications, but all of which involve the idea of controlling the speed of an electric motor by controlling the E.M.F. generated in its armature circuit, and without using any regulating resistances in that circuit.



A Paper presented at the 110th Meeting of American Institute of Electrical Engine New York, Nov. 18th, 1896. Vice-President Steinmetz in the Chair.

(c) 2007, PEA - EPUSP

Autor: Clovis Goldemberg

Direitos autorais liberados, desde que mantidas as referências acima.

As máquinas elétricas do século XIX

Clovis Goldemberg

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC elementares

Motores de relutância

Máquinas dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

Gênese do motor de indução

Corrente alternada

Niagara Falls

Steinmetz versus Maxwell

Conclusões

Máquinas dínamo-elétricas

Controle de velocidade 1896

VOLTS VS. OHMS.

SPEED REGULATION OF ELECTRIC MOTORS.

BY H. WARD LEONARD.

The control of the speed of an electric motor from a state of rest to that of full speed is a problem of rapidly growing importance to the electrical engineer. The operation by means of electric motors, of elevators, locomotives, printing presses, traveling cranes, turrets on men-of-war, pumps, ventilating fans, air compressors, horseless vehicles, and many other electric motor applications too numerous to mention in detail, all involve the desirability of operating an electric motor under perfect and economical control at any desired rate from rest to full speed.

The most commonly practiced method of controlling the speed of an electric motor for such applications at present, involves the use of ohmic resistance in the circuit of the motor armature, which resistance is varied to control the speed of the motor.

The use of an ohmic resistance for controlling the speed of an electric motor results necessarily in a waste of energy and in an

(c) 2007, PEA - EPUSP
Autor: Clovis Goldemberg

As máquinas
elétricas do século
XIX

Clovis Goldemberg

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC
elementares

Motores de
relutância

Máquinas
dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

Gênese do motor
de indução

Corrente alternada

Niagara Falls

Steinmetz versus
Maxwell

Conclusões

Máquinas dínamo-elétricas

Controle de velocidade, 1896

The most commonly practiced method of controlling the speed of an electric motor for such applications at present, involves the use of ohmic resistance in the circuit of the motor armature, which resistance is varied to control the speed of the motor.

The use of an ohmic resistance for controlling the speed of an electric motor results necessarily in a waste of energy, and in an unstable control of the speed. The object of this paper is to endeavor to show the advantages arising from the use of a system of motor control having several modifications, but all of which involve the idea of controlling the speed of an electric motor by controlling the E.M.F. generated in its armature circuit, and without using any regulating resistances in that circuit.

As máquinas
elétricas do século
XIX

Clovis Goldemberg

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC
elementares

Motores de
relutância

Máquinas
dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

Gênese do motor
de indução

Corrente alternada

Niagara Falls

Steinmetz versus
Maxwell

Conclusões

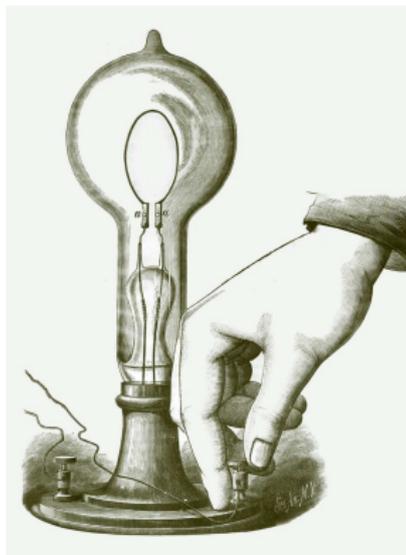
(c) 2007, PEA - EPUSP

Autor: Clovis Goldemberg

Direitos autorais liberados, desde
que mantidas as referências acima.

Faça-se a luz . . .

Thomas Edison e a lâmpada incandescente



Thomas Edison percebeu que não era suficiente inventar uma lâmpada elétrica incandescente. Concebeu um sistema completo de geração e distribuição de energia e luz elétrica, imitando o que as companhias de iluminação pública a gás já faziam.

As máquinas
elétricas do século
XIX

Clovis Goldemberg

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC
elementares

Motores de
relutância

Máquinas
dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

Gênese do motor
de indução

Corrente alternada

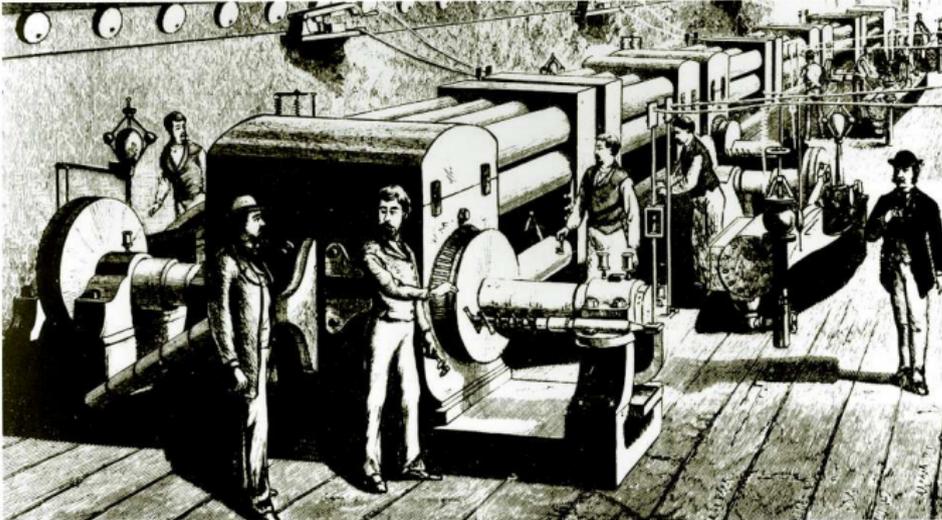
Niagara Falls

Steinmetz versus
Maxwell

Conclusões

Faça-se a luz ...

A estação de Pearl Street - Setembro, 1882



Foi instalada perto de Wall Street, dos jornais americanos e perto dos escritórios da J.P.Morgan (financiadores de Edison). Seu sucesso deu origem a muitas instalações similares na década de 1880. O alcance era de até 2 a 3 km.

As máquinas elétricas do século XIX

Clovis Goldemberg

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC elementares

Motores de relutância

Máquinas dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

Gênese do motor de indução

Corrente alternada

Niagara Falls

Steinmetz versus Maxwell

Conclusões

Faça-se a luz . . .

Um sistema completo de geração/transmissão e distribuição de energia

| Capital Investment: | | Depreciation | |
|---|------------------|------------------|----------------|
| Power plant building | \$ 8,500 | 2% | \$ 170 |
| Boilers and auxiliary equipment | 30,180 | 10% | 3,018 |
| Steam engines and dynamos | 48,000 | 3% | 1,440 |
| Auxiliary electrical equipment | 2,000 | 2% | 40 |
| Conductors | 57,000 | 2% | 1,140 |
| Meters | 5,000 | 5% | 250 |
| Total | \$150,680 | | \$6,058 |
| Operating and Other Expenses: | | | |
| Labor (Daily): | | | |
| Chief engineer | \$ 5.00. | | |
| Assistant engineer | 3.00 | | |
| Wiper | 1.50 | | |
| Principal fireman | 2.25 | | |
| Assistant fireman | 1.75 | | |
| Chief voltage regulator | 2.25 | | |
| Assistant voltage regulator | 1.75 | | |
| Two laborers | 3.00 | | |
| Total | \$20.50 | | |
| Labor (Annual) | \$ 7,482 | | |
| Other: | | | |
| Executive wages (annual) | \$ 4,000 | | |
| Rent, insurance and taxes | 7,000 | | |
| Depreciation | 6,058 | | |
| Coal (annual) | 8,212 | | |
| (\$2.80/ton; 3#/h.p. hour; | | | |
| 5 hours daily; 1,200 h.p.) | | | |
| Oil, waste, and water | 2,737 | | |
| Lamps (30,000 at 35c each) | 10,500 | | |
| Total | \$45,989 | | |
| Estimated Minimum Income from 10,000 Installed Lamps | | \$136,875 | |
| Expenses | | - 45,989 | |
| | | \$ 90,886 | |

Edison's estimate for a 10,000-lamp central station. From Menlo Park Notebook no. 120 (1880). Courtesy of the Edison Archives, Edison National Historic Site, West Orange, N.J.

As máquinas elétricas do século XIX

Clovis Goldemberg

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC elementares

Motores de relutância

Máquinas dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

Gênese do motor de indução

Corrente alternada

Niagara Falls

Steinmetz versus Maxwell

Conclusões

(c) 2007, PEA - EPUSP

Autor: Clovis Goldemberg

Direitos autorais liberados, desde que mantidas as referências acima.

Faça-se a luz ...

Um sistema completo de geração/transmissão e distribuição de energia

As máquinas
elétricas do século
XIX

Clovis Goldemberg

Capital Investment:

Depreciation

| | | | |
|---------------------------------|------------------|-----|----------------|
| Power plant building | \$ 8,500 | 2% | \$ 170 |
| Boilers and auxiliary equipment | 30,180 | 10% | 3,018 |
| Steam engines and dynamos | 48,000 | 3% | 1,440 |
| Auxiliary electrical equipment | 2,000 | 2% | 40 |
| Conductors | 57,000 | 2% | 1,140 |
| Meters | 5,000 | 5% | 250 |
| Total | \$150,680 | | \$6,058 |

Operating and Other Expenses:

Labor (Daily):

| | |
|-----------------------------|----------------|
| Chief engineer | \$ 5.00. |
| Assistant engineer | 3.00 |
| Wiper | 1.50 |
| Principal fireman | 2.25 |
| Assistant fireman | 1.75 |
| Chief voltage regulator | 2.25 |
| Assistant voltage regulator | 1.75 |
| Two laborers | 3.00 |
| Total | \$20.50 |

Labor (Annual) \$ 7,482

Other:

| | |
|---------------------------|----------|
| Executive wages (annual) | \$ 4,000 |
| Rent, insurance and taxes | 7,000 |
| Depreciation | 6,058 |

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC
elementares

Motores de
relutância

Máquinas
dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

Gênese do motor
de indução

Corrente alternada

Niagara Falls

Steinmetz versus
Maxwell

Conclusões

Faça-se a luz . . .

Um sistema completo de geração/transmissão e distribuição de energia

| | | | |
|---|----------------|-----------------|------------------|
| Two laborers | 3,00 | | |
| Total | \$20.50 | | |
| Labor (Annual) | | \$ 7,482 | |
| Other: | | | |
| Executive wages (annual) | | \$ 4,000 | |
| Rent, insurance and taxes | | 7,000 | |
| Depreciation | | 6,058 | |
| Coal (annual) | | 8,212 | |
| (\$2.80/ton; 3#/h.p. hour; | | | |
| 5 hours daily; 1,200 h.p.) | | | |
| Oil, waste, and water | | 2,737 | |
| Lamps (30,000 at 35c each) | | 10,500 | |
| Total | | \$45,989 | |
| Estimated Minimum Income from 10,000 Installed Lamps | | | \$136,875 |
| Expenses | | | − 45,989 |
| | | | \$ 90,886 |

As máquinas elétricas do século XIX

Clovis Goldemberg

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC elementares

Motores de relutância

Máquinas dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

Gênese do motor de indução

Corrente alternada

Niagara Falls

Steinmetz versus Maxwell

Conclusões

(c) 2007, PEA - EPUSP

Autor: Clovis Goldemberg

Direitos autorais liberados, desde que mantidas as referências acima.

Faça-se a luz ...

Educando os usuários



As máquinas
elétricas do século
XIX

Clovis Goldemberg

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC
elementares

Motores de
relutância

Máquinas
dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

Gênese do motor
de indução

Corrente alternada

Niagara Falls

Steinmetz versus
Maxwell

Conclusões

Faça-se a luz . . .

Nas palavras do próprio Edison. . .

- O público **não entendia nada** sobre a terminologia elétrica ou eletricidade e **eu não acreditava** que algum dia fossem capazes de entender; mas o público entendia sobre luz e pelo que eles estavam pagando. Desta forma poderíamos fazer explicações que o público poderia compreender.
- Tomando como base minhas próprias experiências, sabia que a lâmpada incandescente estava apenas nos seus primórdios e **que havia grandes possibilidades para aumentar seu rendimento**. Os pioneiros deveriam ganhar alguma recompensa por tais melhorias mas os lucros provenientes destas melhorias deveriam ser divididos igualmente entre o público e a empresa.

(c) 2007, PEA - EPUSP

Autor: Clovis Goldemberg

Direitos autorais liberados, desde
que mantidas as referências acima.

As máquinas
elétricas do século
XIX

Clovis Goldemberg

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC
elementares

Motores de
relutância

Máquinas
dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

Gênese do motor
de indução

Corrente alternada

Niagara Falls

Steinmetz versus
Maxwell

Conclusões

Faça-se a luz . . .

Nas palavras do próprio Edison. . .

- O público **não entendia nada** sobre a terminologia elétrica ou eletricidade e **eu não acreditava** que algum dia fossem capazes de entender; mas o público entendia sobre luz e pelo que eles estavam pagando. Desta forma poderíamos fazer explicações que o público poderia compreender.
- Tomando como base minhas próprias experiências, sabia que a lâmpada incandescente estava apenas nos seus primórdios e **que havia grandes possibilidades para aumentar seu rendimento**. Os pioneiros deveriam ganhar alguma recompensa por tais melhorias mas os lucros provenientes destas melhorias deveriam ser divididos igualmente entre o público e a empresa.

(c) 2007, PEA - EPUSP

Autor: Clovis Goldemberg

Direitos autorais liberados, desde
que mantidas as referências acima.

As máquinas
elétricas do século
XIX

Clovis Goldemberg

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC
elementares

Motores de
relutância

Máquinas
dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

Gênese do motor
de indução

Corrente alternada

Niagara Falls

Steinmetz versus
Maxwell

Conclusões

Faça-se a luz ...

O Império da Ciência e o Imperador



- Em 1881, quando se realizou a primeira visita de D. Pedro II a Ouro Preto, a Escola de Minas já estava aparelhada para a realização de impressionantes experiências de iluminação elétrica e Gorceix (o Diretor da Escola) aproveitou a oportunidade para elevar o nome da nobre Escola, mostrando ao seu criador uma das maiores maravilhas do século ...
- ... relatos da época indicam que naquela ocasião o Diretor da Escola solicitou o "empréstimo" de presos da cadeia local para acionar os dínamos.
- O Brasil inova, desenvolvendo a primeira usina PresoElétrica!

Faça-se a luz . . .

O Império da Ciência e o Imperador



- Em 1881, quando se realizou a primeira visita de D. Pedro II a Ouro Preto, a Escola de Minas já estava aparelhada para a realização de impressionantes experiências de iluminação elétrica e Gorceix (o Diretor da Escola) aproveitou a oportunidade para elevar o nome da nobre Escola, mostrando ao seu criador uma das maiores maravilhas do século . . .
- . . . relatos da época indicam que naquela ocasião o Diretor da Escola solicitou o “empréstimo” de presos da cadeia local para acionar os dínamos.
- O Brasil inova, desenvolvendo a primeira usina PresoElétrica!

Faça-se a luz ...

O Império da Ciência e o Imperador

As máquinas
elétricas do século
XIX

Clovis Goldemberg

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC
elementares

Motores de
relutância

Máquinas
dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

Gênese do motor
de indução

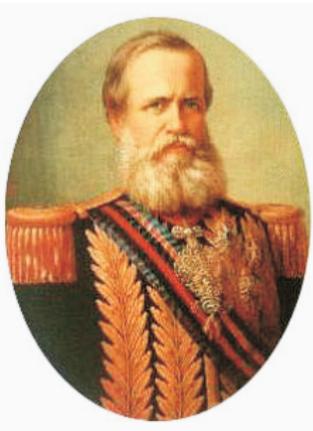
Corrente alternada

Niagara Falls

Steinmetz versus
Maxwell

Conclusões

- Em 1881, quando se realizou a primeira visita de D. Pedro II a Ouro Preto, a Escola de Minas já estava aparelhada para a realização de impressionantes experiências de iluminação elétrica e Gorceix (o Diretor da Escola) aproveitou a oportunidade para elevar o nome da nobre Escola, mostrando ao seu criador uma das maiores maravilhas do século ...
- ... relatos da época indicam que naquela ocasião o Diretor da Escola solicitou o “empréstimo” de presos da cadeia local para acionar os dínamos.
- O Brasil inova, desenvolvendo a primeira usina PresoElétrica!



(c) 2007, PEA - EPUSP

Autor: Clovis Goldemberg

Direitos autorais liberados, desde
que mantidas as referências acima.

Transformadores

O transformador original de Faraday - 1831

- operava através da comutação mecânica de uma fonte DC;
- durante décadas a única aplicação foi criar arcos elétricos;
- existia uma competição "virtual" para ver quem conseguia produzir arcos elétricos mais longos, alcançando 1070mm em 1876 e 1500mm em 1900;
- as relações num transformador ideal não eram conhecidas;
- tampouco eram conhecidas as relações existentes num transformador real, com alta dispersão e perdas elevadas no circuito ferromagnético;



(c) 2007, PEA - EPUSP
Autor: Clovis Goldemberg
Direitos autorais liberados, desde
que mantidas as referências acima.

As máquinas
elétricas do século
XIX

Clovis Goldemberg

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC
elementares

Motores de
relutância

Máquinas
dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

Gênese do motor
de indução

Corrente alternada

Niagara Falls

Steinmetz versus
Maxwell

Conclusões

Transformadores

O transformador original de Faraday - 1831

- operava através da comutação mecânica de uma fonte DC;
- durante décadas a única aplicação foi criar arcos elétricos;
- existia uma competição “virtual” para ver quem conseguia produzir arcos elétricos mais longos, alcançando 1070mm em 1876 e 1500mm em 1900;
- as relações num transformador ideal não eram conhecidas;
- tampouco eram conhecidas as relações existentes num transformador real, com alta dispersão e perdas elevadas no circuito ferromagnético;



(c) 2007, PEA - EPUSP

Autor: Clovis Goldemberg

Direitos autorais liberados, desde que mantidas as referências acima.

As máquinas
elétricas do século
XIX

Clovis Goldemberg

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC
elementares

Motores de
relutância

Máquinas
dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

Gênese do motor
de indução

Corrente alternada

Niagara Falls

Steinmetz versus
Maxwell

Conclusões

Transformadores

O transformador original de Faraday - 1831

- operava através da comutação mecânica de uma fonte DC;
- durante décadas a única aplicação foi criar arcos elétricos;
- existia uma competição “virtual” para ver quem conseguia produzir arcos elétricos mais longos, alcançando 1070mm em 1876 e 1500mm em 1900;
- as relações num transformador ideal não eram conhecidas;
- tampouco eram conhecidas as relações existentes num transformador real, com alta dispersão e perdas elevadas no circuito ferromagnético;



Transformadores

O transformador original de Faraday - 1831



- operava através da comutação mecânica de uma fonte DC;
- durante décadas a única aplicação foi criar arcs elétricos;
- existia uma competição “virtual” para ver quem conseguia produzir arcs elétricos mais longos, alcançando 1070mm em 1876 e 1500mm em 1900;
- as relações num transformador ideal não eram conhecidas;
- tampouco eram conhecidas as relações existentes num transformador real, com alta dispersão e perdas elevadas no circuito ferromagnético;

As máquinas
elétricas do século
XIX

Clovis Goldemberg

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC
elementares

Motores de
relutância

Máquinas
dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

Gênese do motor
de indução

Corrente alternada

Niagara Falls

Steinmetz versus
Maxwell

Conclusões

(c) 2007, PEA - EPUSP

Autor: Clovis Goldemberg

Direitos autorais liberados, desde
que mantidas as referências acima.

Transformadores

Transformadores de Gaulard/Gibbs/Ganz



Núcleo aberto
Gaulard/Gibbs
1881-1884



Núcleo toroidal fechado
Gaulard/Gibbs
1886



Núcleo toroidal
Ganz Cia.
1885

- Gaulard tentou processar Ganz Cia., sem sucesso. Em consequência acabou ficando louco (dizia que era Deus) e morreu internado num hospício em 1888.

As máquinas
elétricas do século
XIX

Clovis Goldemberg

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC
elementares

Motores de
relutância

Máquinas
dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

Gênese do motor
de indução

Corrente alternada

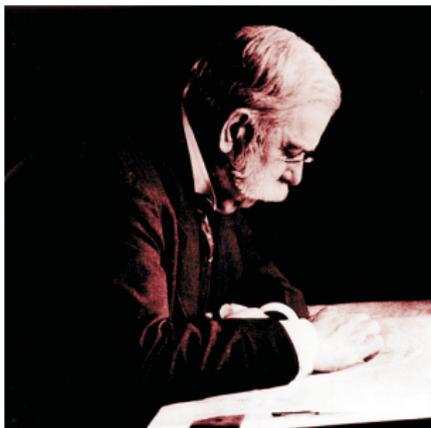
Niagara Falls

Steinmetz versus
Maxwell

Conclusões

Corrente alternada

George Westinghouse



(c) 2007, PEA - EPUSP

Autor: Clovis Goldemberg

Direitos autorais liberados, desde que mantidas as referências acima.

- só cursou 3 meses na faculdade, que abandonou aos 19 anos quando obteve sua primeira patente relacionada com máquinas a vapor
- inventou o freio a ar comprimido, dando origem à Westinghouse Air Brake Company em 1869
- antevendo um potencial na área elétrica fundou a Westinghouse Electric Company em 1884
- em 1888 obteve os direitos para o uso de corrente alternada e motores de indução
- em 1900 suas empresas valiam US\$120 milhões e empregavam 50 mil trabalhadores em 9 fábricas situadas nos EUA, 5 na Europa e 1 no Canadá

As máquinas elétricas do século XIX

Clovis Goldemberg

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC elementares

Motores de relutância

Máquinas dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

Gênese do motor de indução

Corrente alternada

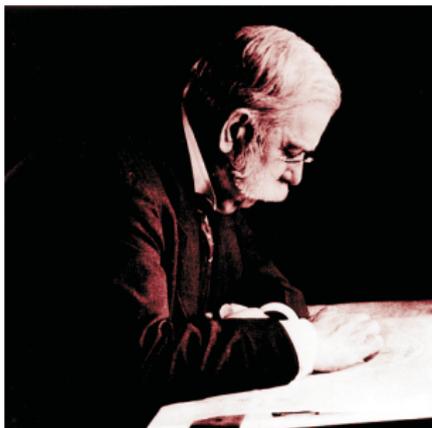
Niagara Falls

Steinmetz versus Maxwell

Conclusões

Corrente alternada

George Westinghouse



(c) 2007, PEA - EPUSP

Autor: Clovis Goldemberg

Direitos autorais liberados, desde
que mantidas as referências acima.

- só cursou 3 meses na faculdade, que abandonou aos 19 anos quando obteve sua primeira patente relacionada com máquinas a vapor
- inventou o freio a ar comprimido, dando origem à Westinghouse Air Brake Company em 1869
- antevendo um potencial na área elétrica fundou a Westinghouse Electric Company em 1884
- em 1888 obteve os direitos para o uso de corrente alternada e motores de indução
- em 1900 suas empresas valiam US\$120 milhões e empregavam 50 mil trabalhadores em 9 fábricas situadas nos EUA, 5 na Europa e 1 no Canadá

As máquinas
elétricas do século
XIX

Clovis Goldemberg

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC
elementares

Motores de
relutância

Máquinas
dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

Gênese do motor
de indução

Corrente alternada

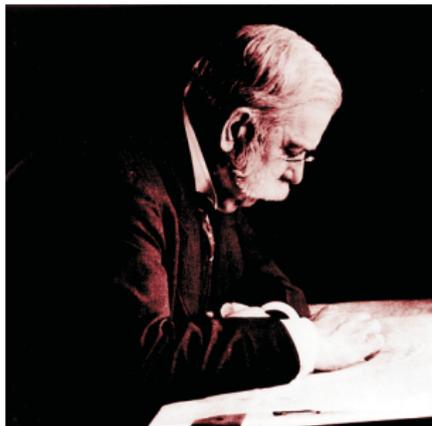
Niagara Falls

Steinmetz versus
Maxwell

Conclusões

Corrente alternada

George Westinghouse



- só cursou 3 meses na faculdade, que abandonou aos 19 anos quando obteve sua primeira patente relacionada com máquinas a vapor
- inventou o freio a ar comprimido, dando origem à Westinghouse Air Brake Company em 1869
- antevendo um potencial na área elétrica fundou a Westinghouse Electric Company em 1884
- em 1888 obteve os direitos para o uso de corrente alternada e motores de indução
- em 1900 suas empresas valiam US\$120 milhões e empregavam 50 mil trabalhadores em 9 fábricas situadas nos EUA, 5 na Europa e 1 no Canadá

As máquinas
elétricas do século
XIX

Clovis Goldemberg

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC
elementares

Motores de
relutância

Máquinas
dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

Gênese do motor
de indução

Corrente alternada

Niagara Falls

Steinmetz versus
Maxwell

Conclusões

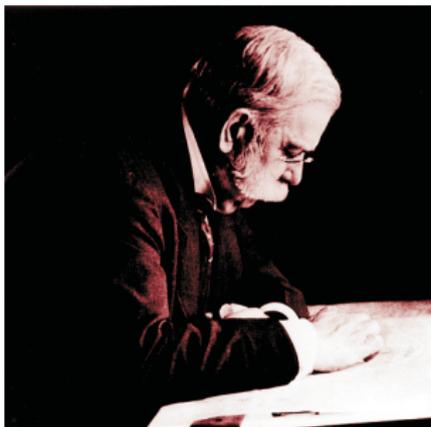
(c) 2007, PEA - EPUSP

Autor: Clovis Goldemberg

Direitos autorais liberados, desde
que mantidas as referências acima.

Corrente alternada

George Westinghouse



(c) 2007, PEA - EPUSP

Autor: Clovis Goldemberg

Direitos autorais liberados, desde
que mantidas as referências acima.

- só cursou 3 meses na faculdade, que abandonou aos 19 anos quando obteve sua primeira patente relacionada com máquinas a vapor
- inventou o freio a ar comprimido, dando origem à Westinghouse Air Brake Company em 1869
- antevendo um potencial na área elétrica fundou a Westinghouse Electric Company em 1884
- em 1888 obteve os direitos para o uso de corrente alternada e motores de indução
- em 1900 suas empresas valiam US\$120 milhões e empregavam 50 mil trabalhadores em 9 fábricas situadas nos EUA, 5 na Europa e 1 no Canadá

As máquinas
elétricas do século
XIX

Clovis Goldemberg

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC
elementares

Motores de
relutância

Máquinas
dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

Gênese do motor
de indução

Corrente alternada

Niagara Falls

Steinmetz versus
Maxwell

Conclusões

Transformadores

William Stanley, descrevendo o início da década de 1880, particularmente o período pós-1884, quando começou a trabalhar na Westinghouse com corrente alternada:

- É difícil para os engenheiros do presente avaliarem as condições daquela época. Lembrem-se de que existiam poucos livros de engenharia elétrica, não existiam fórmulas matemáticas, exceto aquelas escondidas nos “papers” científicos, não havia nomenclatura e não havia praticamente informação alguma sobre os fenômenos de corrente alternada. Todas as máquinas AC existentes até aquela época, com exceção do alternador Siemens, falhavam por uma razão ou outra. Uma opinião corrente era de que não existia nada de valor no campo da corrente alternada.
- Mr. Westinghouse hesitou em me fornecer o dinheiro para que eu pudesse testar minhas idéias. Como eu não tinha capital vendi a Mr. Westinghouse metade das minhas cotas, recebendo dinheiro com o qual seria capaz de realizar o trabalho experimental em benefício da companhia.

As máquinas
elétricas do século
XIX

Clovis Goldemberg

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC
elementares

Motores de
relutância

Máquinas
dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

Gênese do motor
de indução

Corrente alternada

Niagara Falls

Steinmetz versus
Maxwell

Conclusões

Transformadores

William Stanley, descrevendo o início da década de 1880, particularmente o período pós-1884, quando começou a trabalhar na Westinghouse com corrente alternada:

- É difícil para os engenheiros do presente avaliarem as condições daquela época. Lembrem-se de que existiam poucos livros de engenharia elétrica, não existiam fórmulas matemáticas, exceto aquelas escondidas nos “papers” científicos, não havia nomenclatura e não havia praticamente informação alguma sobre os fenômenos de corrente alternada. Todas as máquinas AC existentes até aquela época, com exceção do alternador Siemens, falhavam por uma razão ou outra. Uma opinião corrente era de que não existia nada de valor no campo da corrente alternada.
- Mr. Westinghouse hesitou em me fornecer o dinheiro para que eu pudesse testar minhas idéias. Como eu não tinha capital vendi a Mr. Westinghouse metade das minhas cotas, recebendo dinheiro com o qual seria capaz de realizar o trabalho experimental em benefício da companhia.

As máquinas
elétricas do século
XIX

Clovis Goldemberg

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC
elementares

Motores de
relutância

Máquinas
dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

Gênese do motor
de indução

Corrente alternada

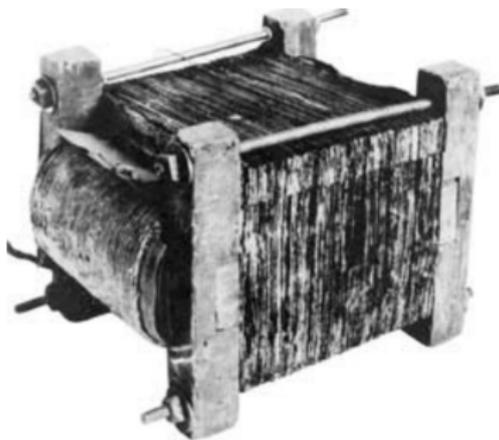
Niagara Falls

Steinmetz versus
Maxwell

Conclusões

Transformadores

Transformador desenvolvido por Stanley (Westinghouse) em 1886



- Os transformadores de Gaulard/Gibbs em 1881 eram denominados de “geradores secundários”. Westinghouse adquiriu vários em 1885 e o direito de fabricá-los em 1886. No sistema de Gaulard/Gibbs os primários dos transformadores eram colocados em série, o que prejudicava a regulação de tensão. Stanley colocou os primários em paralelo e aprimorou o projeto dos transformadores, diminuindo a dispersão.
- Westinghouse também comprou um alternador Siemens.

As máquinas
elétricas do século
XIX

Clovis Goldemberg

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC
elementares

Motores de
relutância

Máquinas
dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

Gênese do motor
de indução

Corrente alternada

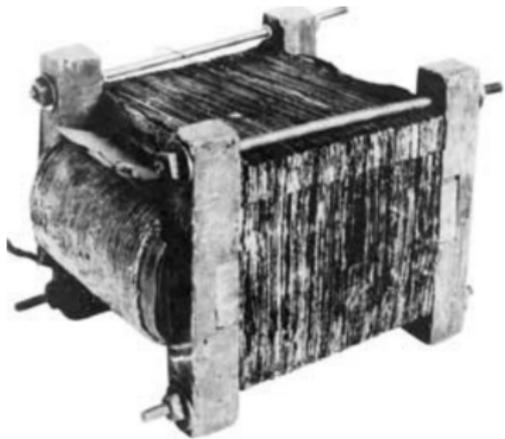
Niagara Falls

Steinmetz versus
Maxwell

Conclusões

Transformadores

Transformador desenvolvido por Stanley (Westinghouse) em 1886



- Os transformadores de Gaulard/Gibbs em 1881 eram denominados de “geradores secundários”. Westinghouse adquiriu vários em 1885 e o direito de fabricá-los em 1886. No sistema de Gaulard/Gibbs os primários dos transformadores eram colocados em série, o que prejudicava a regulação de tensão. Stanley colocou os primários em paralelo e aprimorou o projeto dos transformadores, diminuindo a dispersão.
- Westinghouse também comprou um alternador Siemens.

As máquinas
elétricas do século
XIX

Clovis Goldemberg

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC
elementares

Motores de
relutância

Máquinas
dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

Gênese do motor
de indução

Corrente alternada

Niagara Falls

Steinmetz versus
Maxwell

Conclusões

Transformadores

Stanley/Westinghouse (continuação)

- o transformador toroidal de Gaulard/Gibbs foi modificado para que pudesse ser fabricado de forma simples e barata;
- adotou-se chapas estampadas na forma de um **E-I**, utilizada até hoje;
- adotou-se o uso de bobinas pré-formadas;
- mergulhou-se o transformador em óleo, num tanque hermeticamente selado;
- o funcionamento comercial teve início em Março de 1886 (Great Barrington) numa linha de 1 milha, elevando-se a tensão de 500 para 3000 V numa extremidade e reduzindo novamente para 500 V na outra extremidade. As ruas e lojas da cidade, iluminadas, ficavam repletas de pessoas à noite.
- Westinghouse viu o sistema em funcionamento pela primeira vez em Abril 1886, quando decidiu investir ativamente na corrente alternada, em particular no desenvolvimento de alternadores.

Transformadores

Stanley/Westinghouse (continuação)

- o transformador toroidal de Gaulard/Gibbs foi modificado para que pudesse ser fabricado de forma simples e barata;
- adotou-se chapas estampadas na forma de um **E-I**, utilizada até hoje;
- adotou-se o uso de bobinas pré-formadas;
- mergulhou-se o transformador em óleo, num tanque hermeticamente selado;
- o funcionamento comercial teve início em Março de 1886 (Great Barrington) numa linha de 1 milha, elevando-se a tensão de 500 para 3000 V numa extremidade e reduzindo novamente para 500 V na outra extremidade. As ruas e lojas da cidade, iluminadas, ficavam repletas de pessoas à noite.
- Westinghouse viu o sistema em funcionamento pela primeira vez em Abril 1886, quando decidiu investir ativamente na corrente alternada, em particular no desenvolvimento de alternadores.

Transformadores

Stanley/Westinghouse (continuação)

- o transformador toroidal de Gaulard/Gibbs foi modificado para que pudesse ser fabricado de forma simples e barata;
- adotou-se chapas estampadas na forma de um **E-I**, utilizada até hoje;
- adotou-se o uso de bobinas pré-formadas;
- mergulhou-se o transformador em óleo, num tanque hermeticamente selado;
- o funcionamento comercial teve início em Março de 1886 (Great Barrington) numa linha de 1 milha, elevando-se a tensão de 500 para 3000 V numa extremidade e reduzindo novamente para 500 V na outra extremidade. As ruas e lojas da cidade, iluminadas, ficavam repletas de pessoas à noite.
- Westinghouse viu o sistema em funcionamento pela primeira vez em Abril 1886, quando decidiu investir ativamente na corrente alternada, em particular no desenvolvimento de alternadores.

Transformadores

Stanley/Westinghouse (continuação)

- o transformador toroidal de Gaulard/Gibbs foi modificado para que pudesse ser fabricado de forma simples e barata;
- adotou-se chapas estampadas na forma de um **E-I**, utilizada até hoje;
- adotou-se o uso de bobinas pré-formadas;
- mergulhou-se o transformador em óleo, num tanque hermeticamente selado;
- o funcionamento comercial teve início em Março de 1886 (Great Barrington) numa linha de 1 milha, elevando-se a tensão de 500 para 3000 V numa extremidade e reduzindo novamente para 500 V na outra extremidade. As ruas e lojas da cidade, iluminadas, ficavam repletas de pessoas à noite.
- Westinghouse viu o sistema em funcionamento pela primeira vez em Abril 1886, quando decidiu investir ativamente na corrente alternada, em particular no desenvolvimento de alternadores.

Transformadores

Stanley/Westinghouse (continuação)

- o transformador toroidal de Gaulard/Gibbs foi modificado para que pudesse ser fabricado de forma simples e barata;
- adotou-se chapas estampadas na forma de um **E-I**, utilizada até hoje;
- adotou-se o uso de bobinas pré-formadas;
- mergulhou-se o transformador em óleo, num tanque hermeticamente selado;
- o funcionamento comercial teve início em Março de 1886 (Great Barrington) numa linha de 1 milha, elevando-se a tensão de 500 para 3000 V numa extremidade e reduzindo novamente para 500 V na outra extremidade. As ruas e lojas da cidade, iluminadas, ficavam repletas de pessoas à noite.
- Westinghouse viu o sistema em funcionamento pela primeira vez em Abril 1886, quando decidiu investir ativamente na corrente alternada, em particular no desenvolvimento de alternadores.

Transformadores

Stanley/Westinghouse (continuação)

- o transformador toroidal de Gaulard/Gibbs foi modificado para que pudesse ser fabricado de forma simples e barata;
- adotou-se chapas estampadas na forma de um **E-I**, utilizada até hoje;
- adotou-se o uso de bobinas pré-formadas;
- mergulhou-se o transformador em óleo, num tanque hermeticamente selado;
- o funcionamento comercial teve início em Março de 1886 (Great Barrington) numa linha de 1 milha, elevando-se a tensão de 500 para 3000 V numa extremidade e reduzindo novamente para 500 V na outra extremidade. As ruas e lojas da cidade, iluminadas, ficavam repletas de pessoas à noite.
- Westinghouse viu o sistema em funcionamento pela primeira vez em Abril 1886, quando decidiu investir ativamente na corrente alternada, em particular no desenvolvimento de alternadores.

Teoria de circuitos e máquinas elétricas

Desenvolvimentos teóricos: Georg Simon Ohm

- Entrou na Universidade de Erlangen em 1805. Após 3 semestres seu pai o enviou para a Suíça para dar aulas de matemática no colegial pois Ohm gastava muito mais tempo “se divertindo” do que efetivamente estudando;
- retornou a Erlangen em 1811, onde completou seu doutorado e começou a dar aulas de matemática;
- durante **dez anos** viveu em condições modestas, ensinando em escolas medíocres e dando aulas particulares. Apesar disso, continuou acompanhando a literatura técnica da época;



(c) 2007, PEA - EPUSP

Autor: Clovis Goldemberg

Direitos autorais liberados, desde que mantidas as referências acima.

As máquinas elétricas do século XIX

Clovis Goldemberg

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC elementares

Motores de relutância

Máquinas dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

Gênese do motor de indução

Corrente alternada

Niagara Falls

Steinmetz versus Maxwell

Conclusões

Teoria de circuitos e máquinas elétricas

Desenvolvimentos teóricos: Georg Simon Ohm



- Entrou na Universidade de Erlangen em 1805. Após 3 semestres seu pai o enviou para a Suíça para dar aulas de matemática no colégio pois Ohm gastava muito mais tempo “se divertindo” do que efetivamente estudando;
- retornou a Erlangen em 1811, onde completou seu doutorado e começou a dar aulas de matemática;
- durante **dez anos** viveu em condições modestas, ensinando em escolas medíocres e dando aulas particulares. Apesar disso, continuou acompanhando a literatura técnica da época;

As máquinas elétricas do século XIX

Clovis Goldemberg

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC elementares

Motores de relutância

Máquinas dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

Gênese do motor de indução

Corrente alternada

Niagara Falls

Steinmetz versus Maxwell

Conclusões

(c) 2007, PEA - EPUSP

Autor: Clovis Goldemberg

Direitos autorais liberados, desde que mantidas as referências acima.

Teoria de circuitos e máquinas elétricas

Desenvolvimentos teóricos: Georg Simon Ohm



- Entrou na Universidade de Erlangen em 1805. Após 3 semestres seu pai o enviou para a Suíça para dar aulas de matemática no colegial pois Ohm gastava muito mais tempo “se divertindo” do que efetivamente estudando;
- retornou a Erlangen em 1811, onde completou seu doutorado e começou a dar aulas de matemática;
- durante **dez anos** viveu em condições modestas, ensinando em escolas medíocres e dando aulas particulares. Apesar disso, continuou acompanhando a literatura técnica da época;

As máquinas elétricas do século XIX

Clovis Goldemberg

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC elementares

Motores de relutância

Máquinas dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

Gênese do motor de indução

Corrente alternada

Niagara Falls

Steinmetz versus Maxwell

Conclusões

(c) 2007, PEA - EPUSP

Autor: Clovis Goldemberg

Direitos autorais liberados, desde que mantidas as referências acima.

Teoria de circuitos e máquinas elétricas

Desenvolvimentos teóricos: Georg Simon Ohm (continuação)

- em Setembro/1817 ensinava matemática e física no Colégio Jesuíta de Colonia, que possuía um laboratório bem equipado de física, onde Ohm podia realizar experiências com baterias e condutores elétricos;
- os resultados hoje conhecidos como Lei de Ohm foram publicados em 1827, recebendo pouca aceitação em virtude de sua abordagem “matemática” pouco utilizada pelos físicos alemães da época. O reconhecimento de seu trabalho só ocorreu em 1833, quando se tornou diretor da Escola Politécnica de Nuremberg. O reconhecimento internacional ocorreu em 1841 (Royal Society) e 1845 (Berlim e Turim);
- dentre os motivos para o reconhecimento tardio estão a sua personalidade introspectiva, sua abordagem matemática e inimizades pessoais com autoridades alemãs;
- seu sonho de se tornar professor de física experimental na Universidade de Munique só se realizou em 1849, ao completar 60 anos. Morreu 5 anos depois, aos 65 anos de idade.

As máquinas
elétricas do século
XIX

Clovis Goldemberg

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC
elementares

Motores de
relutância

Máquinas
dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

Gênese do motor
de indução

Corrente alternada

Niagara Falls

Steinmetz versus
Maxwell

Conclusões

Teoria de circuitos e máquinas elétricas

Desenvolvimentos teóricos: Georg Simon Ohm (continuação)

- em Setembro/1817 ensinava matemática e física no Colégio Jesuíta de Colonia, que possuía um laboratório bem equipado de física, onde Ohm podia realizar experiências com baterias e condutores elétricos;
- os resultados hoje conhecidos como Lei de Ohm foram publicados em 1827, recebendo pouca aceitação em virtude de sua abordagem “matemática” pouco utilizada pelos físicos alemães da época. O reconhecimento de seu trabalho só ocorreu em 1833, quando se tornou diretor da Escola Politécnica de Nuremberg. O reconhecimento internacional ocorreu em 1841 (Royal Society) e 1845 (Berlim e Turim);
- dentre os motivos para o reconhecimento tardio estão a sua personalidade introspectiva, sua abordagem matemática e inimizades pessoais com autoridades alemãs;
- seu sonho de se tornar professor de física experimental na Universidade de Munique só se realizou em 1849, ao completar 60 anos. Morreu 5 anos depois, aos 65 anos de idade.

As máquinas
elétricas do século
XIX

Clovis Goldemberg

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC
elementares

Motores de
relutância

Máquinas
dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

Gênese do motor
de indução

Corrente alternada

Niagara Falls

Steinmetz versus
Maxwell

Conclusões

Teoria de circuitos e máquinas elétricas

Desenvolvimentos teóricos: Georg Simon Ohm (continuação)

- em Setembro/1817 ensinava matemática e física no Colégio Jesuíta de Colonia, que possuía um laboratório bem equipado de física, onde Ohm podia realizar experiências com baterias e condutores elétricos;
- os resultados hoje conhecidos como Lei de Ohm foram publicados em 1827, recebendo pouca aceitação em virtude de sua abordagem “matemática” pouco utilizada pelos físicos alemães da época. O reconhecimento de seu trabalho só ocorreu em 1833, quando se tornou diretor da Escola Politécnica de Nuremberg. O reconhecimento internacional ocorreu em 1841 (Royal Society) e 1845 (Berlim e Turim);
- dentre os motivos para o reconhecimento tardio estão a sua personalidade introspectiva, sua abordagem matemática e inimizades pessoais com autoridades alemãs;
- seu sonho de se tornar professor de física experimental na Universidade de Munique só se realizou em 1849, ao completar 60 anos. Morreu 5 anos depois, aos 65 anos de idade.

As máquinas elétricas do século XIX

Clovis Goldemberg

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC elementares

Motores de relutância

Máquinas dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

Gênese do motor de indução

Corrente alternada

Niagara Falls

Steinmetz versus Maxwell

Conclusões

Teoria de circuitos e máquinas elétricas

Desenvolvimentos teóricos: Georg Simon Ohm (continuação)

- em Setembro/1817 ensinava matemática e física no Colégio Jesuíta de Colonia, que possuía um laboratório bem equipado de física, onde Ohm podia realizar experiências com baterias e condutores elétricos;
- os resultados hoje conhecidos como Lei de Ohm foram publicados em 1827, recebendo pouca aceitação em virtude de sua abordagem “matemática” pouco utilizada pelos físicos alemães da época. O reconhecimento de seu trabalho só ocorreu em 1833, quando se tornou diretor da Escola Politécnica de Nuremberg. O reconhecimento internacional ocorreu em 1841 (Royal Society) e 1845 (Berlim e Turim);
- dentre os motivos para o reconhecimento tardio estão a sua personalidade introspectiva, sua abordagem matemática e inimizades pessoais com autoridades alemãs;
- seu sonho de se tornar professor de física experimental na Universidade de Munique só se realizou em 1849, ao completar 60 anos. Morreu 5 anos depois, aos 65 anos de idade.

As máquinas
elétricas do século
XIX

Clovis Goldemberg

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC
elementares

Motores de
relutância

Máquinas
dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

Gênese do motor
de indução

Corrente alternada

Niagara Falls

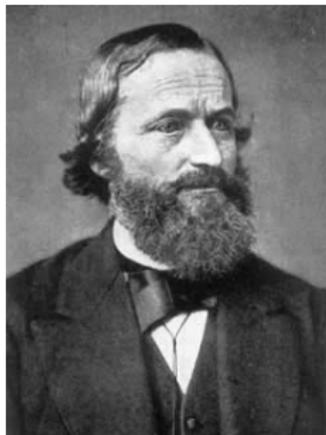
Steinmetz versus
Maxwell

Conclusões

Teoria de circuitos e máquinas elétricas

Desenvolvimentos teóricos: Gustav Robert Kirchhoff

- Entrou aos 18 anos na Universidade, para estudar matemática, onde foi aluno dos físicos Neumann e Gauss.
- em 1845, aos 21 anos de idade, ainda estudante, enunciou pela primeira vez as Leis de Kirchhoff. Entretanto, a versão oficial de seu trabalho só foi publicada em 1854;
- em 1847 começou a trabalhar na Universidade de Berlin, sem salário;
- em 1850 se tornou professor de física na Universidade de Breslau;
- em 1857 começou a trabalhar com a condução em fios telegráficos, vindo a descobrir que a transmissão ocorre na velocidade da luz.



(c) 2007, PEA - EPUSP

Autor: Clovis Goldemberg

Direitos autorais liberados, desde que mantidas as referências acima.

As máquinas elétricas do século XIX

Clovis Goldemberg

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC elementares

Motores de relutância

Máquinas dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

Gênese do motor de indução

Corrente alternada

Niagara Falls

Steinmetz versus Maxwell

Conclusões

Teoria de circuitos e máquinas elétricas

Desenvolvimentos teóricos: Gustav Robert Kirchhoff

- Entrou aos 18 anos na Universidade, para estudar matemática, onde foi aluno dos físicos Neumann e Gauss.
- em 1845, aos 21 anos de idade, ainda estudante, enunciou pela primeira vez as Leis de Kirchhoff. Entretanto, a versão oficial de seu trabalho só foi publicada em 1854;
- em 1847 começou a trabalhar na Universidade de Berlin, sem salário;
- em 1850 se tornou professor de física na Universidade de Breslau;
- em 1857 começou a trabalhar com a condução em fios telegráficos, vindo a descobrir que a transmissão ocorre na velocidade da luz.



(c) 2007, PEA - EPUSP

Autor: Clovis Goldemberg

Direitos autorais liberados, desde que mantidas as referências acima.

As máquinas
elétricas do século
XIX

Clovis Goldemberg

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC
elementares

Motores de
relutância

Máquinas
dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

Gênese do motor
de indução

Corrente alternada

Niagara Falls

Steinmetz versus
Maxwell

Conclusões

Teoria de circuitos e máquinas elétricas

Desenvolvimentos teóricos: Gustav Robert Kirchhoff

- Entrou aos 18 anos na Universidade, para estudar matemática, onde foi aluno dos físicos Neumann e Gauss.
- em 1845, aos 21 anos de idade, ainda estudante, enunciou pela primeira vez as Leis de Kirchhoff. Entretanto, a versão oficial de seu trabalho só foi publicada em 1854;
- em 1847 começou a trabalhar na Universidade de Berlin, sem salário;
- em 1850 se tornou professor de física na Universidade de Breslau;
- em 1857 começou a trabalhar com a condução em fios telegráficos, vindo a descobrir que a transmissão ocorre na velocidade da luz.



(c) 2007, PEA - EPUSP

Autor: Clovis Goldemberg

Direitos autorais liberados, desde que mantidas as referências acima.

As máquinas elétricas do século XIX

Clovis Goldemberg

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC elementares

Motores de relutância

Máquinas dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

Gênese do motor de indução

Corrente alternada

Niagara Falls

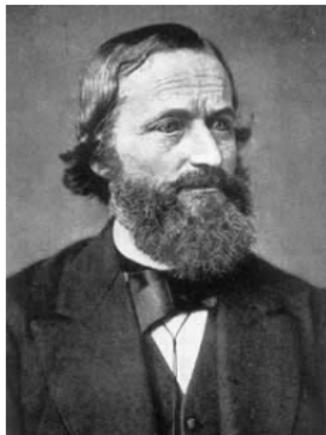
Steinmetz versus Maxwell

Conclusões

Teoria de circuitos e máquinas elétricas

Desenvolvimentos teóricos: Gustav Robert Kirchhoff

- Entrou aos 18 anos na Universidade, para estudar matemática, onde foi aluno dos físicos Neumann e Gauss.
- em 1845, aos 21 anos de idade, ainda estudante, enunciou pela primeira vez as Leis de Kirchhoff. Entretanto, a versão oficial de seu trabalho só foi publicada em 1854;
- em 1847 começou a trabalhar na Universidade de Berlin, sem salário;
- em 1850 se tornou professor de física na Universidade de Breslau;
- em 1857 começou a trabalhar com a condução em fios telegráficos, vindo a descobrir que a transmissão ocorre na velocidade da luz.



(c) 2007, PEA - EPUSP

Autor: Clovis Goldemberg

Direitos autorais liberados, desde que mantidas as referências acima.

As máquinas elétricas do século XIX

Clovis Goldemberg

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC elementares

Motores de relutância

Máquinas dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

Gênese do motor de indução

Corrente alternada

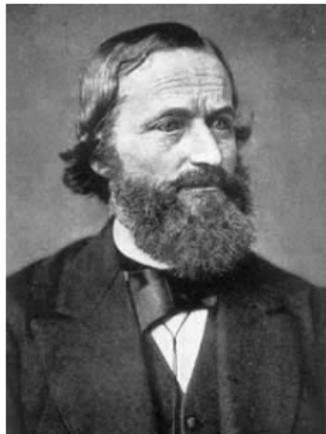
Niagara Falls

Steinmetz versus Maxwell

Conclusões

Teoria de circuitos e máquinas elétricas

Desenvolvimentos teóricos: Gustav Robert Kirchhoff



- Entrou aos 18 anos na Universidade, para estudar matemática, onde foi aluno dos físicos Neumann e Gauss.
- em 1845, aos 21 anos de idade, ainda estudante, enunciou pela primeira vez as Leis de Kirchhoff. Entretanto, a versão oficial de seu trabalho só foi publicada em 1854;
- em 1847 começou a trabalhar na Universidade de Berlin, sem salário;
- em 1850 se tornou professor de física na Universidade de Breslau;
- em 1857 começou a trabalhar com a condução em fios telegráficos, vindo a descobrir que a transmissão ocorre na velocidade da luz.

(c) 2007, PEA - EPUSP

Autor: Clovis Goldemberg

Direitos autorais liberados, desde que mantidas as referências acima.

As máquinas elétricas do século XIX

Clovis Goldemberg

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC elementares

Motores de relutância

Máquinas dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

Gênese do motor de indução

Corrente alternada

Niagara Falls

Steinmetz versus Maxwell

Conclusões

Teoria de circuitos e máquinas elétricas

Desenvolvimentos teóricos: impedância e reatância

● Kennelly 1861/1939

- trabalhou na GE (1887-94), deu aulas em Harvard (1902-30), no MIT (1913-24), na França (1921-22), Japão (1931).
- em 1893 apresentou o conceito de impedância, permitindo generalizar as leis de Ohm e Kirchhoff para circuitos de corrente alternada
- Presidente da AIEE entre 1898-1900

● Steinmetz 1865/1923

- mereceria uma palestra específica, alemão, deficiente físico, chegou sem um tostão nos EUA, fugindo da Alemanha por problemas políticos ...
- em 1892 apresentou a Lei da Histerese; em 93, o conceito de reatância e o uso de números complexos e fasores; em 94, teoria sobre o motor de indução; escreveu diversos livros ...
- dirigiu a GE de 1892 a 1923
- Presidente da AIEE entre 1901-02

Teoria de circuitos e máquinas elétricas

Desenvolvimentos teóricos: impedância e reatância

- Kennelly 1861/1939
 - trabalhou na GE (1887-94), deu aulas em Harvard (1902-30), no MIT (1913-24), na França (1921-22), Japão (1931).
 - em 1893 apresentou o conceito de impedância, permitindo generalizar as leis de Ohm e Kirchhoff para circuitos de corrente alternada
 - Presidente da AIEE entre 1898-1900
- Steinmetz 1865/1923
 - mereceria uma palestra específica, alemão, deficiente físico, chegou sem um tostão nos EUA, fugindo da Alemanha por problemas políticos ...
 - em 1892 apresentou a Lei da Histerese; em 93, o conceito de reatância e o uso de números complexos e fasores; em 94, teoria sobre o motor de indução; escreveu diversos livros ...
 - dirigiu a GE de 1892 a 1923
 - Presidente da AIEE entre 1901-02

● B.G. Lamme 1864-1924

- começou a trabalhar na Westinghouse em 1889, onde notou que o projeto das máquinas elétricas era feito de forma empírica, sem considerar o circuito magnético e elétrico de forma adequada
- foi um dos responsáveis pelo reprojeto dos motores de indução a partir de 1892
- foi um dos responsáveis pelo projeto dos geradores de Niagara Falls
- engenheiro-chefe da Westinghouse entre 1903-24
- não usava réguas de cálculo pois considerava que estas “prejudicavam seu sexto-sentido quantitativo”
- adorava música clássica, fotografia, carros, dar aulas
- Presidente da AIEE em 1902-1903

● B.G. Lamme 1864-1924

- começou a trabalhar na Westinghouse em 1889, onde notou que o projeto das máquinas elétricas era feito de forma empírica, sem considerar o circuito magnético e elétrico de forma adequada
- foi um dos responsáveis pelo reprojeto dos motores de indução a partir de 1892
- foi um dos responsáveis pelo projeto dos geradores de Niagara Falls
- engenheiro-chefe da Westinghouse entre 1903-24
- não usava réguas de cálculo pois considerava que estas “prejudicavam seu sexto-sentido quantitativo”
- adorava música clássica, fotografia, carros, dar aulas
- Presidente da AIEE em 1902-1903

● B.G. Lamme 1864-1924

- começou a trabalhar na Westinghouse em 1889, onde notou que o projeto das máquinas elétricas era feito de forma empírica, sem considerar o circuito magnético e elétrico de forma adequada
- foi um dos responsáveis pelo reprojeto dos motores de indução a partir de 1892
- foi um dos responsáveis pelo projeto dos geradores de Niagara Falls
- engenheiro-chefe da Westinghouse entre 1903-24
- não usava réguas de cálculo pois considerava que estas “prejudicavam seu sexto-sentido quantitativo”
- adorava música clássica, fotografia, carros, dar aulas
- Presidente da AIEE em 1902-1903

● B.G. Lamme 1864-1924

- começou a trabalhar na Westinghouse em 1889, onde notou que o projeto das máquinas elétricas era feito de forma empírica, sem considerar o circuito magnético e elétrico de forma adequada
- foi um dos responsáveis pelo reprojeto dos motores de indução a partir de 1892
- foi um dos responsáveis pelo projeto dos geradores de Niagara Falls
- engenheiro-chefe da Westinghouse entre 1903-24
- não usava réguas de cálculo pois considerava que estas “prejudicavam seu sexto-sentido quantitativo”
- adorava música clássica, fotografia, carros, dar aulas
- Presidente da AIEE em 1902-1903

● B.G. Lamme 1864-1924

- começou a trabalhar na Westinghouse em 1889, onde notou que o projeto das máquinas elétricas era feito de forma empírica, sem considerar o circuito magnético e elétrico de forma adequada
- foi um dos responsáveis pelo reprojeto dos motores de indução a partir de 1892
- foi um dos responsáveis pelo projeto dos geradores de Niagara Falls
- engenheiro-chefe da Westinghouse entre 1903-24
- não usava réguas de cálculo pois considerava que estas “prejudicavam seu sexto-sentido quantitativo”
- adorava música clássica, fotografia, carros, dar aulas
- Presidente da AIEE em 1902-1903

● B.G. Lamme 1864-1924

- começou a trabalhar na Westinghouse em 1889, onde notou que o projeto das máquinas elétricas era feito de forma empírica, sem considerar o circuito magnético e elétrico de forma adequada
- foi um dos responsáveis pelo reprojeto dos motores de indução a partir de 1892
- foi um dos responsáveis pelo projeto dos geradores de Niagara Falls
- engenheiro-chefe da Westinghouse entre 1903-24
- não usava réguas de cálculo pois considerava que estas “prejudicavam seu sexto-sentido quantitativo”
- adorava música clássica, fotografia, carros, dar aulas
- Presidente da AIEE em 1902-1903

● B.G. Lamme 1864-1924

- começou a trabalhar na Westinghouse em 1889, onde notou que o projeto das máquinas elétricas era feito de forma empírica, sem considerar o circuito magnético e elétrico de forma adequada
- foi um dos responsáveis pelo reprojeto dos motores de indução a partir de 1892
- foi um dos responsáveis pelo projeto dos geradores de Niagara Falls
- engenheiro-chefe da Westinghouse entre 1903-24
- não usava réguas de cálculo pois considerava que estas “prejudicavam seu sexto-sentido quantitativo”
- adorava música clássica, fotografia, carros, dar aulas
- Presidente da AIEE em 1902-1903

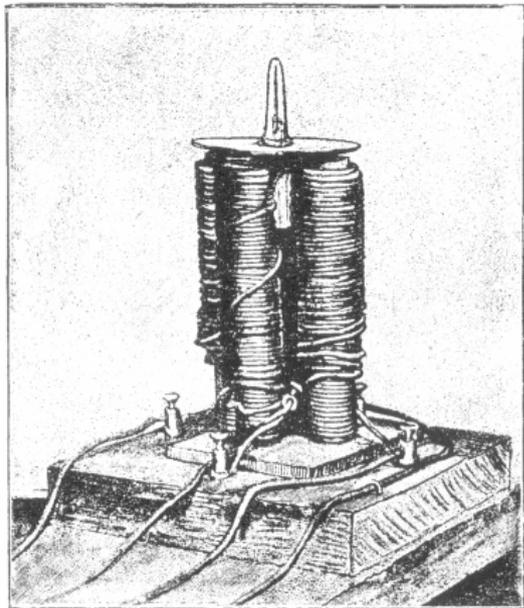
Gênese do motor de indução

(c) 2007, PEA - EPUSP
Autor: Clovis Goldemberg

As máquinas
elétricas do século
XIX

Walter Baily, Physical Society, Londres, 28/Junho/1879
“Um modo de produzir as rotações de Arago”

Clovis Goldemberg



- a rotação do disco é provocada pela rotação do campo magnético
- o disco pode girar nos dois sentidos, dependendo da seqüência de energização dos eletroímãs
- se forem colocados 4 eletroímãs adicionais na parte superior do disco a força será amplificada
- perguntado sobre a potência possível de ser obtida, Bailey respondeu que considerava o dispositivo apenas “um brinquedo científico”

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC
elementares

Motores de
relutância

Máquinas
dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

Gênese do motor
de indução

Corrente alternada

Niagara Falls

Steinmetz versus
Maxwell

Conclusões

| | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|
| N O | N N | O N | S N | S O |
| ↘ | ↓ | ↙ | ← | ↘ |
| O S | S S | S O | S N | O N |

Gênese do motor de indução

Walter Baily, Physical Society, Londres, 28/Junho/1879

“Um modo de produzir as rotações de Arago”

(c) 2007, PEA - EPUSP
Autor: Clovis Goldemberg

As máquinas
elétricas do século
XIX

Clovis Goldemberg

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC
elementares

Motores de
relutância

Máquinas
dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

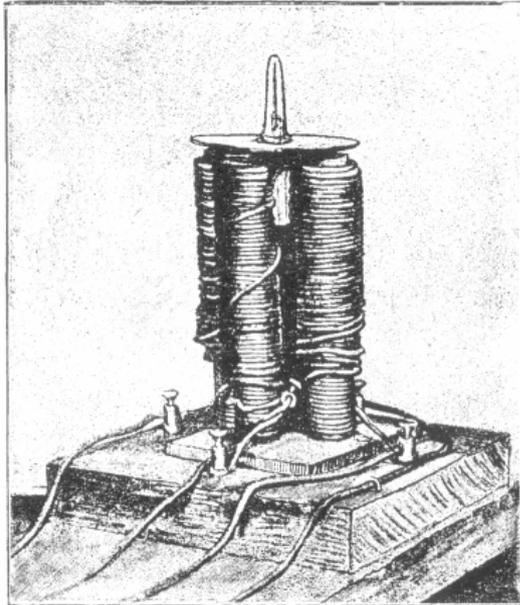
Gênese do motor
de indução

Corrente alternada

Niagara Falls

Steinmetz versus
Maxwell

Conclusões



| | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|
| N O | N N | O N | S N | S O |
| ↘ | ↓ | ↗ | ↔ | ↘ |
| O S | S S | S O | S N | O N |

- a rotação do disco é provocada pela rotação do campo magnético
- o disco pode girar nos dois sentidos, dependendo da seqüência de energização dos eletroímãs
- se forem colocados 4 eletroímãs adicionais na parte superior do disco a força será amplificada
- perguntado sobre a potência possível de ser obtida, Bailey respondeu que considerava o dispositivo apenas “um brinquedo científico”

Gênese do motor de indução

Galileo Ferraris/Itália

As máquinas
elétricas do século
XIX

Clovis Goldemberg

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC
elementares

Motores de
relutância

Máquinas
dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

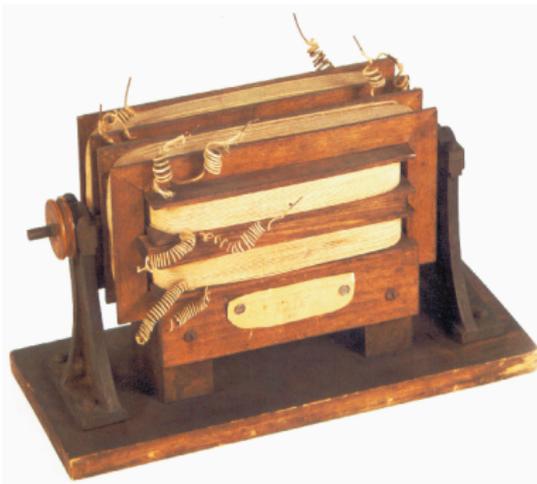
Gênese do motor
de indução

Corrente alternada

Niagara Falls

Steinmetz versus
Maxwell

Conclusões



Terceiro protótipo, 1886.



Quarto protótipo, 1886.

(c) 2007, PEA - EPUSP

Autor: Clovis Goldemberg

Direitos autorais liberados, desde
que mantidas as referências acima.

Gênese do motor de indução

Galileo Ferraris/Itália

(c) 2007, PEA - EPUSP
Autor: Clovis Goldemberg

As máquinas
elétricas do século
XIX

Clovis Goldemberg

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC
elementares

Motores de
relutância

Máquinas
dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

**Gênese do motor
de indução**

Corrente alternada

Niagara Falls

Steinmetz versus
Maxwell

Conclusões

- todos os protótipos eram bifásicos
- foi o primeiro a usar o termo “escorregamento” (diferença entre a velocidade angular do campo magnético e a velocidade do cilindro) ao descrever o funcionamento do seu dispositivo
- a ação indutiva era proporcional ao “escorregamento”
- apenas o quarto protótipo possuía um circuito ferromagnético fechado
- calculava que o rendimento máximo deste motor seria 50%, obtido com escorregamento de 50%
- Medidas experimentais indicaram rendimento ainda mais baixo, justificando sua opinião de que este dispositivo não teria importância comercial, servindo apenas para fins educacionais . . .
- publicou em 1888 artigo intitulado “Rotações eletromagnéticas produzidas através de correntes alternadas”

Gênese do motor de indução

(c) 2007, PEA - EPUSP
Autor: Clovis Goldemberg

Galileo Ferraris/Itália

- todos os protótipos eram bifásicos
- foi o primeiro a usar o termo “escorregamento” (diferença entre a velocidade angular do campo magnético e a velocidade do cilindro) ao descrever o funcionamento do seu dispositivo
- a ação indutiva era proporcional ao “escorregamento”
- apenas o quarto protótipo possuía um circuito ferromagnético fechado
- calculava que o rendimento máximo deste motor seria 50%, obtido com escorregamento de 50%
- Medidas experimentais indicaram rendimento ainda mais baixo, justificando sua opinião de que este dispositivo não teria importância comercial, servindo apenas para fins educacionais . . .
- publicou em 1888 artigo intitulado “Rotações eletromagnéticas produzidas através de correntes alternadas”

As máquinas
elétricas do século
XIX

Clovis Goldemberg

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC
elementares

Motores de
relutância

Máquinas
dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

Gênese do motor
de indução

Corrente alternada

Niagara Falls

Steinmetz versus
Maxwell

Conclusões

Gênese do motor de indução

(c) 2007, PEA - EPUSP
Autor: Clovis Goldemberg

As máquinas
elétricas do século
XIX

Galileo Ferraris/Itália

Clovis Goldemberg

- todos os protótipos eram bifásicos
- foi o primeiro a usar o termo “escorregamento” (diferença entre a velocidade angular do campo magnético e a velocidade do cilindro) ao descrever o funcionamento do seu dispositivo
- a ação indutiva era proporcional ao “escorregamento”
- apenas o quarto protótipo possuía um circuito ferromagnético fechado
- calculava que o rendimento máximo deste motor seria 50%, obtido com escorregamento de 50%
- Medidas experimentais indicaram rendimento ainda mais baixo, justificando sua opinião de que este dispositivo não teria importância comercial, servindo apenas para fins educacionais . . .
- publicou em 1888 artigo intitulado “Rotações eletromagnéticas produzidas através de correntes alternadas”

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC
elementares

Motores de
relutância

Máquinas
dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

Gênese do motor
de indução

Corrente alternada

Niagara Falls

Steinmetz versus
Maxwell

Conclusões

Gênese do motor de indução

(c) 2007, PEA - EPUSP
Autor: Clovis Goldemberg

As máquinas
elétricas do século
XIX

Galileo Ferraris/Itália

- todos os protótipos eram bifásicos
- foi o primeiro a usar o termo “escorregamento” (diferença entre a velocidade angular do campo magnético e a velocidade do cilindro) ao descrever o funcionamento do seu dispositivo
- a ação indutiva era proporcional ao “escorregamento”
- apenas o quarto protótipo possuía um circuito ferromagnético fechado
- calculava que o rendimento máximo deste motor seria 50%, obtido com escorregamento de 50%
- Medidas experimentais indicaram rendimento ainda mais baixo, justificando sua opinião de que este dispositivo não teria importância comercial, servindo apenas para fins educacionais . . .
- publicou em 1888 artigo intitulado “Rotações eletromagnéticas produzidas através de correntes alternadas”

Clovis Goldemberg

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC
elementares

Motores de
relutância

Máquinas
dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

Gênese do motor
de indução

Corrente alternada

Niagara Falls

Steinmetz versus
Maxwell

Conclusões

Gênese do motor de indução

(c) 2007, PEA - EPUSP
Autor: Clovis Goldemberg

As máquinas
elétricas do século
XIX

Galileo Ferraris/Itália

- todos os protótipos eram bifásicos
- foi o primeiro a usar o termo “escorregamento” (diferença entre a velocidade angular do campo magnético e a velocidade do cilindro) ao descrever o funcionamento do seu dispositivo
- a ação indutiva era proporcional ao “escorregamento”
- apenas o quarto protótipo possuía um circuito ferromagnético fechado
- calculava que o rendimento máximo deste motor seria 50%, obtido com escorregamento de 50%
- Medidas experimentais indicaram rendimento ainda mais baixo, justificando sua opinião de que este dispositivo não teria importância comercial, servindo apenas para fins educacionais ...
- publicou em 1888 artigo intitulado “Rotações eletromagnéticas produzidas através de correntes alternadas”

Clovis Goldemberg

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC
elementares

Motores de
relutância

Máquinas
dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

Gênese do motor
de indução

Corrente alternada

Niagara Falls

Steinmetz versus
Maxwell

Conclusões

Gênese do motor de indução

(c) 2007, PEA - EPUSP
Autor: Clovis Goldemberg

As máquinas
elétricas do século
XIX

Galileo Ferraris/Itália

- todos os protótipos eram bifásicos
- foi o primeiro a usar o termo “escorregamento” (diferença entre a velocidade angular do campo magnético e a velocidade do cilindro) ao descrever o funcionamento do seu dispositivo
- a ação indutiva era proporcional ao “escorregamento”
- apenas o quarto protótipo possuía um circuito ferromagnético fechado
- calculava que o rendimento máximo deste motor seria 50%, obtido com escorregamento de 50%
- Medidas experimentais indicaram rendimento ainda mais baixo, justificando sua opinião de que este dispositivo não teria importância comercial, servindo apenas para fins educacionais ...
- publicou em 1888 artigo intitulado “Rotações eletromagnéticas produzidas através de correntes alternadas”

Clovis Goldemberg

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC
elementares

Motores de
relutância

Máquinas
dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

Gênese do motor
de indução

Corrente alternada

Niagara Falls

Steinmetz versus
Maxwell

Conclusões

Gênese do motor de indução

(c) 2007, PEA - EPUSP
Autor: Clovis Goldemberg

Galileo Ferraris/Itália

- todos os protótipos eram bifásicos
- foi o primeiro a usar o termo “escorregamento” (diferença entre a velocidade angular do campo magnético e a velocidade do cilindro) ao descrever o funcionamento do seu dispositivo
- a ação indutiva era proporcional ao “escorregamento”
- apenas o quarto protótipo possuía um circuito ferromagnético fechado
- calculava que o rendimento máximo deste motor seria 50%, obtido com escorregamento de 50%
- Medidas experimentais indicaram rendimento ainda mais baixo, justificando sua opinião de que este dispositivo não teria importância comercial, servindo apenas para fins educacionais ...
- publicou em 1888 artigo intitulado “Rotações eletromagnéticas produzidas através de correntes alternadas”

As máquinas
elétricas do século
XIX

Clovis Goldemberg

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC
elementares

Motores de
relutância

Máquinas
dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

Gênese do motor
de indução

Corrente alternada

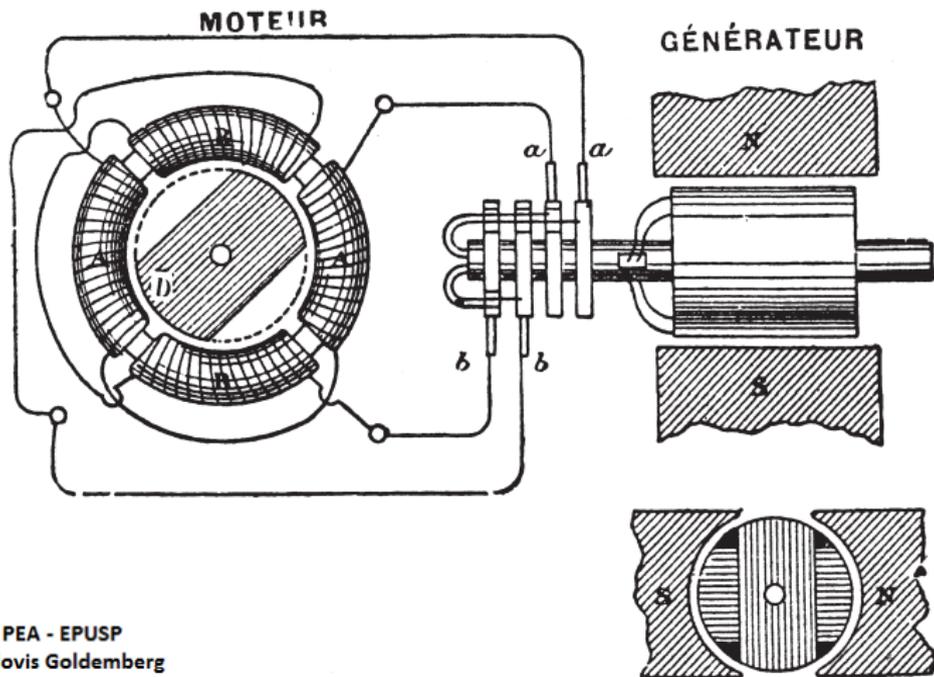
Niagara Falls

Steinmetz versus
Maxwell

Conclusões

Gênese do motor de indução

Tesla/1887 - Publicou um conjunto de patentes, nas quais abrange vários temas (sistemas polifásicos, produção de campo girante, motores de indução). Nos seus diagramas o rotor do motor de indução possui polos salientes! Não detalha a forma construtiva do estator.



(c) 2007, PEA - EPUSP

Autor: Clovis Goldemberg

Direitos autorais liberados, desde que mantidas as referências acima.

As máquinas elétricas do século XIX

Clovis Goldemberg

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC elementares

Motores de relutância

Máquinas dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

Gênese do motor de indução

Corrente alternada

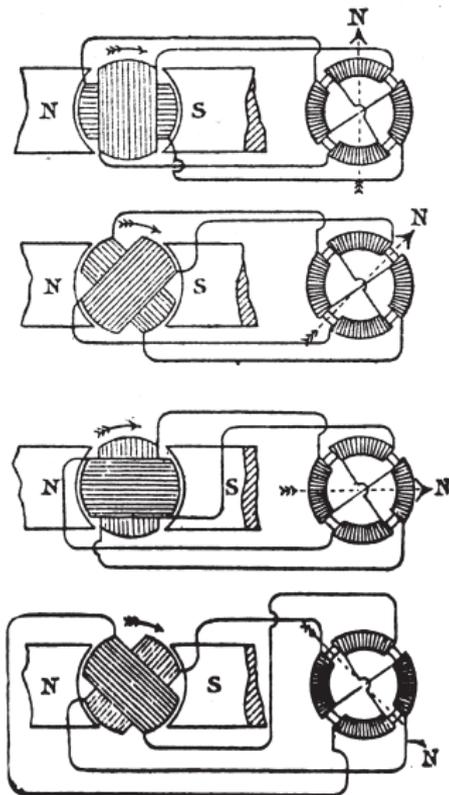
Niagara Falls

Steinmetz versus Maxwell

Conclusões

Gênese do motor de indução

Tesla/1887 - Diagramas utilizados para explicar o campo girante, usando um sistema bifásico de correntes.



As máquinas elétricas do século XIX

Clovis Goldemberg

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC elementares

Motores de relutância

Máquinas dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

Gênese do motor de indução

Corrente alternada

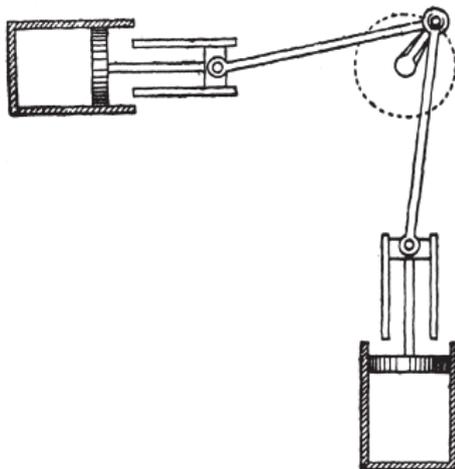
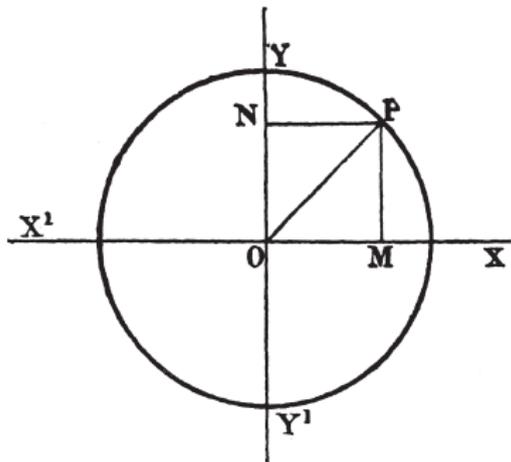
Niagara Falls

Steinmetz versus Maxwell

Conclusões

Gênese do motor de indução

Tesla e diversos outros (Dobrowoslky, Brown) sabiam que era possível produzir um campo girante a partir de sistemas bifásicos ou trifásicos. As ilustrações abaixo são extraídas de “Courants polyphasés et alterno-moteurs”, Silvanus P. Thompson, Paris/1901.



(c) 2007, PEA - EPUSP

Autor: Clovis Goldemberg

Direitos autorais liberados, desde que mantidas as referências acima.

As máquinas elétricas do século XIX

Clovis Goldemberg

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC elementares

Motores de relutância

Máquinas dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

Gênese do motor de indução

Corrente alternada

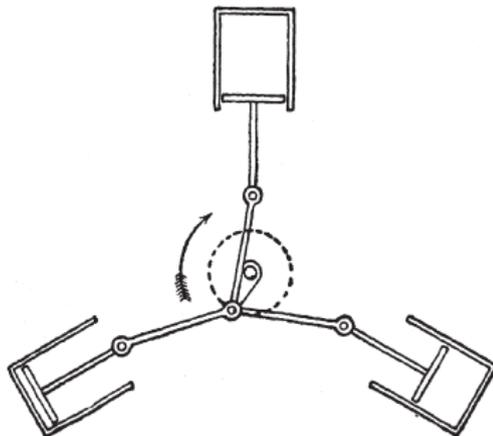
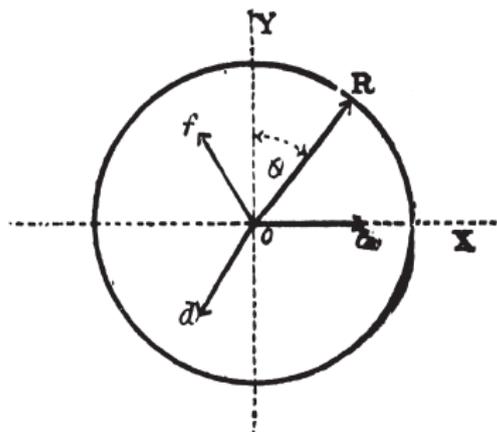
Niagara Falls

Steinmetz versus Maxwell

Conclusões

Gênese do motor de indução

Ilustração do funcionamento de enrolamento trifásico, extraída de “Courants polyphasés et alterno-moteurs”, Silvanus P. Thompson, Paris/1901.



As máquinas elétricas do século XIX

Clovis Goldemberg

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC elementares

Motores de relutância

Máquinas dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

Gênese do motor de indução

Corrente alternada

Niagara Falls

Steinmetz versus Maxwell

Conclusões

(c) 2007, PEA - EPUSP

Autor: Clovis Goldemberg

Direitos autorais liberados, desde que mantidas as referências acima.

Gênese do motor de indução

O papel da teoria - Steinmetz/Kennelly/Lamme

(c) 2007, PEA - EPUSP
Autor: Clovis Goldemberg

As máquinas
elétricas do século
XIX

Clovis Goldemberg

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC
elementares

Motores de
relutância

Máquinas
dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

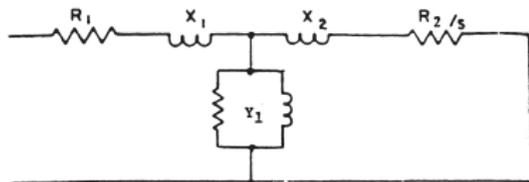
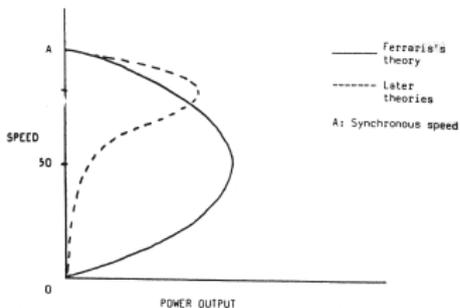
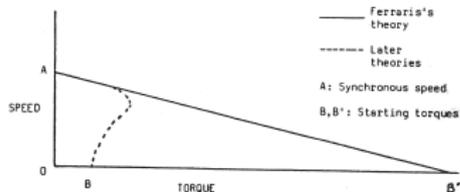
Gênese do motor
de indução

Corrente alternada

Niagara Falls

Steinmetz versus
Maxwell

Conclusões



- X_1 ---- leakage reactance of the primary
- X_2 ---- leakage reactance of the secondary
- Y_1 ---- primary admittance
- R_1 ---- primary resistance
- R_2 ---- secondary resistance
- s ---- slip

As idéias de Ferraris referentes à baixa eficiência dos motores de indução acabaram se provando errôneas.

O uso de circuitos equivalentes “por fase” (Steinmetz/1894) permitia prever o comportamento dos motores de indução de forma clara.

Corrente alternada

Tesla e Westinghouse

- No final de 1887 Tesla apresentou 7 patentes cobrindo as áreas de motores AC, transmissão de potência, geradores, transformadores.
- Após adquirir as patentes de Tesla em Julho/88 a Westinghouse tentou adaptar seus protótipos para tração elétrica. Tesla trabalhou em conjunto com Charles Scott, usando “tentativa e erro”. Os resultados foram desapontadores pois o motor quase não variava a velocidade e seu conjugado de partida era muito baixo;
- O motor também não produzia bons resultados para aplicações industriais. Uma das razões era o uso de 133 Hz na alimentação dos motores e o uso de polos salientes.
- Tesla abandonou a Westinghouse em 1889. Naquela ocasião o único motor de indução fabricado era monofásico, de 1/6 CV.
- O desenvolvimento foi suspenso em Dez/1890



(c) 2007, PEA - EPUSP

Autor: Clovis Goldemberg

Direitos autorais liberados, desde que mantidas as referências acima.

As máquinas
elétricas do século
XIX

Clovis Goldemberg

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC
elementares

Motores de
relutância

Máquinas
dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

Gênese do motor
de indução

Corrente alternada

Niagara Falls

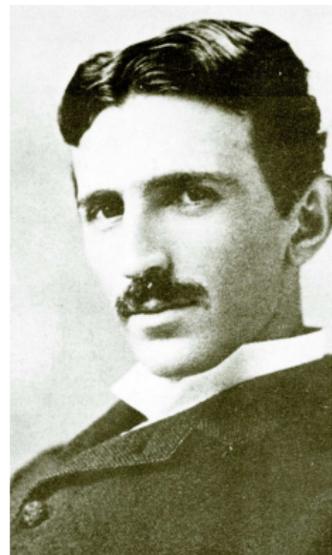
Steinmetz versus
Maxwell

Conclusões

Corrente alternada

Tesla e Westinghouse

- No final de 1887 Tesla apresentou 7 patentes cobrindo as áreas de motores AC, transmissão de potência, geradores, transformadores.
- Após adquirir as patentes de Tesla em Julho/88 a Westinghouse tentou adaptar seus protótipos para tração elétrica. Tesla trabalhou em conjunto com Charles Scott, usando “tentativa e erro”. Os resultados foram desapontadores pois o motor quase não variava a velocidade e seu conjugado de partida era muito baixo;
- O motor também não produzia bons resultados para aplicações industriais. Uma das razões era o uso de 133 Hz na alimentação dos motores e o uso de polos salientes.
- Tesla abandonou a Westinghouse em 1889. Naquela ocasião o único motor de indução fabricado era monofásico, de 1/6 CV.
- O desenvolvimento foi suspenso em Dez/1890



(c) 2007, PEA - EPUSP
Autor: Clovis Goldemberg
Direitos autorais liberados, desde
que mantidas as referências acima.

As máquinas
elétricas do século
XIX

Clovis Goldemberg

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC
elementares

Motores de
relutância

Máquinas
dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

Gênese do motor
de indução

Corrente alternada

Niagara Falls

Steinmetz versus
Maxwell

Conclusões

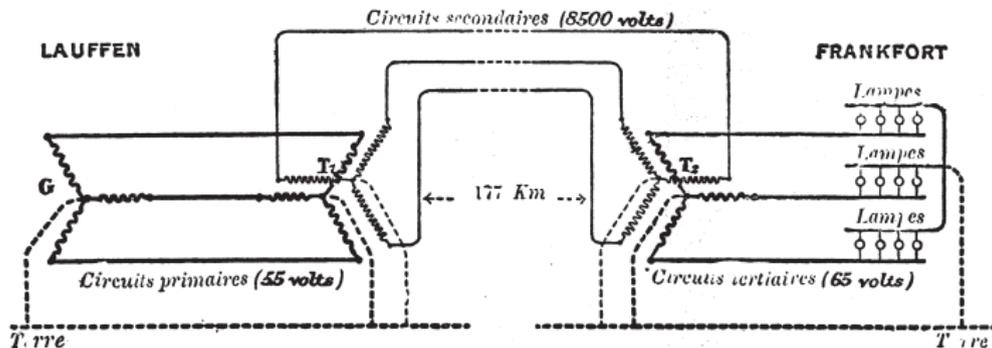
Corrente alternada

A Exposição Universal de Frankfurt em 1891

(c) 2007, PEA - EPUSP
Autor: Clovis Goldemberg

As máquinas elétricas do século XIX

Clovis Goldemberg



Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC elementares

Motores de relutância

Máquinas dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

Gênese do motor de indução

Corrente alternada

Niagara Falls

Steinmetz versus Maxwell

Conclusões

- O sistema foi desenvolvido pela AEG e Oerlikon e transportava $\approx 70\text{kW}$ de potência, com rendimento de $\approx 75\%$, na frequência de $30\approx 40\text{ Hz}$
- Além das lâmpadas (≈ 1000) existia um motor trifásico de 60CV que acionava uma bomba capaz de produzir uma cascata artificial de 10m de altura.
- Brown, engenheiro suíço foi um dos responsáveis por este empreendimento. Brown e Boveri (engenheiro da Oerlikon) fundaram a BBC (Brown-Boveri Company) em 1891.

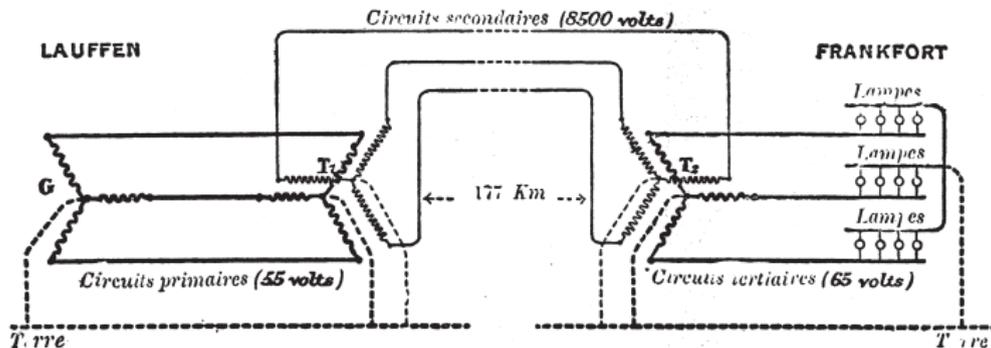
Corrente alternada

A Exposição Universal de Frankfurt em 1891

(c) 2007, PEA - EPUSP
Autor: Clovis Goldemberg

As máquinas
elétricas do século
XIX

Clovis Goldemberg



Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC
elementares

Motores de
relutância

Máquinas
dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

Gênese do motor
de indução

Corrente alternada

Niagara Falls

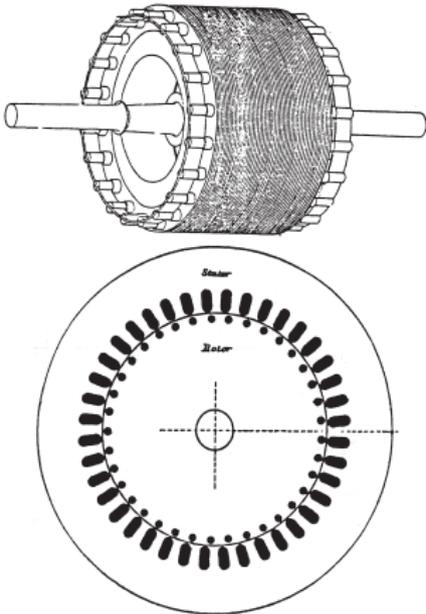
Steinmetz versus
Maxwell

Conclusões

- O sistema foi desenvolvido pela AEG e Oerlikon e transportava $\approx 70\text{kW}$ de potência, com rendimento de $\approx 75\%$, na frequência de $30\approx 40\text{ Hz}$
- Além das lâmpadas (≈ 1000) existia um motor trifásico de 60CV que acionava uma bomba capaz de produzir uma cascata artificial de 10m de altura.
- Brown, engenheiro suíço foi um dos responsáveis por este empreendimento. Brown e Boveri (engenheiro da Oerlikon) fundaram a BBC (Brown-Boveri Company) em 1891.

Corrente alternada

Porque os motores de indução da AEG e Brown funcionavam?



- enrolamento primário distribuído em ranhuras
- enrolamento secundário do tipo “gaiola de esquilo” com barras isoladas do núcleo ferromagnético
- o resultado produzia baixa dispersão, baixa corrente de magnetização e alta eficiência ($\approx 80\%$)
- motores pequenos eram do tipo “gaiola”, baratos, robustos e confiáveis
- motores maiores eram do tipo rotor bobinado para permitir o uso de reostatos de partida.
- ainda não se conhecia a curva característica e circuito equivalente do motor de indução!

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC
elementares

Motores de
relutância

Máquinas
dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

Gênese do motor
de indução

Corrente alternada

Niagara Falls

Steinmetz versus
Maxwell

Conclusões

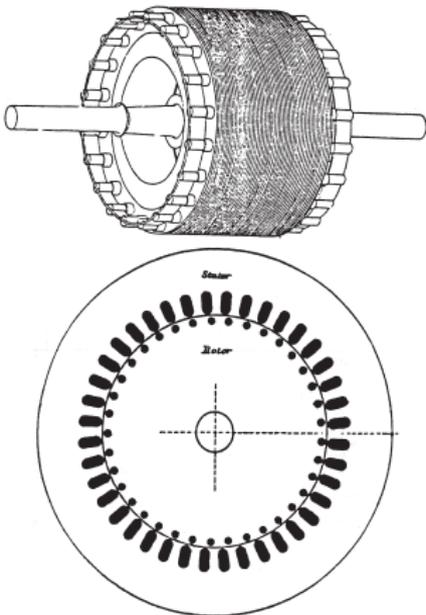
(c) 2007, PEA - EPUSP

Autor: Clovis Goldemberg

Direitos autorais liberados, desde
que mantidas as referências acima.

Corrente alternada

Porque os motores de indução da AEG e Brown funcionavam?



- enrolamento primário distribuído em ranhuras
- enrolamento secundário do tipo “gaiola de esquilo” com barras isoladas do núcleo ferromagnético
- o resultado produzia baixa dispersão, baixa corrente de magnetização e alta eficiência ($\approx 80\%$)
- motores pequenos eram do tipo “gaiola”, baratos, robustos e confiáveis
- motores maiores eram do tipo rotor bobinado para permitir o uso de reostatos de partida.
- ainda não se conhecia a curva característica e circuito equivalente do motor de indução!

(c) 2007, PEA - EPUSP

Autor: Clovis Goldemberg

Direitos autorais liberados, desde que mantidas as referências acima.

As máquinas elétricas do século XIX

Clovis Goldemberg

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC elementares

Motores de relutância

Máquinas dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

Gênese do motor de indução

Corrente alternada

Niagara Falls

Steinmetz versus Maxwell

Conclusões

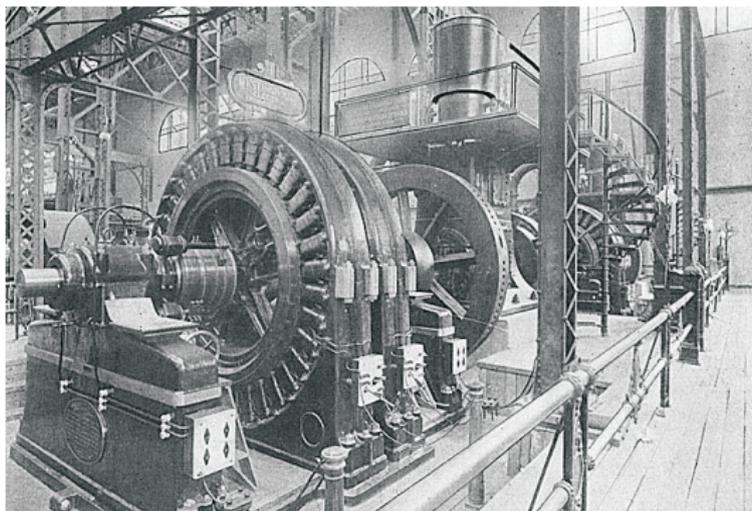
Corrente alternada

Geradores monofásicos da Westinghouse

(c) 2007, PEA - EPUSP
Autor: Clovis Goldemberg

As máquinas
elétricas do século
XIX

Clovis Goldemberg



Geradores bifásicos de 750kW/60Hz (2 geradores monofásicos acoplados) da Westinghouse, utilizados na Exposição de 1893 em Chicago. A conversão entre redes bifásicas e trifásicas era realizada através de transformadores desenvolvidos por Scott, engenheiro da Westinghouse (Medalha Edison de 1929).

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC
elementares

Motores de
relutância

Máquinas
dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

Gênese do motor
de indução

Corrente alternada

Niagara Falls

Steinmetz versus
Maxwell

Conclusões

Corrente alternada

Exposição Universal de 1893 em Chicago

(c) 2007, PEA - EPUSP
Autor: Clovis Goldemberg



- 130000 lâmpadas incandescentes e 8000 lâmpadas a arco
- sistema completo de transmissão/distribuição com transformadores elevadores/abaixadores de 400:1200V
- o orçamento da Westinghouse foi 50% do orçamento da GE, cujo custo de condutores de cobre era muito alto
- foi apresentado um motor de indução de 300HP, bifásico (um dos maiores já construídos)
- foi apresentado um conjunto motor-gerador que permitia converter AC em DC

As máquinas
elétricas do século
XIX

Clovis Goldemberg

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC
elementares

Motores de
relutância

Máquinas
dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

Gênese do motor
de indução

Corrente alternada

Niagara Falls

Steinmetz versus
Maxwell

Conclusões

Corrente alternada

Exposição Universal de 1893 em Chicago

(c) 2007, PEA - EPUSP
Autor: Clovis Goldemberg



- 130000 lâmpadas incandescentes e 8000 lâmpadas a arco
- sistema completo de transmissão/distribuição com transformadores elevadores/abaixadores de 400:1200V
- o orçamento da Westinghouse foi 50% do orçamento da GE, cujo custo de condutores de cobre era muito alto
- foi apresentado um motor de indução de 300HP, bifásico (um dos maiores já construídos)
- foi apresentado um conjunto motor-gerador que permitia converter AC em DC

As máquinas
elétricas do século
XIX

Clovis Goldemberg

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC
elementares

Motores de
relutância

Máquinas
dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

Gênese do motor
de indução

Corrente alternada

Niagara Falls

Steinmetz versus
Maxwell

Conclusões

Corrente alternada

Exposição Universal de 1893 em Chicago

(c) 2007, PEA - EPUSP
Autor: Clovis Goldemberg



- 130000 lâmpadas incandescentes e 8000 lâmpadas a arco
- sistema completo de transmissão/distribuição com transformadores elevadores/abaixadores de 400:1200V
- o orçamento da Westinghouse foi 50% do orçamento da GE, cujo custo de condutores de cobre era muito alto
- foi apresentado um motor de indução de 300HP, bifásico (um dos maiores já construídos)
- foi apresentado um conjunto motor-gerador que permitia converter AC em DC

As máquinas
elétricas do século
XIX

Clovis Goldemberg

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC
elementares

Motores de
relutância

Máquinas
dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

Gênese do motor
de indução

Corrente alternada

Niagara Falls

Steinmetz versus
Maxwell

Conclusões

Corrente alternada

As máquinas
elétricas do século
XIX

Clovis Goldemberg

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC
elementares

Motores de
relutância

Máquinas
dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

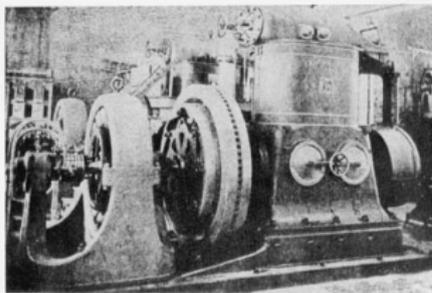
Gênese do motor
de indução

Corrente alternada

Niagara Falls

Steinmetz versus
Maxwell

Conclusões



400 HORSE-POWER POLYPHASE GENERATORS IN POWER HOUSE OF THE WESTINGHOUSE ELECTRIC AND MANUFACTURING COMPANY, AT EAST PITTSBURG, PA.

WESTINGHOUSE
ELECTRIC AND
MANUFACTURING
COMPANY,

SOLE OWNERS OF THE
TESLA POLYPHASE SYSTEM.

The Ideal System for the distribution of power and light in factories and mills. Motors, arc lights and incandescent lights supplied from the same circuits.

The system adopted by the Cataract Construction Company for their great plant at Niagara.

Especially adapted for transmission of power over long distances.

All machinery in our new works at East Pittsburg driven by Tesla Polyphase Motors, supplied from a central power plant. RESULTS: High Efficiency, Convenience, Economy and Flexibility. Inspection Invited.

NOTICE!

Induction motors operated by the so-called "Monocyclic" system, offered for sale by the General Electric Company, are in fact multiphase motors and are broadly covered by the patents of Nikola Tesla owned by the Westinghouse Electric and Manufacturing Company.

The motors and system of distribution advertised by the Stanley Electric Company, of Pittsfield, are also an infringement of the Tesla patents.

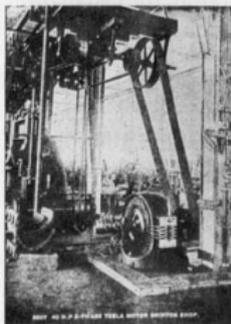
Suits have been brought against each of these companies, and are being pressed to a hearing as rapidly as possible.

It is the purpose of the Westinghouse Electric and Manufacturing Company to bring suits against all users of apparatus infringing the Tesla patents, in order that the rights of the company may be enforced.

Westinghouse Electric and
Manufacturing Company,

PITTSBURG, PA.

BRANCH OFFICES IN ALL LEADING CITIES.



40-HORSE-POWER TESLA MOTOR OPERATING MACHINERY IN SHOPS AT EAST PITTSBURG.

SOLE OWNERS OF THE TESLA POLYPHASE SYSTEM.

The Ideal System for the distribution of power and light in factories and mills.

Motors, arc lights and incandescent lights supplied from the same circuits.

The system adopted by the Cataract Construction Company for their great plant at Niagara.

Especially adapted for transmission of power over long distances.

All machinery in our new works at East Pittsburg driven by Tesla Polyphase Motors, supplied from a central power plant. **RESULTS:** High Efficiency, Convenience, Economy and Flexibility. Inspection invited.

- Proprietários exclusivos do sistema polifásico de Tesla.
- É o sistema ideal para a distribuição de potência e luz em fábricas e oficinas.
- Motores, lâmpadas a arco e lâmpadas incandescentes são alimentados a partir do mesmo circuito.
- É o sistema adotado na construção da Usina de Niagara Falls.
- Especialmente adaptado para a transmissão de potência em longas distâncias.
- Todo o maquinário utilizado nas nossas instalações em East Pittsburg é acionado por motores polifásicos Tesla, alimentados a partir de um gerador central. Resultados: alta eficiência, conveniência, economia e flexibilidade. Visitas são bem-vindas.

As máquinas
elétricas do século
XIX

Clovis Goldemberg

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC
elementares

Motores de
relutância

Máquinas
dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

Gênese do motor
de indução

Corrente alternada

Niagara Falls

Steinmetz versus
Maxwell

Conclusões

SOLE OWNERS OF THE TESLA POLYPHASE SYSTEM.

The Ideal System for the distribution of power and light in factories and mills.

Motors, arc lights and incandescent lights supplied from the same circuits.

The system adopted by the Cataract Construction Company for their great plant at Niagara.

Especially adapted for transmission of power over long distances.

All machinery in our new works at East Pittsburg driven by Tesla Polyphase Motors, supplied from a central power plant. **RESULTS:** High Efficiency, Convenience, Economy and Flexibility. Inspection invited.

- Proprietários exclusivos do sistema polifásico de Tesla.
- É o sistema ideal para a distribuição de potência e luz em fábricas e oficinas.
- Motores, lâmpadas a arco e lâmpadas incandescentes são alimentados a partir do mesmo circuito.
- É o sistema adotado na construção da Usina de Niagara Falls.
- Especialmente adaptado para a transmissão de potência em longas distâncias.
- Todo o maquinário utilizado nas nossas instalações em East Pittsburg é acionado por motores polifásicos Tesla, alimentados a partir de um gerador central. Resultados: alta eficiência, conveniência, economia e flexibilidade. Visitas são bem-vindas.

As máquinas
elétricas do século
XIX

Clovis Goldemberg

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC
elementares

Motores de
relutância

Máquinas
dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

Gênese do motor
de indução

Corrente alternada

Niagara Falls

Steinmetz versus
Maxwell

Conclusões

SOLE OWNERS OF THE TESLA POLYPHASE SYSTEM.

The Ideal System for the distribution of power and light in factories and mills.

Motors, arc lights and incandescent lights supplied from the same circuits.

The system adopted by the Cataract Construction Company for their great plant at Niagara.

Especially adapted for transmission of power over long distances.

All machinery in our new works at East Pittsburg driven by Tesla Polyphase Motors, supplied from a central power plant. **RESULTS:** High Efficiency, Convenience, Economy and Flexibility. Inspection invited.

- Proprietários exclusivos do sistema polifásico de Tesla.
- É o sistema ideal para a distribuição de potência e luz em fábricas e oficinas.
- Motores, lâmpadas a arco e lâmpadas incandescentes são alimentados a partir do mesmo circuito.
- É o sistema adotado na construção da Usina de Niagara Falls.
- Especialmente adaptado para a transmissão de potência em longas distâncias.
- Todo o maquinário utilizado nas nossas instalações em East Pittsburg é acionado por motores polifásicos Tesla, alimentados a partir de um gerador central. Resultados: alta eficiência, conveniência, economia e flexibilidade. Visitas são bem-vindas.

As máquinas
elétricas do século
XIX

Clovis Goldemberg

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC
elementares

Motores de
relutância

Máquinas
dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

Gênese do motor
de indução

Corrente alternada

Niagara Falls

Steinmetz versus
Maxwell

Conclusões

SOLE OWNERS OF THE TESLA POLYPHASE SYSTEM.

The Ideal System for the distribution of power and light in factories and mills.

Motors, arc lights and incandescent lights supplied from the same circuits.

The system adopted by the Cataract Construction Company for their great plant at Niagara.

Especially adapted for transmission of power over long distances.

All machinery in our new works at East Pittsburg driven by Tesla Polyphase Motors, supplied from a central power plant. **RESULTS:** High Efficiency, Convenience, Economy and Flexibility. Inspection invited.

- Proprietários exclusivos do sistema polifásico de Tesla.
- É o sistema ideal para a distribuição de potência e luz em fábricas e oficinas.
- Motores, lâmpadas a arco e lâmpadas incandescentes são alimentados a partir do mesmo circuito.
- É o sistema adotado na construção da Usina de Niagara Falls.
- Especialmente adaptado para a transmissão de potência em longas distâncias.
- Todo o maquinário utilizado nas nossas instalações em East Pittsburg é acionado por motores polifásicos Tesla, alimentados a partir de um gerador central. Resultados: alta eficiência, conveniência, economia e flexibilidade. Visitas são bem-vindas.

As máquinas
elétricas do século
XIX

Clovis Goldemberg

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC
elementares

Motores de
relutância

Máquinas
dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

Gênese do motor
de indução

Corrente alternada

Niagara Falls

Steinmetz versus
Maxwell

Conclusões

SOLE OWNERS OF THE TESLA POLYPHASE SYSTEM.

The Ideal System for the distribution of power and light in factories and mills.

Motors, arc lights and incandescent lights supplied from the same circuits.

The system adopted by the Cataract Construction Company for their great plant at Niagara.

Especially adapted for transmission of power over long distances.

All machinery in our new works at East Pittsburg driven by Tesla Polyphase Motors, supplied from a central power plant. **RESULTS:** High Efficiency, Convenience, Economy and Flexibility. Inspection invited.

- Proprietários exclusivos do sistema polifásico de Tesla.
- É o sistema ideal para a distribuição de potência e luz em fábricas e oficinas.
- Motores, lâmpadas a arco e lâmpadas incandescentes são alimentados a partir do mesmo circuito.
- É o sistema adotado na construção da Usina de Niagara Falls.
- Especialmente adaptado para a transmissão de potência em longas distâncias.
- Todo o maquinário utilizado nas nossas instalações em East Pittsburg é acionado por motores polifásicos Tesla, alimentados a partir de um gerador central. Resultados: alta eficiência, conveniência, economia e flexibilidade. Visitas são bem-vindas.

SOLE OWNERS OF THE

TESLA POLYPHASE SYSTEM.

The Ideal System for the distribution of power and light in factories and mills.

Motors, arc lights and incandescent lights supplied from the same circuits.

The system adopted by the Cataract Construction Company for their great plant at Niagara.

Especially adapted for transmission of power over long distances.

All machinery in our new works at East Pittsburg driven by Tesla Polyphase Motors, supplied from a central power plant. **RESULTS:** High Efficiency, Convenience, Economy and Flexibility. Inspection invited.

- Proprietários exclusivos do sistema polifásico de Tesla.
- É o sistema ideal para a distribuição de potência e luz em fábricas e oficinas.
- Motores, lâmpadas a arco e lâmpadas incandescentes são alimentados a partir do mesmo circuito.
- É o sistema adotado na construção da Usina de Niagara Falls.
- Especialmente adaptado para a transmissão de potência em longas distâncias.
- Todo o maquinário utilizado nas nossas instalações em East Pittsburg é acionado por motores polifásicos Tesla, alimentados a partir de um gerador central. Resultados: alta eficiência, conveniência, economia e flexibilidade. Visitas são bem-vindas.

As máquinas
elétricas do século
XIX

Clovis Goldemberg

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC
elementares

Motores de
relutância

Máquinas
dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

Gênese do motor
de indução

Corrente alternada

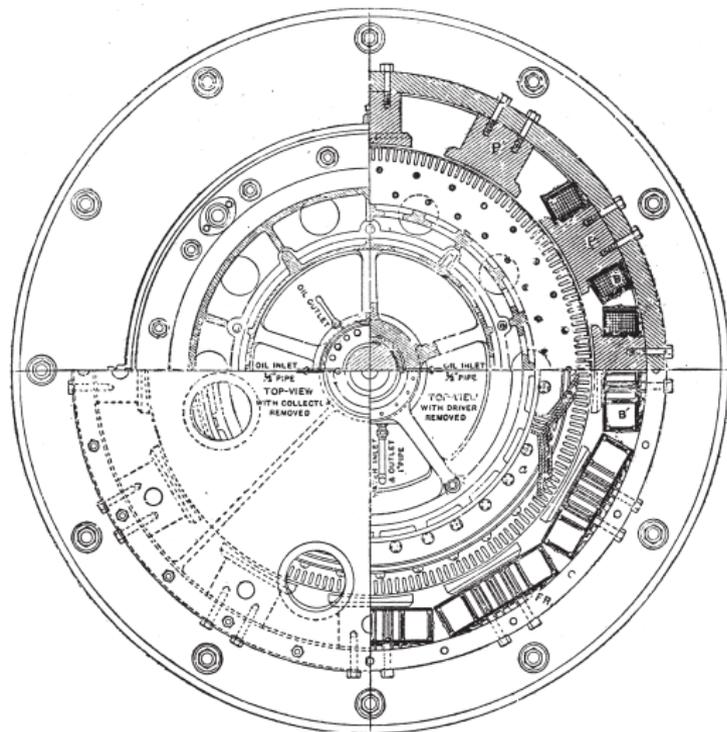
Niagara Falls

Steinmetz versus
Maxwell

Conclusões

Niagara Falls

O gerador de Niagara Falls 1 - 1895



- 12 polos
- 250 rpm
- rotor externo
- bifásico
- 25 Hz
- 5000 HP \approx 3.75MW

As máquinas elétricas do século XIX

Clovis Goldemberg

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC elementares

Motores de relutância

Máquinas dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

Gênese do motor de indução

Corrente alternada

Niagara Falls

Steinmetz versus Maxwell

Conclusões

(c) 2007, PEA - EPUSP

Autor: Clovis Goldemberg

Direitos autorais liberados, desde que mantidas as referências acima.

Niagara Falls

O sistema elétrico associado à Usina de Niagara Falls 1

(c) 2007, PEA - EPUSP
Autor: Clovis Goldemberg

As máquinas
elétricas do século
XIX

Clovis Goldemberg

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC
elementares

Motores de
relutância

Máquinas
dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

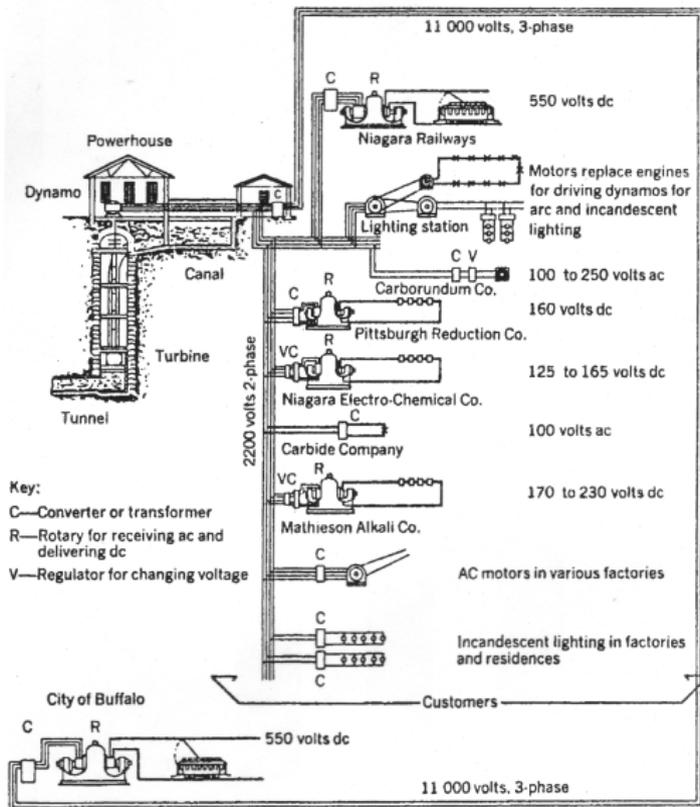
Gênese do motor
de indução

Corrente alternada

Niagara Falls

Steinmetz versus
Maxwell

Conclusões



Niagara Falls

O empreendimento de Niagara Falls (Parte 1)

- em 1889 foi formada a CCC-Companhia de Construção das Cataratas, sendo que o primeiro lançamento público de ações foi um fracasso completo
- dentre as questões não resolvidas estava: “quem é que usaria tanta energia?”. A cidade de Niagara possuía apenas 5000 habitantes e o projeto só se tornaria viável se a energia pudesse ser transmitida para Buffalo, que já tinha 250 mil habitantes.
- não havia consenso tecnológico;
- Lord Kelvin (William Thomson) foi o presidente da comissão julgadora, sendo que existiram 3 licitações

Niagara Falls

O empreendimento de Niagara Falls (Parte 1)

- em 1889 foi formada a CCC-Companhia de Construção das Cataratas, sendo que o primeiro lançamento público de ações foi um fracasso completo
- dentre as questões não resolvidas estava: “quem é que usaria tanta energia?”. A cidade de Niagara possuía apenas 5000 habitantes e o projeto só se tornaria viável se a energia pudesse ser transmitida para Buffalo, que já tinha 250 mil habitantes.
- não havia consenso tecnológico;
- Lord Kelvin (William Thomson) foi o presidente da comissão julgadora, sendo que existiram 3 licitações

Niagara Falls

O empreendimento de Niagara Falls (Parte 1)

- em 1889 foi formada a CCC-Companhia de Construção das Cataratas, sendo que o primeiro lançamento público de ações foi um fracasso completo
- dentre as questões não resolvidas estava: “quem é que usaria tanta energia?”. A cidade de Niagara possuía apenas 5000 habitantes e o projeto só se tornaria viável se a energia pudesse ser transmitida para Buffalo, que já tinha 250 mil habitantes.
- não havia consenso tecnológico;
- Lord Kelvin (William Thomson) foi o presidente da comissão julgadora, sendo que existiram 3 licitações

Niagara Falls

O empreendimento de Niagara Falls (Parte 1)

- em 1889 foi formada a CCC-Companhia de Construção das Cataratas, sendo que o primeiro lançamento público de ações foi um fracasso completo
- dentre as questões não resolvidas estava: “quem é que usaria tanta energia?”. A cidade de Niagara possuía apenas 5000 habitantes e o projeto só se tornaria viável se a energia pudesse ser transmitida para Buffalo, que já tinha 250 mil habitantes.
- não havia consenso tecnológico;
- Lord Kelvin (William Thomson) foi o presidente da comissão julgadora, sendo que existiram 3 licitações

Niagara Falls

As propostas da primeira licitação de Niagara Falls

- Existiam 14 propostas:
 - 7 propostas envolviam o uso de energia elétrica para a transmissão e distribuição. 5 destas propostas eram DC e apenas 2 AC. Uma das propostas envolvia carregar baterias em Buffalo que seriam posteriormente distribuídas. Apenas 1 proposta era AC polifásica.
 - 4 propostas envolviam transmissão de energia por ar comprimido, que poderia ser diretamente utilizado nas máquinas a vapor previamente existentes
 - 1 proposta era hidráulica
 - 1 proposta era puramente mecânica (cabos de aço)
 - 1 proposta não detalhava o modo de transmissão
- A primeira licitação foi cancelada
- Neste intervalo continuaram as obras civis sendo que a construção do túnel terminou em Dez/1892.

(c) 2007, PEA - EPUSP

Autor: Clovis Goldemberg

Direitos autorais liberados, desde que mantidas as referências acima.

As máquinas
elétricas do século
XIX

Clovis Goldemberg

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC
elementares

Motores de
relutância

Máquinas
dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

Gênese do motor
de indução

Corrente alternada

Niagara Falls

Steinmetz versus
Maxwell

Conclusões

Niagara Falls

As propostas da primeira licitação de Niagara Falls

- Existiam 14 propostas:
 - 7 propostas envolviam o uso de energia elétrica para a transmissão e distribuição. 5 destas propostas eram DC e apenas 2 AC. Uma das propostas envolvia carregar baterias em Buffalo que seriam posteriormente distribuídas. Apenas 1 proposta era AC polifásica.
 - 4 propostas envolviam transmissão de energia por ar comprimido, que poderia ser diretamente utilizado nas máquinas a vapor previamente existentes
 - 1 proposta era hidráulica
 - 1 proposta era puramente mecânica (cabos de aço)
 - 1 proposta não detalhava o modo de transmissão
- A primeira licitação foi cancelada
 - Neste intervalo continuaram as obras civis sendo que a construção do túnel terminou em Dez/1892.

(c) 2007, PEA - EPUSP

Autor: Clovis Goldemberg

Direitos autorais liberados, desde que mantidas as referências acima.

As máquinas
elétricas do século
XIX

Clovis Goldemberg

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC
elementares

Motores de
relutância

Máquinas
dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

Gênese do motor
de indução

Corrente alternada

Niagara Falls

Steinmetz versus
Maxwell

Conclusões

Niagara Falls

As propostas da primeira licitação de Niagara Falls

- Existiam 14 propostas:
 - 7 propostas envolviam o uso de energia elétrica para a transmissão e distribuição. 5 destas propostas eram DC e apenas 2 AC. Uma das propostas envolvia carregar baterias em Buffalo que seriam posteriormente distribuídas. Apenas 1 proposta era AC polifásica.
 - 4 propostas envolviam transmissão de energia por ar comprimido, que poderia ser diretamente utilizado nas máquinas a vapor previamente existentes
 - 1 proposta era hidráulica
 - 1 proposta era puramente mecânica (cabos de aço)
 - 1 proposta não detalhava o modo de transmissão
- A primeira licitação foi cancelada
- Neste intervalo continuaram as obras civis sendo que a construção do túnel terminou em Dez/1892.

(c) 2007, PEA - EPUSP

Autor: Clovis Goldemberg

Direitos autorais liberados, desde que mantidas as referências acima.

As máquinas
elétricas do século
XIX

Clovis Goldemberg

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC
elementares

Motores de
relutância

Máquinas
dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

Gênese do motor
de indução

Corrente alternada

Niagara Falls

Steinmetz versus
Maxwell

Conclusões

Niagara Falls

As propostas da segunda e terceira licitação de Niagara Falls (propostas puramente elétricas):

- O edital não especificava AC ou DC, tendo sido convidadas 6 empresas: 3 americanas e 3 europeias
- Dentre as empresas americanas existiam: Westinghouse (AC), Thomson-Houston (AC), Edison General Electric (DC)
- Na terceira licitação ficaram apenas as empresas americanas (protecionismo). Como a General Electric e Thomson-Houston haviam se agrupado sobraram apenas 2 empresas.
- A primeira transmissão para Buffalo ocorreu em Novembro/1896, com direito a banda de música, salva de tiros de canhão e o início do funcionamento do sistema de bondes.

As máquinas elétricas do século XIX

Clovis Goldemberg

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC elementares

Motores de relutância

Máquinas dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

Gênese do motor de indução

Corrente alternada

Niagara Falls

Steinmetz versus Maxwell

Conclusões

Niagara Falls

As propostas da segunda e terceira licitação de Niagara Falls (propostas puramente elétricas):

- O edital não especificava AC ou DC, tendo sido convidadas 6 empresas: 3 americanas e 3 européias
- Dentre as empresas americanas existiam: Westinghouse (AC), Thomson-Houston (AC), Edison General Electric (DC)
- Na terceira licitação ficaram apenas as empresas americanas (protecionismo). Como a General Electric e Thomson-Houston haviam se agrupado sobraram apenas 2 empresas.
- A primeira transmissão para Buffalo ocorreu em Novembro/1896, com direito a banda de música, salva de tiros de canhão e o início do funcionamento do sistema de bondes.

As máquinas elétricas do século XIX

Clovis Goldemberg

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC elementares

Motores de relutância

Máquinas dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

Gênese do motor de indução

Corrente alternada

Niagara Falls

Steinmetz versus Maxwell

Conclusões

Niagara Falls

As propostas da segunda e terceira licitação de Niagara Falls (propostas puramente elétricas):

- O edital não especificava AC ou DC, tendo sido convidadas 6 empresas: 3 americanas e 3 européias
- Dentre as empresas americanas existiam: Westinghouse (AC), Thomson-Houston (AC), Edison General Electric (DC)
- Na terceira licitação ficaram apenas as empresas americanas (protecionismo). Como a General Electric e Thomson-Houston haviam se agrupado sobraram apenas 2 empresas.
- A primeira transmissão para Buffalo ocorreu em Novembro/1896, com direito a banda de música, salva de tiros de canhão e o início do funcionamento do sistema de bondes.

As máquinas elétricas do século XIX

Clovis Goldemberg

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC elementares

Motores de relutância

Máquinas dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

Gênese do motor de indução

Corrente alternada

Niagara Falls

Steinmetz versus Maxwell

Conclusões

Niagara Falls

As propostas da segunda e terceira licitação de Niagara Falls (propostas puramente elétricas):

- O edital não especificava AC ou DC, tendo sido convidadas 6 empresas: 3 americanas e 3 europeias
- Dentre as empresas americanas existiam: Westinghouse (AC), Thomson-Houston (AC), Edison General Electric (DC)
- Na terceira licitação ficaram apenas as empresas americanas (protecionismo). Como a General Electric e Thomson-Houston haviam se agrupado sobraram apenas 2 empresas.
- A primeira transmissão para Buffalo ocorreu em Novembro/1896, com direito a banda de música, salva de tiros de canhão e o início do funcionamento do sistema de bondes.

As máquinas elétricas do século XIX

Clovis Goldemberg

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC elementares

Motores de relutância

Máquinas dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

Gênese do motor de indução

Corrente alternada

Niagara Falls

Steinmetz versus Maxwell

Conclusões

Niagara Falls

Niagara Falls e os ecologistas

- Um dos primeiros movimentos a favor da construção de Niagara Falls teve motivação ecológica. O “Free Niagara Movement” tinha como objetivo restaurar as cataratas e redondezas para a condição original.
- Quase todas as margens do rio e mesmo algumas ilhas haviam sido ocupadas por pequenas fábricas que usavam a água para movimentar diretamente suas máquinas.
- Dentre os participantes ilustres do “Free Niagara Movement” estava Frederick Olmsted, que havia concebido o Central Park de Nova York.
- Niagara Falls foi o terceiro parque nacional dos EUA, tendo sido precedido por Yellowstone e Yosemite. Entretanto, foi o único que exigiu desapropriações.

As máquinas
elétricas do século
XIX

Clovis Goldemberg

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC
elementares

Motores de
relutância

Máquinas
dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

Gênese do motor
de indução

Corrente alternada

Niagara Falls

Steinmetz versus
Maxwell

Conclusões

Niagara Falls

Niagara Falls e os ecologistas

- Um dos primeiros movimentos a favor da construção de Niagara Falls teve motivação ecológica. O “Free Niagara Movement” tinha como objetivo restaurar as cataratas e redondezas para a condição original.
- Quase todas as margens do rio e mesmo algumas ilhas haviam sido ocupadas por pequenas fábricas que usavam a água para movimentar diretamente suas máquinas.
- Dentre os participantes ilustres do “Free Niagara Movement” estava Frederick Olmsted, que havia concebido o Central Park de Nova York.
- Niagara Falls foi o terceiro parque nacional dos EUA, tendo sido precedido por Yellowstone e Yosemite. Entretanto, foi o único que exigiu desapropriações.

Niagara Falls

Niagara Falls e os ecologistas

- Um dos primeiros movimentos a favor da construção de Niagara Falls teve motivação ecológica. O “Free Niagara Movement” tinha como objetivo restaurar as cataratas e redondezas para a condição original.
- Quase todas as margens do rio e mesmo algumas ilhas haviam sido ocupadas por pequenas fábricas que usavam a água para movimentar diretamente suas máquinas.
- Dentre os participantes ilustres do “Free Niagara Movement” estava Frederick Olmsted, que havia concebido o Central Park de Nova York.
- Niagara Falls foi o terceiro parque nacional dos EUA, tendo sido precedido por Yellowstone e Yosemite. Entretanto, foi o único que exigiu desapropriações.

Niagara Falls

Niagara Falls e os ecologistas

- Um dos primeiros movimentos a favor da construção de Niagara Falls teve motivação ecológica. O “Free Niagara Movement” tinha como objetivo restaurar as cataratas e redondezas para a condição original.
- Quase todas as margens do rio e mesmo algumas ilhas haviam sido ocupadas por pequenas fábricas que usavam a água para movimentar diretamente suas máquinas.
- Dentre os participantes ilustres do “Free Niagara Movement” estava Frederick Olmsted, que havia concebido o Central Park de Nova York.
- Niagara Falls foi o terceiro parque nacional dos EUA, tendo sido precedido por Yellowstone e Yosemite. Entretanto, foi o único que exigiu desapropriações.

As máquinas
elétricas do século
XIX

Clovis Goldemberg

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC
elementares

Motores de
relutância

Máquinas
dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

Gênese do motor
de indução

Corrente alternada

Niagara Falls

Steinmetz versus
Maxwell

Conclusões

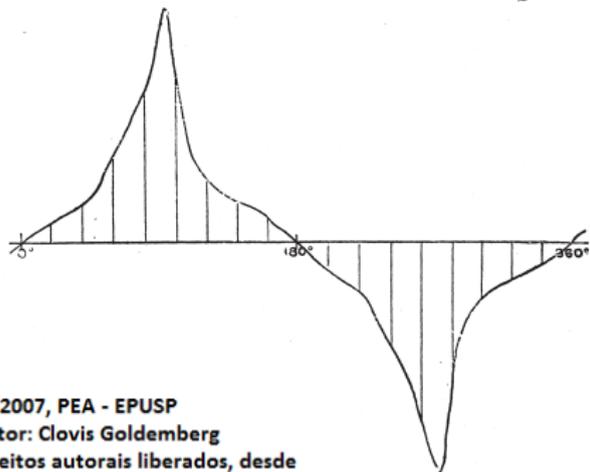
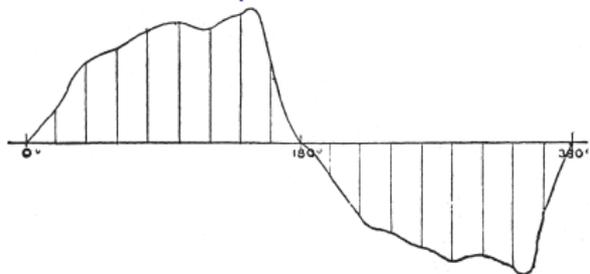
Niagara Falls

Formas de onda dos alternadores.

Ganz e Cia. (parte superior), Siemens & Halske (parte inferior)

Extraído de “Courants polyphasés et alterno-moteurs”

Silvanus P. Thompson / Paris/1901



(c) 2007, PEA - EPUSP

Autor: Clovis Goldemberg

Direitos autorais liberados, desde
que mantidas as referências acima.

As máquinas
elétricas do século
XIX

Clovis Goldemberg

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC
elementares

Motores de
relutância

Máquinas
dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

Gênese do motor
de indução

Corrente alternada

Niagara Falls

Steinmetz versus
Maxwell

Conclusões

Steinmetz versus Maxwell



- nunca se encontraram mas a polêmica surgiu em 1894, na análise de motores de indução, através de Michael Pupin, que dizia:
- “... as tentativas dos mortais comuns em fazerem algo melhor do que Maxwell devem ser desencorajadas. Devemos seguir com Maxwell o máximo que pudermos até que alguém mais profundo do que ele nasça ...”
- para Pupin, a teoria de Maxwell era a melhor base para a eletrotecnologia. As tentativas de modificar a teoria para os fins práticos de projeto iriam enfraquecer as estruturas fundamentais sobre as quais repousava o edifício completo da engenharia elétrica.
- Steinmetz e Kennelly (entre outros) não tinham a intenção de modificar a teoria eletromagnética de Maxwell. Queriam apenas resolver os problemas dos “mortais comuns” adaptando a teoria para fins práticos.

As máquinas elétricas do século XIX

Clovis Goldemberg

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC elementares

Motores de relutância

Máquinas dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

Gênese do motor de indução

Corrente alternada

Niagara Falls

Steinmetz versus Maxwell

Conclusões

(c) 2007, PEA - EPUSP

Autor: Clovis Goldemberg

Direitos autorais liberados, desde que mantidas as referências acima.

Steinmetz versus Maxwell



- nunca se encontraram mas a polêmica surgiu em 1894, na análise de motores de indução, através de Michael Pupin, que dizia:
- "... as tentativas dos mortais comuns em fazerem algo melhor do que Maxwell devem ser desencorajadas. Devemos seguir com Maxwell o máximo que pudermos até que alguém mais profundo do que ele nasça ..."
- para Pupin, a teoria de Maxwell era a melhor base para a eletrotecnologia. As tentativas de modificar a teoria para os fins práticos de projeto iriam enfraquecer as estruturas fundamentais sobre as quais repousava o edifício completo da engenharia elétrica.
- Steinmetz e Kennelly (entre outros) não tinham a intenção de modificar a teoria eletromagnética de Maxwell. Queriam apenas resolver os problemas dos "mortais comuns" adaptando a teoria para fins práticos.

As máquinas elétricas do século XIX

Clovis Goldemberg

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC elementares

Motores de relutância

Máquinas dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

Gênese do motor de indução

Corrente alternada

Niagara Falls

Steinmetz versus Maxwell

Conclusões

(c) 2007, PEA - EPUSP

Autor: Clovis Goldemberg

Direitos autorais liberados, desde que mantidas as referências acima.

Steinmetz versus Maxwell

- em 17/Outubro/1894 Samuel Reber, orientado de Pupin, apresentou o trabalho “Teoria dos motores bifásicos e trifásicos”. Seguiu-se um debate áspero entre Pupin, Steinmetz e Kennelly.
- na análise do motor de indução feita pelos Maxwellianos (Reber e Pupin) eram desprezadas a dispersão e as perdas no circuito magnético. Além disso envolvia uma matemática considerável.
- Steinmetz objetou que o trabalho era muito matemático e muito limitado, sendo incapaz de considerar os efeitos básicos do motor. Em particular, mencionou que a dispersão jamais poderia ser desprezada pois é quem define a potência máxima do motor.
- Kennelly apoiou Steinmetz dizendo: “métodos de engenharia devem ser utilizados para os problemas da engenharia”.
- Steinmetz apresentou a seguir sua teoria, baseada no circuito equivalente, extremamente simples e capaz de prever o comportamento do motor de indução de forma completa.

(c) 2007, PEA - EPUSP

Autor: Clovis Goldemberg

Direitos autorais liberados, desde
que mantidas as referências acima.

As máquinas
elétricas do século
XIX

Clovis Goldemberg

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC
elementares

Motores de
relutância

Máquinas
dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

Gênese do motor
de indução

Corrente alternada

Niagara Falls

Steinmetz versus
Maxwell

Conclusões

Steinmetz versus Maxwell

- em 17/Outubro/1894 Samuel Reber, orientado de Pupin, apresentou o trabalho “Teoria dos motores bifásicos e trifásicos”. Seguiu-se um debate áspero entre Pupin, Steinmetz e Kennelly.
- na análise do motor de indução feita pelos Maxwellianos (Reber e Pupin) eram desprezadas a dispersão e as perdas no circuito magnético. Além disso envolvia uma matemática considerável.
- Steinmetz objetou que o trabalho era muito matemático e muito limitado, sendo incapaz de considerar os efeitos básicos do motor. Em particular, mencionou que a dispersão jamais poderia ser desprezada pois é quem define a potência máxima do motor.
- Kennelly apoiou Steinmetz dizendo: “métodos de engenharia devem ser utilizados para os problemas da engenharia”.
- Steinmetz apresentou a seguir sua teoria, baseada no circuito equivalente, extremamente simples e capaz de prever o comportamento do motor de indução de forma completa.

(c) 2007, PEA - EPUSP

Autor: Clovis Goldemberg

Direitos autorais liberados, desde
que mantidas as referências acima.

As máquinas
elétricas do século
XIX

Clovis Goldemberg

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC
elementares

Motores de
relutância

Máquinas
dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

Gênese do motor
de indução

Corrente alternada

Niagara Falls

Steinmetz versus
Maxwell

Conclusões

Steinmetz versus Maxwell

- em 17/Outubro/1894 Samuel Reber, orientado de Pupin, apresentou o trabalho “Teoria dos motores bifásicos e trifásicos”. Seguiu-se um debate áspero entre Pupin, Steinmetz e Kennelly.
- na análise do motor de indução feita pelos Maxwellianos (Reber e Pupin) eram desprezadas a dispersão e as perdas no circuito magnético. Além disso envolvia uma matemática considerável.
- Steinmetz objetou que o trabalho era muito matemático e muito limitado, sendo incapaz de considerar os efeitos básicos do motor. Em particular, mencionou que a dispersão jamais poderia ser desprezada pois é quem define a potência máxima do motor.
- Kennelly apoiou Steinmetz dizendo: “métodos de engenharia devem ser utilizados para os problemas da engenharia”.
- Steinmetz apresentou a seguir sua teoria, baseada no circuito equivalente, extremamente simples e capaz de prever o comportamento do motor de indução de forma completa.

(c) 2007, PEA - EPUSP

Autor: Clovis Goldemberg

Direitos autorais liberados, desde que mantidas as referências acima.

As máquinas elétricas do século XIX

Clovis Goldemberg

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC elementares

Motores de relutância

Máquinas dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

Gênese do motor de indução

Corrente alternada

Niagara Falls

Steinmetz versus Maxwell

Conclusões

Steinmetz versus Maxwell

- em 17/Outubro/1894 Samuel Reber, orientado de Pupin, apresentou o trabalho “Teoria dos motores bifásicos e trifásicos”. Seguiu-se um debate áspero entre Pupin, Steinmetz e Kennelly.
- na análise do motor de indução feita pelos Maxwellianos (Reber e Pupin) eram desprezadas a dispersão e as perdas no circuito magnético. Além disso envolvia uma matemática considerável.
- Steinmetz objetou que o trabalho era muito matemático e muito limitado, sendo incapaz de considerar os efeitos básicos do motor. Em particular, mencionou que a dispersão jamais poderia ser desprezada pois é quem define a potência máxima do motor.
- Kennelly apoiou Steinmetz dizendo: “métodos de engenharia devem ser utilizados para os problemas da engenharia”.
- Steinmetz apresentou a seguir sua teoria, baseada no circuito equivalente, extremamente simples e capaz de prever o comportamento do motor de indução de forma completa.

Steinmetz versus Maxwell

- em 17/Outubro/1894 Samuel Reber, orientado de Pupin, apresentou o trabalho “Teoria dos motores bifásicos e trifásicos”. Seguiu-se um debate áspero entre Pupin, Steinmetz e Kennelly.
- na análise do motor de indução feita pelos Maxwellianos (Reber e Pupin) eram desprezadas a dispersão e as perdas no circuito magnético. Além disso envolvia uma matemática considerável.
- Steinmetz objetou que o trabalho era muito matemático e muito limitado, sendo incapaz de considerar os efeitos básicos do motor. Em particular, mencionou que a dispersão jamais poderia ser desprezada pois é quem define a potência máxima do motor.
- Kennelly apoiou Steinmetz dizendo: “métodos de engenharia devem ser utilizados para os problemas da engenharia”.
- Steinmetz apresentou a seguir sua teoria, baseada no circuito equivalente, extremamente simples e capaz de prever o comportamento do motor de indução de forma completa.

(c) 2007, PEA - EPUSP

Autor: Clovis Goldemberg

Direitos autorais liberados, desde que mantidas as referências acima.

As máquinas elétricas do século XIX

Clovis Goldemberg

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC elementares

Motores de relutância

Máquinas dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

Gênese do motor de indução

Corrente alternada

Niagara Falls

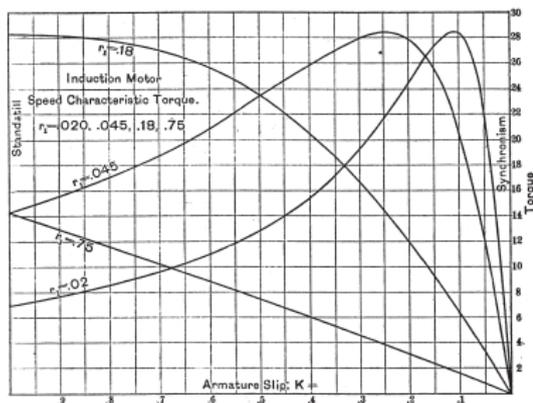
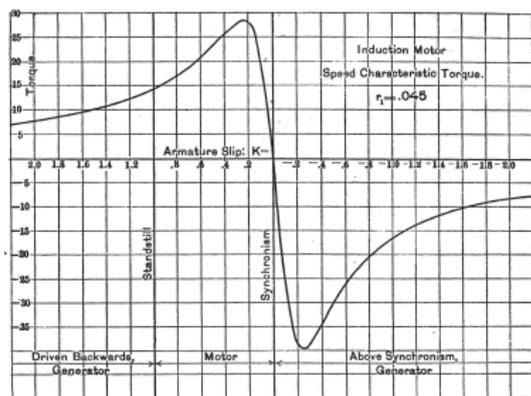
Steinmetz versus Maxwell

Conclusões

Steinmetz versus Maxwell

A origem da polêmica está na forma pela qual o fluxo interno ao motor é interpretado. Na visão de Steinmetz seria possível separar o fluxo mútuo do fluxo disperso, o que facilitava a análise e projeto do motor. Na visão dos Maxwellianos existia apenas o fluxo total e o mútuo. Atualmente sabe-se que é possível compatibilizar as duas visões.

As curvas apresentadas por Steinmetz durante o debate de 1894 estão dadas abaixo. (Esquerda) Curva característica completa do motor de indução. (Direita) Curva característica do motor de indução variando-se a resistencia rotórica.

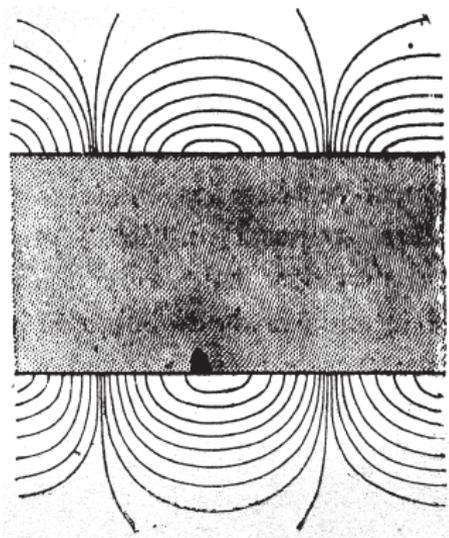
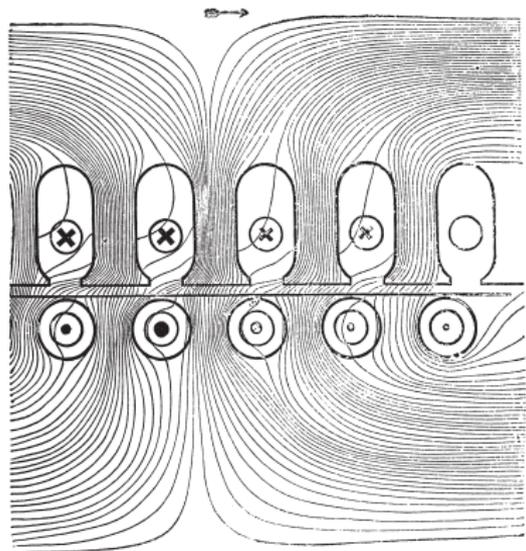


Steinmetz versus Maxwell

Fluxos num motor de indução trifásico

Extraído de “Courants polyphasés et altermoteurs”

Silvanus P. Thompson - Paris/1901



As máquinas elétricas do século XIX

Clovis Goldemberg

Introdução

Disco de Arago

Faraday

Máquinas DC elementares

Motores de relutância

Máquinas dínamo-elétricas

Faça-se a luz...

Transformadores

Circuitos elétricos

Gênese do motor de indução

Corrente alternada

Niagara Falls

Steinmetz versus Maxwell

Conclusões

(c) 2007, PEA - EPUSP

Autor: Clovis Goldemberg

Direitos autorais liberados, desde que mantidas as referências acima.

Conclusões

- Existem relatos de que o Primeiro-Ministro inglês teria perguntado a Faraday a utilidade da eletricidade.
- Uma primeira resposta atribuída a Faraday foi: “qual a utilidade de um bebê recém-nascido?”. De fato, as primeiras invenções eram efetivamente muito primitivas, demorando quase meio século para se viabilizarem.
- A segunda resposta, mais cínica, foi: “é provável que algum dia o Sr. possa taxá-la!” O surgimento de grandes empresas (GE, Westinghouse, Siemens, ABB, AEG, etc) ao final do século XIX certamente permitiu um aumento significativo na arrecadação de inúmeros países. Mas, acima de tudo, o sucesso tecnológico mudou a face do mundo!
- Tal sucesso dependeu de sorte, bom-senso, recursos, ciência e engenharia (o ouvinte escolhe a ordem que preferir . . .)

Conclusões

- Existem relatos de que o Primeiro-Ministro inglês teria perguntado a Faraday a utilidade da eletricidade.
- Uma primeira resposta atribuída a Faraday foi: “qual a utilidade de um bebê recém-nascido?”. De fato, as primeiras invenções eram efetivamente muito primitivas, demorando quase meio século para se viabilizarem.
- A segunda resposta, mais cínica, foi: “é provável que algum dia o Sr. possa taxá-la!” O surgimento de grandes empresas (GE, Westinghouse, Siemens, ABB, AEG, etc) ao final do século XIX certamente permitiu um aumento significativo na arrecadação de inúmeros países. Mas, acima de tudo, o sucesso tecnológico mudou a face do mundo!
- Tal sucesso dependeu de sorte, bom-senso, recursos, ciência e engenharia (o ouvinte escolhe a ordem que preferir . . .)

Conclusões

- Existem relatos de que o Primeiro-Ministro inglês teria perguntado a Faraday a utilidade da eletricidade.
- Uma primeira resposta atribuída a Faraday foi: “qual a utilidade de um bebê recém-nascido?”. De fato, as primeiras invenções eram efetivamente muito primitivas, demorando quase meio século para se viabilizarem.
- A segunda resposta, mais cínica, foi: “é provável que algum dia o Sr. possa taxá-la!” O surgimento de grandes empresas (GE, Westinghouse, Siemens, ABB, AEG, etc) ao final do século XIX certamente permitiu um aumento significativo na arrecadação de inúmeros países. Mas, acima de tudo, o sucesso tecnológico mudou a face do mundo!
- Tal sucesso dependeu de sorte, bom-senso, recursos, ciência e engenharia (o ouvinte escolhe a ordem que preferir ...)

Conclusões

- Existem relatos de que o Primeiro-Ministro inglês teria perguntado a Faraday a utilidade da eletricidade.
- Uma primeira resposta atribuída a Faraday foi: “qual a utilidade de um bebê recém-nascido?”. De fato, as primeiras invenções eram efetivamente muito primitivas, demorando quase meio século para se viabilizarem.
- A segunda resposta, mais cínica, foi: “é provável que algum dia o Sr. possa taxá-la!” O surgimento de grandes empresas (GE, Westinghouse, Siemens, ABB, AEG, etc) ao final do século XIX certamente permitiu um aumento significativo na arrecadação de inúmeros países. Mas, acima de tudo, o sucesso tecnológico mudou a face do mundo!
- Tal sucesso dependeu de sorte, bom-senso, recursos, ciência e engenharia (o ouvinte escolhe a ordem que preferir . . .)