

PEA5918 – Redes Elétricas Inteligentes e Microrredes (*Smart Grids* e *Microgrids*)

A evolução dos Sistemas Elétricos de Potência

Giovanni Manassero Junior

Depto. de Engenharia de Energia e Automação Elétricas
Escola Politécnica da USP

Junho/2011

Aspectos gerais

Sistemas elétricos de potência

- Sistemas elétricos de potência encontram-se entre as construções mais impressionantes desenvolvidas pelo homem, quando se considera os pontos de vista técnico, econômico e científico. Uma grande rede de conversão e transporte de energia, responsável por definir o comportamento da sociedade, bem como os meios de produção;
- O período de 1880 e 1930 é formativo. Nesses anos os profissionais envolvidos com o desenvolvimento desses sistemas foram responsáveis por:
 - Identificar e analisar os recursos naturais disponíveis, de modo a utilizá-los em favor do desenvolvimento econômico da sociedade;
 - Avaliar as condições econômicas, políticas e sociais de cada solução particular.

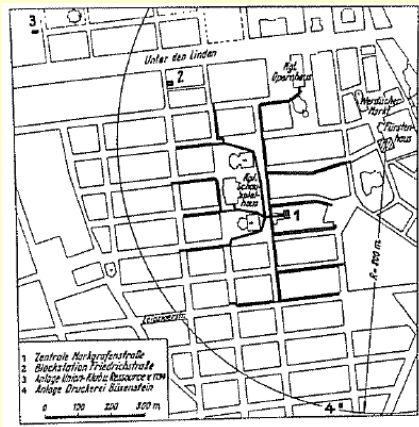
A evolução dos sistemas elétricos de potência

Aspectos responsáveis pelas mudanças

- As mudanças pelas quais passaram os sistemas elétricos de potência não podem ser explicadas exclusivamente por aspectos técnicos;
- Normalmente essas mudanças envolvem aspectos técnicos e científicos, econômicos, políticos e organizacionais;
- Apesar de refletirem o contexto em que se inserem, os sistemas de potência têm dinâmica própria;
- Isto significa que esses sistemas produziram modificações profundas na sociedade e, em contrapartida, foram modificados por essa mesma sociedade.

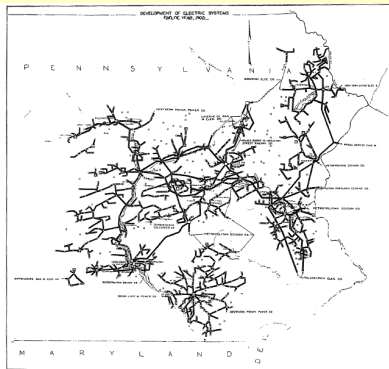
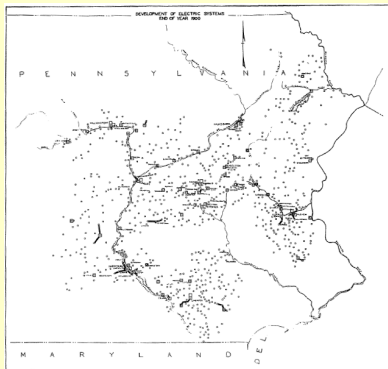
Sistema de distribuição - Berlim (1885)

Primórdios da eletrificação da sociedade ocidental



Sistema de distribuição - Pennsylvania (1900 e 1930)

Particularidades da evolução da sociedade ocidental



Evolução dos sistemas elétricos de potência

Fases evolutivas

- Invenção e desenvolvimento: “inventores-empreendedores” responsáveis por toda a cadeia criativa, desde sua concepção até sua comercialização;
- Transferência de tecnologia: atividades de inventores, empreendedores, investidores e executivos na sua consolidação;
- Crescimento e proliferação: inclui os profissionais das outras fases no desenvolvimento de soluções e práticas para o seu crescimento;
- Quantidade de movimento: reúne os ativos dos sistemas, os profissionais envolvidos, agentes governamentais, sociedades profissionais e instituições educacionais em torno de objetivos semelhantes e/ou comuns.

Invenção e desenvolvimento

Definições

- Esta etapa é caracterizada pela invenção do sistema e pelo desenvolvimento de soluções para sua comercialização;
- O profissional que possui papel fundamental nesta etapa é o “inventor-empresendedor”;
- Engenheiros, executivos e investidores também fazem parte desta etapa, porém não interferem diretamente no trabalho desenvolvido pelo “inventor-empresendedor”;
- Um exemplo desta etapa é o desenvolvimento dos sistemas de fornecimento de energia elétrica em corrente contínua (Thomas Edison).

Transferência de tecnologia

Definições

- Esta etapa consiste na troca de informações entre os profissionais envolvidos na primeira etapa (caso o desenvolvimento seja concomitante em outras sociedades);
- Diversos profissionais possuem papéis fundamentais nesta etapa: “inventores-empresendedores”, inventores, empresários, investidores e executivos.
- Um exemplo desta etapa é a transferência de tecnologia dos Estados Unidos para a Inglaterra, dos sistemas de fornecimento de energia elétrica em corrente contínua desenvolvidos por Thomas Edison.

Crescimento e proliferação

Definições

- A característica essencial desta etapa é o crescimento e proliferação dos sistemas;
- O crescimento dos sistemas, por vezes desordenado, pode produzir “reversos salientes”;
- Neste caso, os inventores, engenheiros e demais profissionais devem ser capazes de dividir esses “reversos salientes” em “problemas críticos” e desenvolver soluções para esses problemas;
- Caso os “problemas críticos” não possuam soluções a partir da tecnologia desenvolvida, deve-se desenvolver novas (p. ex. transmissão de energia elétrica em corrente contínua, em baixa tensão).

Quantidade de movimento

Definições

- De um modo geral, sistemas em crescimento adquirem “quantidade de movimento” (massa, velocidade e direção);
- No caso particular de sistemas de potência, a massa consiste nos equipamentos e nas pessoas envolvidas (engenheiros, agentes governamentais, sociedades profissionais e instituições educacionais), responsáveis por definir o que se entende como “cultura do sistema”;
- A velocidade de crescimento é determinada em parte por essa cultura e a direção é determinada por seus objetivos.

Thomas Alva Edison

O “inventor-emprededor”

- Thomas Edison foi responsável pela concepção de um sistema de iluminação em corrente contínua;
- A amplitude da concepção de Edison consistiu no desenvolvimento dos equipamentos de geração, da arquitetura das redes de distribuição e das lâmpadas;
- O seu sistema foi instalado em caráter experimental, na cidade de New York em 1882 (estação de geração de Pearl Street);
- Para viabilizar sua concepção de sistemas, foi necessário coordenar esforços de pesquisa, desenvolvimento, financiamento e gerenciamento das invenções.

O processo de desenvolvimento

Technological push ou market pull?

- Normalmente o processo de avanço tecnológico é compelido pelo *technological push* e/ou *market pull*. O avanço proporcionado pelo sistema de iluminação de Edison é uma combinação dos dois;
- Edison faz parte da categoria dos “inventores-empresendedores” porque foi capaz de conceber o sistema de iluminação, desde a etapa de pesquisa básica dirigida até a sua inserção no mercado (etapas tradicionais: pesquisa básica dirigida, pesquisa aplicada, desenvolvimento experimental, cabeça de série e lote pioneiro ou inserção no mercado);

A lâmpada incandescente

Invenção ou desenvolvimento?

- Lâmpadas a arco foram desenvolvidas por Zénobe Gramme, Pavel Yablochkov e outros inventores da década de 1870;
- Essas lâmpadas foram utilizadas para iluminar a *Paris Exposition* em 1878, porém não eram adequadas para iluminação interior, devido à luminosidade muito elevada;
- A diferença entre as lâmpadas a arco da época era a mecânica interna que permitia a regulação do comprimento do arco elétrico;
- As soluções comerciais para lâmpadas incandescentes foram desenvolvidas e patenteadas quase simultaneamente por Joseph Wilson Swan, em 1878, e Thomas Edison, em 1879. Porém, lâmpadas experimentais incandescentes datam de 1809.

Menlo Park

Thomas Edison, o feiticeiro de Menlo Park

- O laboratório de eletricidade de Menlo Park estava entre os mais bem equipados do mundo;
- Edison não poupava com a aquisição de equipamentos, nem com a contratação de pessoal;
- Em apenas quatro anos, Thomas Edison solicitou a patente de trezentos e vinte invenções relacionadas com o seu sistema de iluminação (60 em 1880, 89 em 1881, 107 em 1882 e 64 em 1883);
- Vale ressaltar que Thomas Edison obteve mais de mil patentes para os seus inventos, tornando-se um dos maiores inventores dos Estados Unidos.

Menlo Park

Thomas Edison, o feiticeiro de Menlo Park



A estação de Pearl Street

Estação central de fornecimento de energia

- Pearl Street ficava no distrito financeiro e comercial de NY;
- A instalação de uma estação nesse endereço permitia o fornecimento de energia elétrica para escritórios, lojas e restaurantes em um raio de aproximadamente 2,5 km²;
- Porém, o objetivo principal da escolha desse endereço em particular era atrair o olhar de potenciais investidores;
- A construção da estação teve início no ano de 1882 e Thomas Edison participou ativamente de todas as etapas;
- A inauguração da estação se deu em 04/09/1882, atendendo a uma carga inicial de 400 lâmpadas distribuídas entre 85 clientes.

A estação de Pearl Street

Ampliação do atendimento

- Em outubro de 1882 havia contratos para fornecimento de energia elétrica a 1626 lâmpadas e 1284 estavam em uso;
- No ano seguinte, os contratos para fornecimento totalizavam 11555 lâmpadas e 8573 estavam em uso;
- Em janeiro de 1890 a estação se incendiou, foi reconstruída em seguida e encerrou as atividades definitivamente no ano de 1894.
- É importante ressaltar que, mesmo que o incêndio não ocorresse, a estação não permaneceria operando, uma vez que não se apresentava como uma alternativa viável economicamente.

A estação de Pearl Street

Reprodução do edifício



O fim de uma era

A última estação para fornecimento em corrente contínua

City Room



November 14, 2007, 12:53 PM

Off Goes the Power Current Started by Thomas Edison

By JENNIFER B. LEE

Today, Con Edison will end 125 years of [direct current](#) electricity service that began when Thomas Edison [opened his Pearl Street power station on Sept. 4, 1882](#). Con Ed will now only provide [alternating current](#), in a final, vestigial triumph by [Nikola Tesla](#) and [George Westinghouse](#), Mr. Edison's rivals who were the main proponents of alternating current in the AC/DC debates of the turn of the 20th century.

The last snip of Con Ed's direct current system will take place at 10 East 40th Street, near the Mid-Manhattan Library. That building, like the thousands of other direct



Con Edison's original power plant on Pearl Street. (Illustration: Consolidated Edison)

Transferência de tecnologia para o ocidente

Recursos naturais, demanda e mão de obra qualificada

- A tecnologia desenvolvida para a estação de Pearl Street foi particularizada conforme a disponibilidade de recursos (carvão e água) e a demanda de NY;
- Esse desenvolvimento utilizou os amplos recursos financeiros da cidade e não sofreu objeções dos órgãos governamentais (após a obtenção da permissão para implantação do sistema);
- Além disso, a construção da estação de Pearl Street foi executada por operários qualificados, recrutados na região nordeste dos Estados Unidos (NY inclusa);
- Apesar desses fatores regionais, Thomas Edison acreditava que seu sistema pudesse ser instalado em qualquer grande cidade do ocidente.

Recursos financeiros e parceiros comerciais

Estratégia de obtenção

- A estratégia utilizada para a transferência de tecnologia consistia na busca de interessados na construção e operação das estações para o fornecimento de energia elétrica;
- Os interessados eram responsáveis pela captação dos recursos financeiros e pela viabilização legal do negócio;
- Via de regra, Edison e seus associados integravam o conselho das empresas resultantes desse processo.

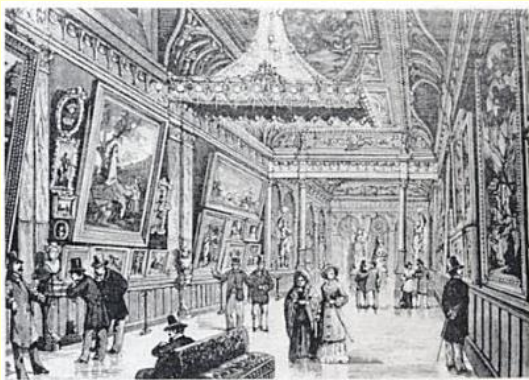
Busca de interessados

Demonstrações do sistema em escala reduzida

- A busca de interessados na construção e operação das estações consistia geralmente em contatos comerciais efetuados por meio de investidores e/ou feiras e exposições;
- Como exemplo pode-se citar os contatos feitos durante a *Paris International Electrical Exhibition* de 1881, que despertaram o interesse de investidores ingleses e alemães.

International Electrical Exhibition of 1881

Crystal Palace display



A estação de Holborn Viaduct

Estação central de fornecimento de energia

- Assim como a estação de Pearl Street, a estação de Holborn Viaduct foi instalada em uma região movimentada de Londres, próxima ao Correio Central;
- Todavia, ao contrário da estação de Pearl Street, a estação de Holborn Viaduct não era apenas uma estação piloto;
- A inauguração da estação se deu em 11/04/1882, atendendo a uma carga inicial de 1000 lâmpadas, porém com uma capacidade instalada de 2200.

A estação de Holborn Viaduct

Fotografia



Board of Trade

O fim do “laissez-faire”

- O fim do século XIX foi marcado pela mudança na política econômica inglesa;
- O fim do “laissez-faire” e a crescente preocupação com o bem estar do eleitorado resultaram em propostas de leis para o controle das concessões de serviços públicos de distribuição de água, gás e eletricidade;
- Em 18/08/1882 foi aprovado o *Electric Lighting Act*. Um conjunto de leis para a regulamentação do serviço de distribuição de energia elétrica;

Board of Trade

O fim do “laissez-faire”

- Desse conjunto, pode-se destacar o seguinte:
 - A concessão do serviço possuía um prazo de vinte e um anos e, após esse prazo, a autoridade local poderia efetuar a compra do negócio pelo valor dos equipamentos, individualmente;
 - As empresas proprietárias das estações não podiam impor aos seus consumidores, equipamentos de um único fabricante;
 - As redes aéreas de distribuição foram banidas.

A estação de Holborn Viaduct

O impacto *Electric Lighting Act*

- O *Electric Lighting Act* reduziu a possibilidade de lucro dos investidores no serviço de distribuição de energia elétrica, devido às restrições impostas;
- Como consequência, os financiamentos para desenvolvimento do setor diminuíram gradualmente;
- Em 1886 a estação de Holborn Viaduct fechou.

International Electrical Exhibition of 1881

O interesse dos engenheiros alemães

- Os engenheiros alemães Emil Rathenau, Werner von Siemens e Oskar von Miller se interessaram adquirir as patentes do sistema desenvolvido por Thomas Edison, para instalá-lo em Berlim;
- Emil Rathenau adquiriu as patentes em 1882, após diversas negociações com instituições financeiras alemãs e estabeleceu uma sociedade com Oskar von Miller para explorar as patentes em território alemão;
- Rathenau e Miller foram os responsáveis pela comercialização de estações centrais na Alemanha, porém encontraram dois problemas:
 - Especificações técnicas dos geradores de Edison;
 - Patente sobre a lâmpada incandescente.

As estações de Friedrichstrasse e Markgrafenstrasse

“Os riscos à iniciativa privada e as vantagens financeiras à cidade”

- Em 1884 a companhia criada por Rathenau e Miller obteve os direitos de utilização das vias públicas para o serviço de distribuição de energia elétrica;
- As estações de Friedrichstrasse e Markgrafenstrasse foram as primeiras instaladas na Alemanha, que utilizavam o sistema de Edison;
- Foram instaladas na região central de Berlim em 1884 e 1885, respectivamente;

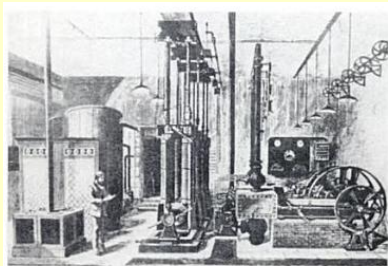
As estações de Friedrichstrasse e Markgrafenstrasse

A evolução tecnológica alemã

- As estações de Friedrichstrasse e Markgrafenstrasse passaram por diversos problemas técnicos;
- Para solucioná-los, foram feitas diversas modificações no sistema de Edison e a prática adquirida contribuiu decisivamente para o aperfeiçoamento tecnológico dos engenheiros alemães;
- Após essas duas experiências, Rathenau e Miller instalaram outras estações e, em meados de 1887 havia mais estações na Alemanha do que em qualquer outro lugar do planeta.

A estação de Friedrichstrasse

Ilustração



General Electric Company

A filial supera a matriz

- A empresa de Thomas Edison foi reestruturada em meados de 1886;
- Essa reestruturação partiu de Henry Villard, um executivo alemão do setor de transportes, que havia financiado Thomas Edison;
- Em seguida, houve a fusão da empresa resultante dessa reestruturação com a companhia Thomsom-Huston, dando origem à General Electric Company.

Empenho tecnológico

Solução de problemas críticos

- As fases anteriores demonstraram a consolidação dos sistemas de geração e distribuição de energia elétrica, baseados no sistema de Thomas Edison;
- À medida que os problemas tecnológicos, sociais e econômicos (reversos salientes) apareceram, inventores e engenheiros desenvolveram soluções para minimizá-los (problemas críticos);
- Essas soluções permitiram que os sistemas continuassem crescendo.

Solução de problemas críticos

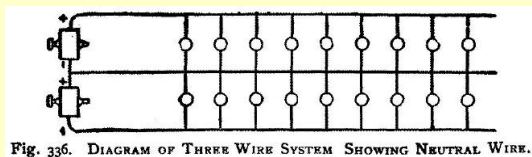
O sistema de Thomas Edison

- No caso particular do sistema em corrente contínua de Thomas Edison, pode-se dizer que sua evolução seguiu a regra;
- Isto é, os reversos salientes foram divididos em problemas críticos e cada problema foi resolvido;
- Dentre os problemas críticos solucionados pode-se citar: baixa eficiência dos campos magnéticos, aquecimento do enrolamento de armadura, elevado faiscamento nas escovas, etc;
- Quando a economia de escala na produção de energia elétrica permitiu a redução no seu custo, houve diversas tentativas para a produção de motores elétricos capazes de substituir as máquinas a vapor.

Solução de problemas críticos

Distribuição em corrente contínua a três fios

- Em 1883 Edison propôs uma solução, ainda que insuficiente, para o problema das perdas na transmissão de energia elétrica em corrente contínua. Essa solução foi denominada de sistema a três fios;



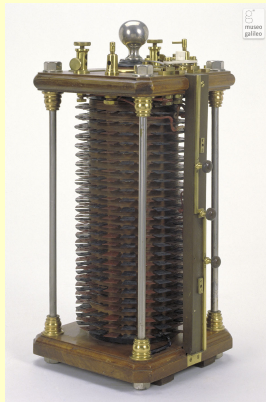
O transformador de Gaulard e Gibbs

A solução para a transmissão de energia elétrica

- O princípio da indução magnética foi descoberto por Faraday, 1831 e Henry, 1836;
- Nos anos de 1883 e 1884, Gaulard e Gibbs utilizaram o princípio da indução magnética para elaborar um sistema elétrico composto por geradores de alta tensão em corrente alternada, cabos condutores, transformadores abaixadores e lâmpadas incandescentes e/ou a arco;
- Uma das proposições elaboradas por Gaulard e Gibbs foi a iluminação do Canal de Suez, empregando linhas de transmissão em 40 [kV].

O transformador de Gaulard e Gibbs

Exemplar no Museo Galileo



Modificações no sistema de Gaulard e Gibbs

O impacto *Electric Lighting Act*

- Gaulard e Gibbs fizeram diversas demonstrações do seu sistema em feiras internacionais. Em 1884 participaram da Feira Internacional de Turim, vencendo o prêmio pela maior distância empregada na transferência de energia (aproximadamente 80 [km]);
- Em Turim, se encontraram com os engenheiros húngaros Bláthy, Déri e Zipernowski e com o empresário George Westinghouse.
- Em 1885, o sistema de Gaulard e Gibbs foi instalado na Grosvenor Art Gallery para a iluminação da própria galeria, bem como das residências vizinhas. Esse sistema porém, apresentava problemas crescentes à medida que havia aumento de carga.

O transformador de potência

A batalha das correntes (ou batalha dos sistemas)

- Bláthy, Déri e Zipernowski retornaram à Hungria, fizeram modificações no transformador desenvolvido por Gaulard e Gibbs e foram responsáveis pela instalação de diversos sistemas em corrente alternada;
- Westinghouse voltou aos EUA e encarregou o engenheiro William Stanley de estudar e depurar o sistema desenvolvido por Gaulard e Gibbs;
- Além disso, o engenheiro de Sebastian Ziani de Ferranti fez modificações no sistema instalado na Grosvenor Art Gallery chegando a um sistema similar ao sistema de Stanley e dos engenheiros húngaros.

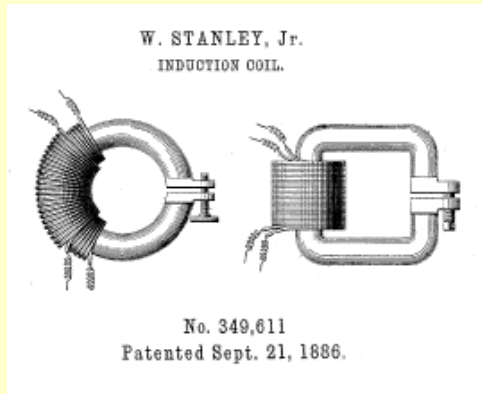
O transformador de Bláthy, Déri e Zipernowski

Fotografia



O transformador de Stanley

Fotografia



Conflito e resolução

A batalha entre os sistemas

- Ao final da década de 1880 os sistemas em corrente contínua, desenvolvidos por Edison, enfrentavam concorrência acirrada dos recém desenvolvidos sistemas em corrente alternada monofásicos;
- Enquanto a transmissão a longas distâncias apresentava-se como a maior desvantagem dos sistemas em corrente contínua, a ausência de um motor real apresentava-se como o maior inconveniente dos sistemas em corrente alternada;
- A “batalha dos sistemas” encerrou-se na década de 1890, com a invenção dos sistemas polifásicos. Contudo, os sistemas em corrente alternada e corrente contínua coexistiram ainda por vários anos.

Influência política

Táticas políticas pouco ortodoxas

- Thomas Edison tinha uma ampla gama de contatos políticos a quem recorrer, para impedir a disseminação dos sistemas em corrente alternada;
- A ausência de soluções para o problema crítico da transmissão a longas distâncias requeria uma solução não técnica: criar indignação pública contra um sistema elétrico que supostamente poderia colocar em risco a vida das pessoas e, neste caso, Harold Brown desempenhou o papel que Thomas Edison desejava.

Táticas políticas pouco ortodoxas

O tiro saiu pela culatra

- O estado de NY procurava meios mais “humanos” para execuções. Após assistir execuções de animais promovidas por Harold Brown, e ouvir o testemunho de profissionais, incluindo Thomas Edison, o estado de NY decidiu implementar a cadeira elétrica;
- A primeira execução ocorreu em agosto de 1890, utilizando um gerador da Westinghouse. Após a execução seguiu-se uma campanha difamatória para influenciar os consumidores;
- Embora Thomas Edison fosse um obstinado, algumas razões levaram-no a perder essa batalha: sucessivas derrotas jurídicas na tentativa de limitar a tensão de transmissão em 200 [V] (p. ex. a derrota no estado da Virginia) e a vitória da Westinghouse, que conseguiu impedir que seu gerador fosse utilizado nas execuções.

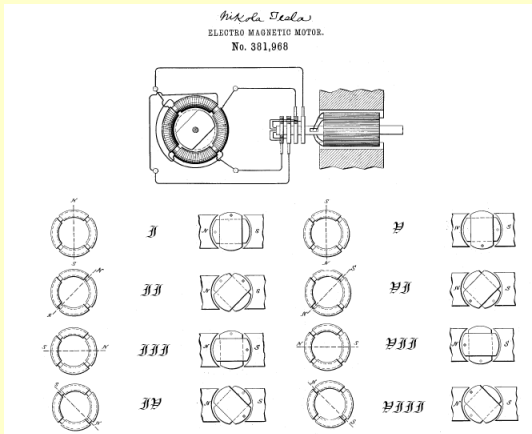
Desenvolvimento dos motores em corrente alternada

As dimensões da importância da solução desse problema crítico

- A quantidade e qualidade dos inventores, pesquisadores e engenheiros que empregaram seu tempo na solução desse problema crítico revela a dimensão da sua importância;
- Galileo Ferraris na Itália, Nikola Tesla nos Estados Unidos (e Croácia), Michael Dobrowolsky na Alemanha, Jonas Wenström na Suécia, Charles Brown na Suíça e Marcel Deprez na França;
- Do ponto de vista cronológico, Ferraris descobriu o campo magnético rotativo em 1885, conforme publicado por W. Stanley em 1893. Porém, publicou seus resultados apenas em março de 1888;
- Tesla submeteu seu pedido de patente em dezembro de 1887, obtendo-a em maio de 1888;

O motor em corrente alternada de Tesla

Reprodução da patente



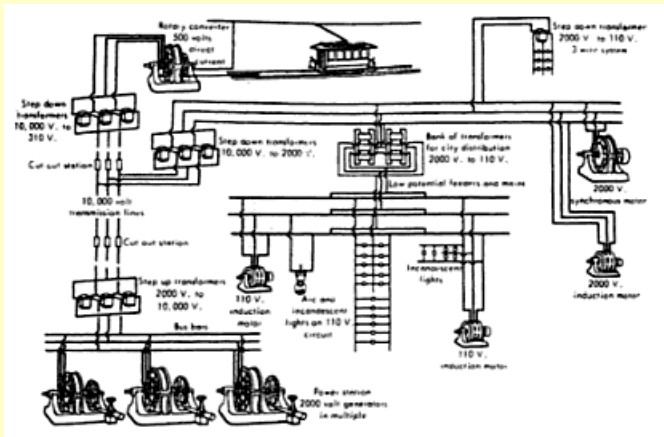
O sistema trifásico

Desenvolvimento do sistema universal

- A concepção dos sistemas trifásicos, e conseqüentemente os motores trifásicos, permitiu que os sistemas em corrente alternada pudessem se comparar, do ponto de vista de funcionalidades, ao sistemas em corrente contínua. Isto é, os sistemas trifásicos eram capazes de suprir a demanda de energia para iluminação e motores;
- Sistemas em corrente contínua continuaram a existir. Principalmente pelo elevado custo que a mudança para o sistema em corrente alternada acarretaria;
- A solução para a coexistência entre os dois sistemas deu-se no nível técnico e no nível institucional. Problemas técnicos foram solucionados com máquinas elétricas rotativas, e problemas no nível institucional foram solucionados com fusões e expansões das empresas.

O sistema universal

A concepção da Westinghouse



O sistema trifásico

Acordos para a normatização do sistema

- O nível de tensão de distribuição permaneceu aquele definido por Thomas Edison em seu sistema em corrente contínua (110/220 [V]);
- A definição da frequência nos países ocidentais deu-se da seguinte maneira:
 - Nos Estados Unidos, as características dos equipamentos de fornecimento e das cargas definiram as frequências utilizadas ($83\frac{1}{3}$, $66\frac{2}{3}$, 60, 50, 40, 30 e 25 [Hz]) até que os 60 [Hz] prevaleceram;
 - Na Alemanha, a definição foi mais simples, visto que existiam menos fornecedores de equipamentos elétricos e, portanto, optou-se por 50 [Hz];
 - Na Itália, a opção foi pela frequência de 40 [Hz] por ser mais adequada à transmissão e à alimentação de motores.

Niagara Falls

O triunfo da engenharia

- O projeto de Niagara Falls representou um marco exemplar dos compromissos existentes nso projetos de engenharia;
- A primeira negociação tratava sobre a quantidade de água que poderia ser desviada sem reduzir a importância das cataratas como atração turística;
- Em seguida, houve considerações estéticas que foram complicadas pela ausência de terra disponível no parque que circundava as cataratas;

Niagara Falls

O triunfo da engenharia

- Nas proposições iniciais, o engenheiro chefe da construção, George Forbes, solicitou que a Westinghouse instalasse geradores de $16\frac{2}{3}$ [Hz], porém a Westinghouse sugeriu a utilização de geradores de $33\frac{1}{2}$ [Hz];
- Foi acordado que seriam empregados geradores de 25 [Hz], conectados a linhas de transmissão. Estas linhas seriam conectadas a conversores rotativos que alimentariam as cargas a 60 [Hz].

Niagara Falls

A casa de força



International Electrical Exhibition of 1891

Frankfurt on the Main

- Em 1891 foi realizada a *International Electrical Exhibition Frankfurt on the Main*. Esta exibição foi primordial na demonstração do potencial de utilização dos recursos hídricos, usualmente distantes dos grandes centros consumidores, para o fornecimento de energia elétrica;
- Nesta exibição foi apresentado um arranjo para demonstração da transmissão de energia elétrica a longas distâncias que consistia em uma linha de transmissão conectando a cidade de Lauffen à cidade de Frankfurt (175 [km] de distância).

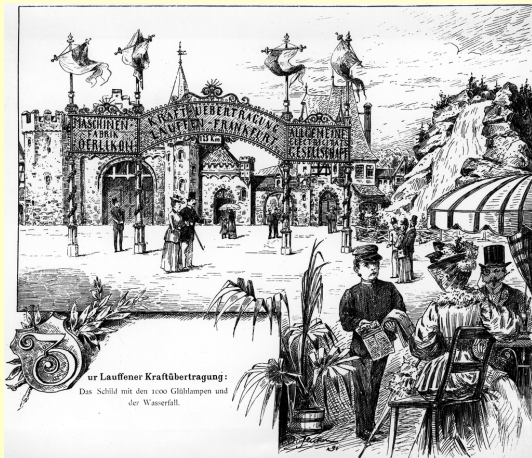
International Electrical Exhibition of 1891

Frankfurt on the Main

- Em Lauffen foi instalado um gerador hidráulico de 300 [HP] e tensão terminal de 55 [V]. Essa tensão era elevada a 25 [kV] por meio de um transformador isolado a óleo, e transmitida pela linha de transmissão até Frankfurt;
- As cargas alimentadas por esse gerador consistiam em 1000 lâmpadas incandescentes e uma bomba d'água para alimentação de uma cachoeira artificial.

International Electrical Exhibition of 1891

Litografia com detalhes do evento



International Electrical Exhibition of 1891

O trajeto da linha de transmissão



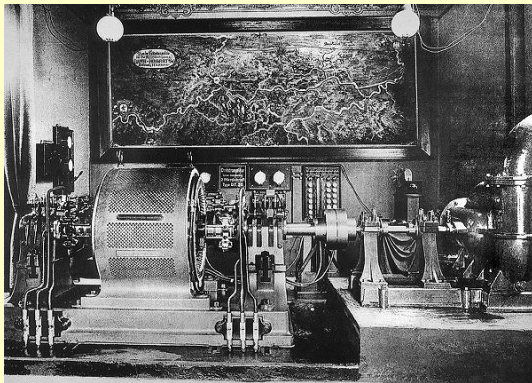
International Electrical Exhibition of 1891

A cachoeira artificial



International Electrical Exhibition of 1891

A bomba d'água utilizada



Formação e treinamento

O mercado de trabalho na área de energia elétrica

- A formação e o treinamento de técnicos, engenheiros e cientistas ocorreu de forma distinta durante as duas décadas subsequentes à estação de Pearl Street;
- Nos Estados Unidos os programas de treinamento e formação incluíam escolas secundárias técnicas, programas de aprendizagem, e escolas de engenharia;
- A rápida industrialização da Alemanha, notadamente no setor elétrico, resultou na necessidade de velocidade na formação de pessoal habilitado. Logo, os programas de treinamento foram desenvolvidos nos institutos de tecnologia (*Technischen Hochschulen*);
- Na Inglaterra os esforços foram concentrados na educação superior.

Formação e treinamento

O crescimento da oferta de vagas nas instituições de ensino

- Em 1882 havia, nos Estados Unidos, setenta instituições educacionais com programas em engenharia. Nenhum desses programas abordava a engenharia elétrica;
- Em 1899, o número de instituições educacionais subiu para oitenta e nove e, desse total, oitenta e sete ofereciam programas em engenharia (quarenta e nove programas em engenharia elétrica, sessenta e sete em engenharia civil e sessenta e um em engenharia mecânica);
- Neste mesmo ano havia 2397 estudantes de graduação em engenharia elétrica, 2667 em engenharia civil e 3293 em engenharia mecânica (em pós-graduação os números eram 370, 419 e 480, respectivamente).

Formação e treinamento

Mudança no ensino de engenharia elétrica – 1884/1885

<i>Fourth Year</i>	
<i>First Term</i>	<i>Second Term</i>
Physical Laboratory: Electrical Testing, and Construction of Instruments	Physical Research
Testing of Telegraph Lines, Dynamo Machines, etc.	Technical Applications of Electricity
Technical Applications of Electricity to Telegraph, Telephone, Electric Lighting, etc.: Lectures	Advanced Physics, Memoirs, etc.
Mechanical Engineering	Differential Equations
Mech. Engineering Laboratory	Theory of Probabilities
Applied Mechanics, Thermodynamics, Hydraulics, etc.	Method of Least Squares
	Calculus of Variations
	Mechanical Engineering
	Mech. Engineering Laboratory
Note: The student is advised to take Advanced German.	
Source: <i>M.I.T. Annual Catalogue, 1884-1885</i> , p. 28.	

Formação e treinamento

Mudança no ensino de engenharia elétrica – 1899/1900

<i>Fourth Year</i>	
<i>First Term</i>	<i>Second Term</i>
Technical Applications of Electricity to Telephony, Electric Lighting, Electrical Generation of Power, Railroad Signals, etc.	Technical Applications of Electricity; Electric Motors; Alternating Current Machines
400, 403	400, 416
Methods of Dynamo Testing (lectures)	Transmission and Distribution of Energy
402	417
General Electrical Testing	Methods of Dynamo Testing (lectures)
405	418
Electrical Engineering Laboratory; Testing of Dynamos, Electric Lamps, etc.	Principles of Dynamo Design
420	419
Electrical Measuring Instruments and Methods (lectures)	Telephone Engineering
406	420
Theory of Periodic Currents	Electrical Engineering Laboratory; Measurements of Dynamo Electric Machinery, Special Methods
392	404
Photometry	Theory of Periodic Currents
540	423
Steam Engineering	Discussion of the Precision Measurements
543	545
Dynamics of Machines	Engineering Laboratory
471	261
Hydraulics	Economics of Corporations
545	Thesis
Engineering Laboratory	
86	
Strength of Materials; Friction	
57	
Method of Least Squares	

Note: Students having the requisite preparation and ability may pursue more advanced courses in the mathematical theory of electricity and other subjects. With this end in view, competent students may take Fourier's Series and allied topics, also Energetics and Electro-Chemistry, as extra studies.

Source: *M.I.T. Annual Catalogue, 1899-1900*, p. 41.

Compartilhamento de conhecimento

A proliferação das sociedades de classe

- Além das atividades de ensino, consultoria, e planejamento curricular, os professores das instituições de ensino também se envolveram com a atividade de pesquisa;
- Essa atividade de pesquisa normalmente estava relacionada com a solução e/ou o aprofundamento no entendimento dos “problemas críticos” derivados dos “reversos salientes”;
- A fundação do AIEE, em 1884, permitiu que os professores, pesquisadores, engenheiros e cientistas trocassem informações a respeito do setor elétrico. Em 1963 o AIEE tornou-se o IEEE;
- A fundação do IEE, em 1889, resultou da incorporação dos engenheiros elétricos à STE. O IET surgiu em 2006, com a fusão do IEE ao IIE.

O papel dos fabricantes

A criação de laboratórios de pesquisa

- O estabelecimento dos laboratórios de pesquisa de fabricantes surgiu da necessidade de concentrar os esforços de engenheiros, cientistas, professores e pesquisadores na solução de problemas não rotineiros;
- A criação de laboratórios de pesquisa permitiu que fabricantes obtivessem vantagens competitivas para a ampliação da sua fatia de mercado, ou para a manutenção dessa fatia;
- Um marco nessa prática é o *General Electric Research Laboratory*. Esse laboratório foi constituído em 1902, sob a coordenação de Charles Steinmetz, para fazer frente imediata à evolução europeia quanto à fabricação de lâmpadas incandescentes.

General Electric Research Laboratory

A primeira sede do laboratório



Tecnologia, política e economia

A expansão dos sistemas segundo critérios econômicos, técnicos e políticos

- A expansão dos sistemas seguiram o curso de qualquer empreendimento;
- Do ponto de vista econômico, as empresas responsáveis pelas estações sofreram processos de fusão, aquisição, formação de holdings, etc.;
- Do ponto de vista técnico, alguns fatores influenciaram a expansão dos sistemas:
 - Transmissão a longas distâncias (fontes de energia nem sempre próximas às cargas);
 - Turbina a vapor (mais eficientes e menores do que os motores convencionais).

Tecnologia, política e economia

Exemplos de influências dissonantes na evolução dos sistemas elétricos

- Chicaco – o domínio da tecnologia: Samuel Insull
- Berlim – tecnologia e política: Emil Rathenau e Oskar von Miller;
- Londres – a primazia da política: Charles Merz.