

4.9 Supercapacitores

Em 1897 J. J. Thomson¹ escreveu um trabalho fundamental² que é considerado a descoberta do elétron. Numa das experiências que ele descreve, ele precisava de um capacitor grande para medir uma quantidade de carga sem envolver diferenças de potencial elevadas, que teriam prejudicado as medidas. O maior valor de capacitância que ele conseguiu no laboratório foi de $1,5\mu\text{F}$. Os capacitores que eu usei na experiência de descarga de um capacitor (figuras 4.1.8 e 4.1.9) têm uma capacitância de $4700\mu\text{F}$. Então os valores de capacitância tiveram um desenvolvimento impressionante. Mas isto não é tudo. Hoje podem-se comprar capacitores com capacitâncias que ultrapassam 1000F ! Repare que não há o símbolo μ na frente do Farad! A invenção dos capacitores eletrolíticos elevou os valores de $1,5\mu\text{F}$ para a faixa de milifarad. Mas aparentemente houve ainda um outro salto na escala de valores. Como se explica um avanço tão grande?

Há três maneiras de aumentar valores de capacitância: usar um dielétrico com constante dielétrica grande, usar grandes áreas e usar distâncias pequenas entre os condutores. Na tentativa de usar grandes áreas um senhor chamado H. Becker descobriu um novo tipo de capacitor em 1957. Ele usou carbono com uma superfície microscópica enorme como um dos condutores e o outro condutor era um eletrólito. Na época Becker não entendeu o funcionamento desta invenção. Sem querer, ele na verdade criou um capacitor cujo valor enorme de capacitância não era tanto um resultado da grande área do condutor, mas principalmente da distância pequena dos condutores. De fato os condutores se tocavam. Depois desta invenção passaram-se ainda muitos anos para poder-se entender o funcionamento destes supercapacitores, e somente em 1971 apareceram os primeiros supercapacitores no mercado. Pesquisas extensas que levaram a um entendimento destes capacitores foram feitas por Brian Evans Conway nos anos 1975 -1980.

Se diminuímos a distância entre os condutores de um capacitor, aumenta a capacitância; isto não é novidade. Mas todos vão pensar que o capacitor deixa de ser um capacitor quando os condutores finalmente se tocam. Pois neste momento teremos um curto circuito, e o capacitor se descarrega. Mas, muito surpreendentemente, isto nem sempre ocorre. Na verdade já vimos um exemplo de corpos com cargas de sinais opostos que se tocam sem causar transferência de carga. Na seção 4.7 falamos do cristal de sal de cozinha. Neste cristal íons negativos de cloro tocam diretamente em íons positivos de sódio, e mesmo assim estas partículas não se descarregam! Como podemos entender isto? De fato esta questão não é nada simples. Ela diz respeito à estabilidade de átomos e somente a mecânica quântica consegue explicar a estabilidade dos átomos. O caso de átomos de vários elétrons é especialmente complicado por ser um problema de muitos corpos. Resulta que átomos com uma configuração eletrônica de um gás nobre são objetos especialmente estáveis, ou seja, de muito baixa energia, e por esta razão átomos que ficam na tabela periódica dos elementos ao lado da coluna dos gases nobres têm a tendência de ficar com um excesso de um elétron ou com uma falta de um elétron

¹ Sir Joseph John Thomson (18/10/1856 – 30/08/1940) um físico que brilhou tanto na teoria como na arte experimental. Sua maior contribuição foi a descoberta do elétron com a determinação quantitativa do quociente da massa e carga desta partícula.

² J. J. Thomson. *Cathode Rays Philosophical Magazine*, **44**, 293 (1897).

para adquirir a configuração de gás nobre. Isto explica por que os íons no sal de cozinha não se descarregam. Este fenômeno pode ser usado para colocar os condutores de um capacitor diretamente em contato sem causar um curto circuito.

Fig. 4.9.1 Hermann von Helmholtz (Imagen da Wikipedia)



Nos supercapacitores um dos condutores é um eletrólito com íons que perdem sua carga com dificuldade e o outro condutor é um metal ou carbono ou alguma outra substância sólida condutora. Quando se carrega o condutor sólido, íons de sinal oposto são atraídos para perto do sólido e eles podem até tocar no mesmo sem serem descarregados, enquanto a voltagem do capacitor não ultrapassar certo limite. Forma-se uma camada carregada com sinal oposto das cargas na superfície do condutor sólido. Esta configuração é conhecida como *camada dupla*. O primeiro a estudar camadas duplas foi Hermann von Helmholtz³. No fundo Helmholtz já tinha explicado o funcionamento destes supercapacitores em 1853, ou seja, 104 anos antes da sua invenção.

Poder-se-ia pensar que a distância entre as cargas neste tipo de capacitor seria zero e consequentemente a capacidade, infinita. Mas temos que contar como distância pelo menos o raio dos íons envolvidos. De fato a distância efetiva é até um pouco maior por causa da agitação térmica dos íons. No equilíbrio se estabelece uma nuvem de íons cuja concentração diminui rapidamente com a distância. Uma teoria elaborada por Peter Debye⁴ e Hückel permite descrever esta nuvem de íons quantitativamente.

Nos circuitos os capacitores estão sempre ligados a condutores metálicos. Então o condutor formado por um eletrólito tem que se “transformar” em algum ponto num condutor sólido. Isto significa que os supercapacitores são sempre uma associação em série de dois capacitores de camada dupla, um com condutor sólido e condutor eletrolítico e o outro com condutor eletrolítico e condutor sólido como está mostrado na figura 4.9.2.

As pesquisas de Brian Evans Conway mostraram que na maioria dos supercapacitores aparece além do efeito de camada dupla ainda um outro mecanismo de estocagem de carga elétrica. Falamos que os íons não perdem sua carga facilmente. Mas quando as

³ Hermann Ludwig Ferdinand von Helmholtz. (31/08/1821 – 08/09/1894). Formado em medicina, ele se transformou num dos mais importantes cientistas do século 19. Ele elaborou teorias da visão, inclusive da percepção de cores, ele estudou experimentalmente a percepção auditiva, trabalhou sobre conservação de energia, sobre termodinâmica, hidrodinâmica (instabilidade de Kelvin-Helmholtz) e deu contribuições importantes para o eletromagnetismo. Formulou e mostrou diversos teoremas matemáticos importantes que levam seu nome, abordou a questão “o que é uma grandeza física”, formulou uma filosofia das ciências e uma teoria da estética. Helmholtz formou inúmeros alunos famosos; tais como Max Planck, Heinrich Rudolf Hertz, Heinrich Gustav Johannes Kayser, Wilhelm Wien e Albert A. Michelson. É espantoso que, com tudo isto, hoje em dia há professores universitários de física que nunca ouviram falar de Helmholtz.

⁴ Peter Joseph William Debye [də'bɛiə] 24/03/1884 – 02/11/1966. Além da elaboração da teoria de Debeye-Hückel, Debye desenvolveu uma teoria da constante dielétrica de substâncias polares, generalizou o modelo do átomo de Bohr, melhorou uma teoria de Einstein sobre o calor específico de sólidos e descreveu o efeito da temperatura na difração de raios-X.

forças elétricas se tornam suficientemente fortes pode ocorrer uma transferência de carga levando o íon a um estado neutro. Isto seria uma espécie de reação química conhecida como reação redox ou reação Faraday. Se o íon que absorveu uma carga do condutor sólido e se transformou num átomo neutro fosse embora para dentro da solução eletrolítica, esta transferência de carga equivaleria a uma carga perdida ou um curto circuito. Mas em condições adequadas tal tipo de transferência pode ser restrita a íons que estão firmemente ligados na superfície do condutor sólido. Neste caso, a transferência de carga não significa uma perda da carga. Na hora de reduzir a voltagem do capacitor, esta carga transferida voltaria para o condutor sólido deixando o átomo ionizado, ou seja, na sua forma preferida de gás nobre. Este tipo de armazenamento de carga já pertence mais ao reino da química. Neste caso fala-se de pseudocapacitância.

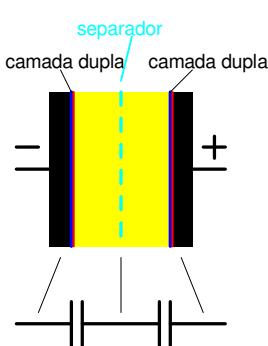


Fig. 4.9.2 Estrutura de um supercapacitor. O capacitor é uma associação em série de duas junções de sólido e eletrólito e de eletrólito e sólido. No eletrólito há um separador que deixa os íons passarem, mas que evita um contato direto dos condutores sólidos.

Os supercapacitores funcionam somente para voltagens muito baixas, geralmente por volta de 2 a 3 Volt. Mas com associações em série podem-se fazer capacitores para voltagens adequadas para uma aplicação alvo. As energias que podem ser estocadas em supercapacitores já podem competir com as baterias recarregáveis. A vantagem dos capacitores é que eles podem ser carregados em poucos segundos. Pense somente na sua bateria do telefone celular. Geralmente o processo de carregar leva uma noite inteira.

Fig. 4.9.3 Veículo elétrico do transporte público em Mannheim (Alemanha) que usa supercapacitores no teto para armazenar a energia disponível durante a desaceleração. Imagem da Wikipedia.

Em 2003 um sistema de trens elétricos foi implantado em Mannheim (Alemanha) que usa supercapacitores no teto do trem para estocar energia disponível na hora de frear. Pode-se estocar 1,5 kWh. Na partida do trem, as baterias podem fornecer uma potência de 600 kW e o estoque é suficiente para mover o trem 1 km sem uso da energia da rede.

