

INSTITUTO DE FÍSICA - UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

FUNDAMENTOS DO MAGNETISMO EM SÓLIDOS

MONOGRAFIA: “ARMAZENAMENTO MAGNÉTICO DE INFORMAÇÕES”

PROFESSOR: HERCÍLIO RODOLFO RECHENBERG

ALUNO: ANDRÉ ZUIN - 3677501

Primeiro semestre de 2009

Nos anos de 1950, o advento dos computadores digitais foi acompanhado pela crescente necessidade de armazenamento digital e de memória. Na época, os computadores começaram a utilizar cartões de armazenamento tais como aqueles usados como holerites na indústria e aparatos de gravação magnética provenientes da indústria fonográfica. Em pouco tempo, novas formas de armazenamento magnético foram surgindo: fita de papel, núcleos magnéticos, então memórias de semicondutores e gravação óptica. O desenvolvimento dessas tecnologias moldou a hierarquia de armazenamento utilizada nos computadores atuais, sendo a seguinte: memórias rápidas de semicondutores acopladas ao processador, discos magnéticos provendo acesso rápido a volumes de dados, discos ópticos e magnéticos como dispositivos de entrada/saída, fitas magnéticas para o arquivamento de informações e back-up.

Os dispositivos magnéticos de armazenamento de dados estão presentes no dia-a-dia em cartões de crédito e bilhetes de transporte, em dispositivos nos quais são gravados programas de computador, e-mails, transações pela internet, fotos, vídeos e uma infinidade de aplicações.

A tecnologia de gravação magnética tem pouco mais de 100 anos, sendo considerada uma área bem estabelecida, e que continua se desenvolvendo a cada dia. As tendências seguem para a produção de dispositivos cada vez menores, mais rápidos, mais baratos e mais densos.

As primeiras idéias conhecidas sobre armazenamento magnético derivam dos desenhos de Oberlin Smith em 1878, vinte anos mais tarde Valdemar Poulsen colocou essas idéias para funcionar na prática, e finalmente, em nos anos de 1920, Kurt Stille tornou-a um sucesso comercial, atualmente um setor multibilionário que alicerça o entretenimento moderno, os computadores e a comunicação. Nos primeiros 60 anos, o desenvolvimento dessa tecnologia foi lento, porém contínuo, sendo acelerado pela descoberta da amplificação eletrônica e das bias AC e influência da Segunda Guerra Mundial, o advento do mainframe e dos computadores pessoais.

Em 1877, Tomas Edison patenteou o seu cilindro fonográfico, que consistia em um cilindro recoberto com uma folha de metal para a gravação de vibrações sonoras concentradas por um trompete, que poderiam depois ser reconvertidas em ondas sonoras. Essa tecnologia de gravação se desenvolveu e perdurou por mais de cem anos, novas mídias surgiram e transdutores de som e assistência eletrônica, até que por fim, a gravação óptica e a magnética tornaram essa tecnologia obsoleta.

Em 1878, Oberlin Smith visitou o laboratório de Edison, pois estava interessado em descobrir uma maneira de evitar o ruído e as distorções causadas por fontes mecânicas. Ele queria encontrar uma nova maneira e um novo meio para gravação. O magnetismo e o eletromagnetismo haviam sido aplicados anteriormente em 1835 no desenvolvimento do telégrafo e 1876 no telefone. Essa tecnologia seria promissora para a gravação e o armazenamento de som.

Neste ano de 1878, Smith publicou na “Electrical World” o desenho de um aparato que apresentava fios que eram transportados através de uma bobina durante o processo de gravação e o de leitura. Ele imaginou que o padrão magnético ao longo do fio poderia mimetizar as vibrações sonoras de uma palavra falada e se esse fio passasse novamente pela bobina, induzindo uma voltagem, poderia recriar o som em um alto-falante. Entretanto, Oberlin Smith não conseguiu comercializar o seu invento, inclusive não se sabe se ele conseguiu algum sucesso em seu laboratório.

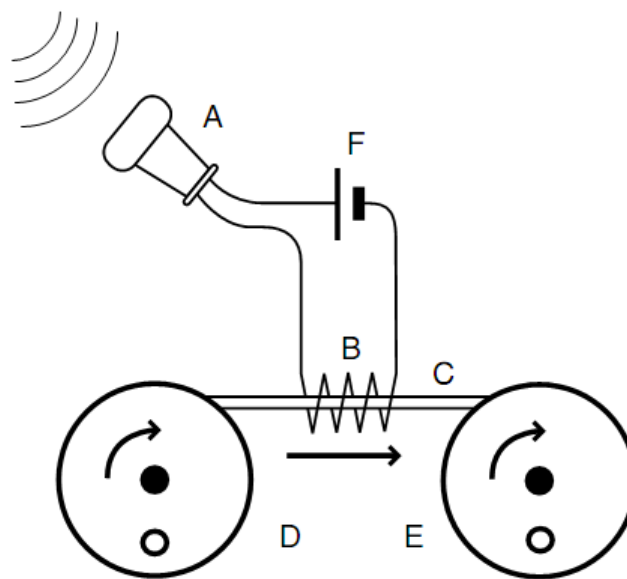


Figura 1: Aparato de gravação magnética proposto por Oberlin Smith, publicado no “Electrical World”, p. 116 em setembro de 1878. A: microfone; B: bobina de gravação; C: fio de aço ou outro meio de gravação; D e E: rolos transportadores; F: bateria

Em 1898, o engenheiro dinamarquês Valdemar Poulsen desenvolveu o primeiro dispositivo de gravação magnética funcional. Poulsen já tinha experiência com engenharia telefônica e conhecia as técnicas utilizadas no telégrafo. A sua motivação, no primeiro momento, era o desenvolvimento de um aparelho que gravasse mensagens de voz deixadas por

telefone, e depois disso, o desenvolvimento da “secretária eletrônica”. O seu primeiro protótipo de laboratório era constituído por um fio de aço esticado, preso por dois pontos, e uma cabeça de gravação eletromagnética contendo um magneto permanente. Falando em um microfone, as ondas sonoras eram transformadas em sinais elétricos e então convertidas em padrões magnéticos que eram gravados em um fio enquanto esse passava por uma cabeça de gravação. A leitura do sinal gravado dava-se pela indução de uma voltagem na cabeça de gravação enquanto o fio passava por ela, sendo que o sinal era convertido em som no falante de um telefone. Em suas próximas patentes Poulsen propõe a utilização de fios de gravação enrolados em espiral em torno de um cilindro; essa montagem inspirou o desenvolvimento de dispositivos de gravação magnética utilizando recobrimentos de partículas de óxido de ferro em substituição aos fios de aço, por volta dos anos de 1950. Vários grupos americanos tentaram comercializar a idéia, porém sem sucesso.

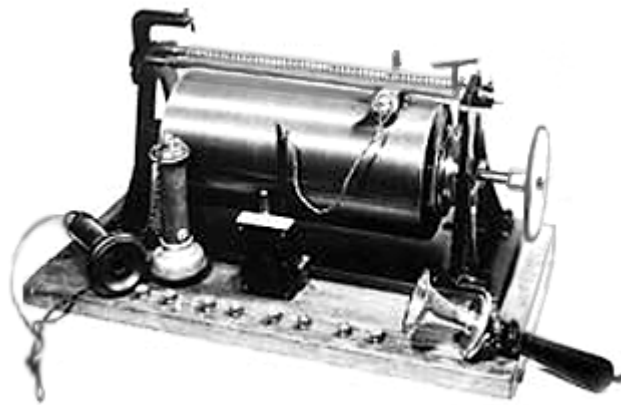


Figura 2: o “Telegraphone” de Poulsen de 1899

O inventor alemão Kurt Stille foi o primeiro a conseguir sucesso comercial. Inovações tecnológicas como o desenvolvimento de amplificadores eletrônicos e fitas cassetes como mídia magnéticas permitiram o aumento da qualidade dos gravadores, tornando-os mais convenientes.

Em 1938, três engenheiros do Japão descobriram os benefícios da gravação de informações utilizando sistemas com correntes alternadas, o que reduzia significativamente os ruídos e as distorções no sinal, que eram comuns nas gravações que utilizavam correntes contínuas (DC-bias). A gravação do sinal era feita em altas frequências para permitir a cópia dos

sons com maior fidelidade. Os meios de gravação utilizados nesses dispositivos ainda eram baseados em fios de aço, mas foram gradativamente sendo substituídos por fitas de aço, que não se dobravam como os fios, mantendo qualidade da gravação por mais tempo.

Na Inglaterra, já havia máquinas que produziam fitas de aço e essas foram adaptadas pela “British Broadcasting Company” para serem utilizadas na radiodifusão. Na época, os rolos de fita pesavam cerca de 40 kg, sendo necessárias duas pessoas para trocá-los.

Em 1928, o inventor austríaco Fritz Pfeleumer desenvolveu um novo tipo de mídia que iria revolucionar o processo de gravação. Pfeleumer foi o pioneiro no processo de recobrimento de papel com camadas finas compostas por pós metálicos, ele então aplicou esse conhecimento para na fabricação de fitas magnéticas.



Figura 3: Fritz Pfeleumer e o seu gravador de fitas magnéticas

A empresa alemã AEG em parceria com a BASF, desenvolveu diversas mídias inovadoras. Primeiro desenvolveu fitas a partir de acetato de celulose e ferro carbonil, então magnetita e finalmente em 1939, óxido de ferro do tipo γ , a maghemita, que seria usada por décadas a partir de então. Em 1935, a AEG desenvolveu um novo gravador de fitas, chamado “Magnetophon” que incorporou as inovações da época, apresentando um moderno anel na cabeça de gravação e, posteriormente, a corrente alternada. O resultado foi o aumento significativo no desempenho do dispositivo que serviu de modelo para a indústria de fitas de gravação moderna.

Nos Estados Unidos, surgiram várias empresas interessadas no ramo da gravação magnética, em posição de destaque estavam a “Armour Research Foundation” e a “Brush Development Company”. A Brush em parceria com o “Battelle Memorial Institute” desenvolveu recobrimentos magnéticos melhorados, com partículas de magnetita espalhadas mais uniformemente, rendendo produtos com mais alto desempenho. Em 1944, a Brush começou a

auxiliar outras empresas a produzir esse tipo de recobrimento. Em 1947, a 3M desenvolveu a sua primeira fita de áudio magnética, a ScotchTM100, que utilizava cristais de magnetita com forma de agulha sobre uma fita de papel. Um ano mais tarde, a 3M lança sua líder de vendas, a ScotchTM111, que utilizava a maghemita sobre uma fita de acetato de celulose. Essa mesma fita foi utilizada anos depois, em 1953, na primeira máquina de gravação digital desenvolvida pela IBM.

O surgimento da Ampex Corporation serviu de elo entre a indústria de gravação magnética e a indústria do entretenimento. Em 1946, o seu fundador Alexander M. Poniatoff estava em busca de novas linhas de produção para a sua companhia com o objetivo de substituir os contratos do tempo da guerra. Ele teve contato com Jack Mullin, que lhe apresentou um dos Magnetophon original. Impressionado com o aparelho, Poniatoff montou uma equipe e começou a trabalhar no desenvolvimento de um modelo profissional voltado para a rádio-difusão e a indústria de gravação musical. Após muito trabalho em cima do anel de gravação, a companhia apresentou o seu gravador de áudio Modelo 200, que utilizava as fitas 111 da 3M, para grupos de empresários em Hollywood.



Figura 4: Magnetophon original produzido pela AEG

Bing Crosby se interessou pelo Ampex modelo 200, pois queria melhorar a qualidade de áudio de seu programa de rádio semanal, o “Philco Radio Show”. A Bing Crosby Enterprise adquiriu inicialmente 60 unidades do aparelho a um custo de quatro mil dólares cada, e atuou

como distribuidora desses equipamentos para Hollywood, vendendo centenas deles posteriormente.

A Ampex seguiu desenvolvendo e aprimorando a sua linha de áudio profissional, entrando também no mercado doméstico. No final da década de 1940 e início da década de 1950, o número de consumidores interessados começou a crescer, fazendo com que empresas norte-americanas, européias e japonesas se apressassem para suprir com a demanda de gravadores domésticos. O período pós-guerra foi uma época de expansão industrial, refinamento da tecnologia e o desenvolvimento de novos tipos de mídia e novos usos para os gravadores magnéticos. Então os rolos de fita foram colocados dentro de um estojo, produzindo cassetes e mini-cassetes para a gravação de áudio, e posteriormente para a gravação de vídeo.

No início dos anos de 1950, o setor de computadores crescia a uma taxa elevada e a substituição de cartões de armazenamento de dados pelas fitas aprimoradas pela indústria do entretenimento poderia permitir taxas de transferência e acesso mais rápidos a blocos de informação. Entretanto, não era possível o aumento de velocidade utilizando sistemas de gravação analógicos. Foram necessários aprimoramentos tanto na parte mecânica das fitas como nas técnicas empregadas na gravação, resultando em gravadores digitais de fitas de alta-velocidade utilizando múltiplos canais.

Diferentemente dos gravadores analógicos, os dispositivos digitais utilizam técnicas que imitam a natureza digital dos dados utilizados nos primeiros computadores. A informação digital utilizada era composta por lógica binária, 0's e 1's, e era armazenada na fita magnética alternando-se uma corrente elétrica na cabeça de gravação em intervalos de tempo específicos. A alteração na polarização do campo magnético da cabeça de gravação resulta que uma série de pequenos ímãs orienta os seus pólos com o pólo norte e sul do sistema de gravação ao longo da trilha. Esse método é chamado de gravação longitudinal, pois a magnetização se dá principalmente no plano da fita.

A informação pode ser lida posteriormente detectando-se a mudança de orientação entre uma partícula (ímã) e outra ao longo da trilha de gravação. Ao contrário da gravação analógica, a gravação digital apresenta ondas compostas por uma série de pulsos discretos com polaridade alternada.

Os sinais são gravados em uma mídia na forma de zeros e uns, então modificados por códigos de modulação visando melhores padrões de escrita no disco. O código de gravação mais simples e utilizado é chamado de NRZI (Non-Return to Zero Inverted, Inhibit ou IBM), sendo

composto por 1s, representando transições magnéticas, e zeros no caso de não haver transição, ou seja, quando a mesma polarização é mantida.

A utilização da codificação permite a sincronização da leitura de uma onda pré-gravada. Assim, o pulso correspondente ao bit-1 deve ter a sua transição observada dentro de uma dada janela de tempo no momento da leitura. Essa janela de tempo pode ser criada de várias maneiras, a primeira delas utiliza trilhas dedicadas exclusivamente como relógios. Entretanto para se evitar a perda de espaço real na gravação, são preferidos sistemas codificados com relógios implícitos. Modificações no código NRZI foram desenvolvidas rapidamente, uma vez que o tempo de atualização do relógio de sincronização, governado pela transição magnética do bit-1, pode se tornar extremamente demorado no caso de seqüências muito longas compostas apenas por zeros. Outra técnica trabalha com o tamanho da janela de tempo. Existe uma maior tolerância para o deslocamento de picos quando se aumenta a janela de tempo, mantendo-se todos os outros parâmetros inalterados, reduzindo interferência inter-símbolos (ISI) de pulsos adjacentes e minimizando os ruídos e as distorções do sinal. O tamanho da janela é diretamente relacionado com a taxa de variação do código, sendo essa a razão entre os bits usados e aqueles codificados; quanto maior for essa taxa, melhor.

O espaçamento mínimo permitido entre pulsos adjacentes é outro parâmetro importante do código. Maximizando-se o espaço mínimo entre as transições ao longo da trilha, melhores resultados são obtidos, entretanto não é possível se aperfeiçoar todos os parâmetros simultaneamente. Melhores resultados no desempenho geral da gravação são conseguidos por meio de ajustes e otimização de todos os parâmetros envolvidos.

Muitas são as considerações que têm influenciado os códigos, formalismos foram desenvolvidos como o RLL (Run-Length Limitation). Um código pode apresentar uma função $r(d,k)$ RLL, onde r é a taxa (code rate), d restringe o número mínimo de zeros entre dois uns e k , o máximo. Uma restrição c pode eventualmente ser especificada, dando o máximo de magnetização que pode se acumular ao longo da trilha.

Os pulsos inicialmente eram lidos utilizando-se de circuitos do tipo “threshold”. Esse tipo de detector foi substituído por outro que examinava as características do pulso sob diversos ângulos, permitindo uma melhor detecção do sinal, que podia ser mais bem separado do ruído e das distorções de sinal que sempre estavam presentes.

O primeiro gravador de fitas digital foi o “Uniservo I”, que foi produzido em 1951 por um ramo da “Remington Rand Corporation”. O primeiro modelo apresentava oito trilhas de

gravação sobre uma fita metálica de meia polegada. A escolha das fitas metálicas foi devida a sua alta resistência mecânica, que provem a durabilidade necessária sob as altas velocidades de transporte. O grande peso das fitas tornava difícil o seu transporte e o armazenamento, além de disso era difícil de acelerá-las. Medidas também deveriam ser tomadas para se evitar o desgaste na cabeça de gravação. Apesar do infortúnio na escolha do material da fita, a “Uniservo I” trouxe para o mercado diversas inovações que ainda se mantêm até os dias atuais.

Foi então no ano de 1953 que a “IBM Corporation” lançou o “Model 726”, com um arranjo de sete cabeças de gravação precedidas por duas que permitiam apagar a fita completamente. Este gravador utilizava as fitas SchotchTM 111, feitas de acetato de celulose e maghemita, apresentando uma clara vantagem sobre aquelas metálicas, por sua leveza. No momento o grande desafio era conseguir se desenvolver um método para manter a inércia do movimento da fita através da cabeça de gravação; os dois lados da fita, aquele que entra e o que sai da cabeça de gravação devem ser acelerados de forma independente e sincronizados. O “Uniservo I” utilizava um sistema de molas, que funcionavam bem no caso das resistentes fitas metálicas, mas no caso do “Model 726”, os engenheiros da IBM desenvolveram um sistema de colunas de vácuo, que se estendiam por quase todo o comprimento do aparelho, permitindo que a fita ficasse perfeitamente tensionada a cada volta. Essa tecnologia foi exclusividade da IBM até no ano de 1984. O aparelho utilizava a codificação NRZI. Assim, outros canais deveriam ser adicionados para a sincronização, inicialmente dois canais, depois outro contendo a informação complementar da trilha normal, tudo para se assegurar que apenas um bit estava sendo lido em dado intervalo de tempo.

Vários fabricantes juntaram-se no desenvolvimento dos “tape drives” nos anos que seguiram. A 3M lança uma fita mais resistente a ruptura, baseadas no filme da Dupont’s MylarTM. Sistemas de verificação de redundância cíclica, redução na interferência inter-símbolos (ISI), melhorias mecânicas e eletrônicas aumentava a sincronia entre as trilhas e utilização de cabeças de gravação/leitura espaçadas permitiam a leitura da informação imediatamente após a gravação. A sincronia entre os canais foi melhorada utilizando-se códigos de frequência modulada, que inseriam um bit relógio entre cada par de bits de dados.



Figura 5 : Model 726 da IBM que utilizava colunas de vácuo para o controle de rotação das bobinas.

A próxima mudança na fitas de gravação magnética foi feita pela IBM em 1984, com as fitas 3480 com 4 x 5 x 1 polegada Square Tape Cartridge com capacidade para 200 MB de informação, logo lançou a 3480E, com 400 MB. O material magnético utilizado era o dióxido de cromo com alta coersividade magnética, que podia suportar uma densidade maior de dados.

A gravação era feita com as tradicionais cabeças de gravação de 18 trilhas, das quais quatro eram dedicadas à correção de erros, baseada na verificação de paridade cruzada ao longo da largura ou diagonais da fita, e o modo de leitura era totalmente novo, sendo baseado na invenção de Robert Hunt da Ampex, que em 1971 desenvolveu o sistema de cabeças de leitura magnetoresistivas (MR). Embora as diferenças de resistência fossem pequenas, geravam grandes diferenças absolutas de potencial quando se aumenta a corrente até próximo do limite tolerado pelo filme. A vantagem da cabeça de leitura MR é que o sinal de saída é proporcional ao fluxo magnético e não a taxa de variação do fluxo magnético, assim um sinal de boa qualidade pode ser gerado independente da velocidade da fita. Após oito anos, foi possível utilizar esse mesmo sistema de leitura utilizando cabeças MR em mídias na forma de disco.

O IBM 3480 usa o código RLL para se assegurar a sincronização temporal. Transições proximamente espaçadas foram aplicadas para quebrar as grandes seqüências de zeros

possíveis no código (0,3). Essas transições eram tão próximas que não podiam ser lidas como pulsos separados e inseriam deliberadamente a interferência inter-símbolos, que servia para equalizar a forma da onda e reduzir a faixa dinâmica dos pulsos da forma da onda. Esses códigos junto com a equalização 1-D na leitura produzem três tipos de onda que podem ser detectadas com um sensor de amplitude de onda.

Muitas outras melhorias seguiram o Model 3480, fitas com diversas capacidades e dimensões foram produzidas por empresas como a Philips, Ampex, 3M, e Digital Equipment Corporation.

No ano de 1952, a IBM começa a desenvolver um novo conceito de gravação magnética, que tornaria possível o acesso a informações aleatórias dentro uma mídia. Surgem os primeiros discos rígidos (hard drive - HD) que giravam a 1200 rpm e permitiam o acesso mais rápido a dados gravados em diferentes partes do disco, permitindo que cálculos fossem executados muito mais rapidamente que aqueles utilizando fitas, nas quais as informações apresentavam-se gravadas de maneira seqüencial ao longo da fita e o acesso aos dados era limitado.

Os discos rígidos eram compostos por um disco de alumínio recoberto por “spin-coating”, onde partículas de maghemita dispersas em uma matriz epóxi que era aplicada no centro do disco em movimento de rotação, espalhando o recobrimento por toda a superfície. Essa técnica perdurou por décadas até o aparecimento dos recobrimentos com filmes finos.

O processamento de sinal era feito utilizando o código NRZI combinado com detectores de amplitude. A sincronia era conseguida com dois osciladores, que eram ativados a cada transição de fase, bit-1, e a sincronia era mantida mesmo durante grandes seqüências sem transição, seqüência de bit-0.

Em fevereiro de 1954 a primeira frase foi gravada e lida em um HD “This has been a day of solid achievement”, a partir de então, músicas, vídeos, emails, etc. tem sido gravados em discos rígidos. Em 1956, a IBM anuncia o lançamento do primeiro HD comercial, que seria comercializado um ano mais tarde com o nome de IBM 350. Este dispositivo utilizava a tecnologia IBM RAMAC (RANDOM ACCESS METHOD OF ACCOUNTING AND CONTROL). Este lançamento foi um marco na gravação magnética de informações de forma robusta e barata. Desde então até o ano de 2004, a densidade de armazenamento cresceu com um fator de 50 milhões.

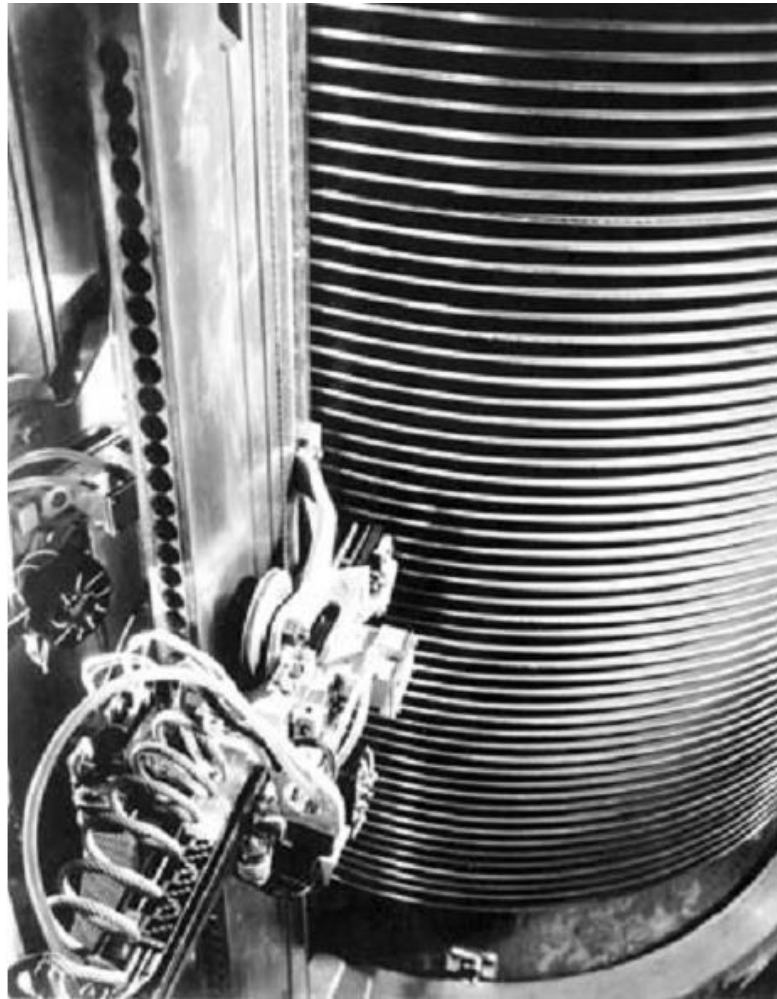


Figura 6: HD IBM 350, o primeiro disco rígido comercial utilizava o sistema RAMAC, possuía 50 discos de 24 polegadas e uma capacidade de armazenamento total de 5 MB

A próxima geração de HDs foi desenvolvida pelo “IBM San Jose Laboratory” que substituiu o complicado sistema de pistões e compressão de ar, utilizados no IBM 350, por um sistema de fluxo hidrodinâmico de ar, que criava automaticamente um filme de ar entre o disco e a cabeça de gravação, permitindo que essa tenha maior mobilidade. Além disso, outra grande inovação foi a introdução do sistema de gravação perpendicular.

Em 1962, a IBM lança o IBM 1301 com capacidade de 56 MB, que incorpora as tecnologias anteriores, além de possuir uma trilha dedicada como relógio para fazer a sincronização da trilha de dados.

O próximo passo na modernização desses sistemas refere-se à utilização de drives de discos removíveis. O primeiro modelo foi o IBM 1311, baseado no modelo fixo IBM 350, seguido pelo IBM 2314, que passou a utilizar codificação com frequências moduladas (FM).

Os modelos IBM 3330 e IBM 3340 são drives que utilizam frequência modulada modificada (MFM) e detector do tipo Delta-V, que analisava a onda sob diferentes pontos de vista, possibilitando a melhor seleção do sinal entre o ruído, permitindo uma melhor recuperação e sincronização dos dados lidos. Esses modelos apresentavam ainda o sistema PLL (Phase Locked Loop) que mantinha a janela de tempo de leitura presa aos dados de forma mais acurada, permitindo o uso de taxas de leitura mais elevadas.

Novos incrementos foram feitos pela IBM, que desenvolveu cabeças de gravação indutiva de ferrita, cabeças tipo MIG (Metal-in-Gap), e finalmente em 1979, cabeças indutivas utilizando filmes finos. Essa última popularizou-se nos anos de 1980, e após várias modificações tornou-se o modelo padrão que se mantém até a atualidade.

O avanço mais importante nas cabeças de gravação foi a substituição das cabeças indutivas por magnetoresistiva (MR), que apresentam sinal de saída muito maior e independente da velocidade de rotação. O primeiro modelo comercial a utilizar MR foi o Model 0663 Corsair, desenvolvido pela IBM Rochester em 1992.

Nos anos de 1990, foram desenvolvidas técnicas de equalização digital, como canais PRML (Partial Response Maximum Likelihood) que ao invés de tentar eliminar a interferência inter-símbolo (ISI) utilizou-a de maneira adequada, permitindo a re-construção do sinal codificado. Desde então a equalização tem se tornado cada vez mais sofisticada. Além disso, pós-tratamentos do sinal, a utilização de cabeças magnetoresistiva gigante (GMR), a gravação termo-assistida e a otimização dos detectores permitiram a fabricação de dispositivos cada vez mais densos que possam acompanhar o demanda crescente da indústria da gravação magnética.

REFERÊNCIAS:

- [1] CODING AND SIGNAL PROCESSING FOR MAGNETIC RECORDING SYSTEMS. EDITADO POR BANE VASIC E EROZAN M. KURTAS. CRC PRESS (2005)
- [2] DIGITAL MAGNETIC TAPE RECORDING: PRINCIPLES AND COMPUTER APPLICATION. BERNARD B. BYCER. HAYDEN BOOK COMPANY. (1965)
- [3] SMART CARD HANDBOOK. WOLFGANG RANKL E WOLFGANG EFFING. JOHN WILEY & SONS. (2003)