

est geralmente inferior au temps de résolution du compteur, et les deux sont comptés pour un seul, quelle que soit leur énergie.

Le nombre d'électrons de recul est égal au nombre d'actes de diffusion dont le coefficient est σ_C ; seul leur nombre compte, indépendamment de leur énergie.

Enfin, comme, $\mu = \tau + \sigma_C$ la fraction est généralement égale à l'unité, et la formule ci-dessus se réduit à:

$$n = kn_0(1 - e^{-\mu x})$$

Le facteur K , qui dépend généralement

du compteur, exprime le rapport entre le nombre d'électrons libérés et le nombre de coups comptés. K varie généralement avec la cadence de ces coups, donc, avec le nombre n_0 de photons incidents.

C'est grâce à des calculs de ce genre que nous pouvons déterminer correctement la signification réelle des lectures de nos instruments de mesure.

DR. H. TELLEZ — PLASENCIA

HARGE DE RECHERCHES AU C. N. R. S.
LABORATOIRE CENTRAL DES SERVICES CHIMIQUES DE L'ETAT
(PARIS)

6. ELECTRÓNICA

INSTRUMENTOS ELECTROFÓNICOS

Entre as menos espectaculares, mas contudo, bem conhecidas aplicações da electrónica, figura a confecção de instrumentos musicais. Alguns destes pretendem substituir os dispendiosos órgãos das igrejas, outros são pequenos órgãos de câmara usados em casa dos amadores de música, enquanto que outros são instrumentos «solo» trazendo novos e inesperados timbres a violinos, bandolins, etc. Contudo os expoentes destes novos inventos não se limitam a imitar. Uma das vantagens da produção electrónica de música, é a habilidade do executante a aventurar-se em novos domínios do colorido do som com uma inexhaustível paleta.

É talvez desnecessário definir a natureza da qualidade do som, ou timbre. É bem conhecido que o que os cientistas chamam a «nota» de um instrumento de música pode desdobrar-se num número de sons simples e que é o número relativo e a intensidade destas componentes que determinam o timbre. Isto mostra-nos, por exemplo, porque é que um violino e um clarinete, quando tocados separadamente não soam da mesma forma, quando dão uma nota da mesma altura. Em muitos casos estes sons componentes pertencem à série dos harmónicos, isto é, as suas frequên-

cias estão em razões simples para a «fundamental» ou componente de menor altura, mas muitas vezes introduzem-se sons, cuja origem é devida às vibrações das partes fixas dos instrumentos tais como o tampo do violino ou o tubo metálico da trompeta e que não se alteram muito quando o executante passa de uma nota para outra. Um conhecimento deste «formant», como se chama, é muito importante para o construtor de instrumentos.

Anteriormente à válvula termiônica, aperfeiçoaram-se aparelhos para reproduzir a forma da onda dos sons musicais. O «phono-deik» foi o mais perfeito registador mecânico de ondas. Actualmente existem microfones condensadores, amplificadores e oscilógrafos de raios catódicos, para trabalhar por nós, ou ainda há a alternativa do filme sonoro.

Todos estes registadores precisam ser afeitos. A sua curva característica (resposta: frequência) deve ser conhecida e corrigidas as resultantes formas das ondas, se fôr necessário, pela não linearidade da resposta no analisador. O aparelho mais conveniente para este fim é um analisador eléctrico de onda. Este analisador eléctrico de onda, é, em princípio, como o conjunto de um receptor de telefonia sem fios, mas cobrindo a gama das

ondas sonoras audíveis em vez das ondas ultrasónicas que se usam para «conduzir» a música radiodifundida. Procede-se à sintonização do analisador através a sua escala de frequências desde 20 a 20 000 vibrações/segundo, registando as várias harmónicas da forma da onda e tomando nota das leituras do voltímetro que regista a intensidade de cada som componente. Este instrumento dá, de facto, uma indicação como a que se obtém muitas vezes num aparelho de telefonia para mostrar quando se alcançou o máximo de sintonização de uma estação.

A Fig. 1 mostra um exemplo desta análise para um som relativamente simples. A curva superior mostra um período completo da forma da onda como foi registada pelo oscilógrafo.

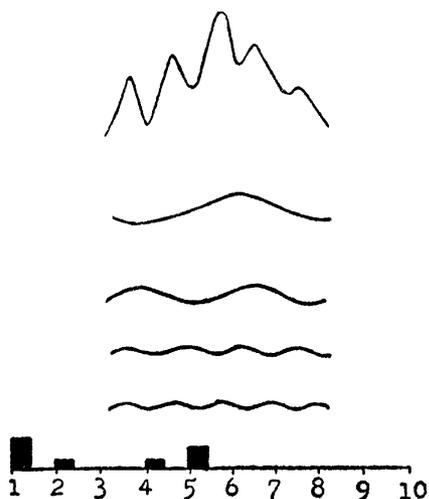


Fig. 1

Por baixo estão três ou quatro sons simples em que foi desdobrada pela máquina. Mostra-se também a sua grandeza relativa pela altura dos rectângulos pretos no «espectrograma acústico» colocado no fundo da figura. Neste caso as componentes são verdadeiros harmónicos e relativamente baixos na série. Quando se eleva a intensidade de um instrumento de música ou quando estamos tratando com sistemas complexos como um sino ou a voz humana todos os harmónicos não são tão grandes como o fundamental e, além disso, cobrem a maior parte da escala musical, de modo que a nova análise pode estender-se à

deteção de uns vinte ou mais sons parciais dentro do alcance da frequência do aparelho.

Pela combinação das componentes na sua verdadeira grandeza e frequência podemos, portanto, reconstituir o som original do produtor, ou podemos experimentar com outras combinações obter novas qualidades do som. Estes são os objectivos dos instrumentos que produzem timbres sintéticos por meios eléctricos, cujos aspectos básicos iremos enumerar. Antes de o fazermos, notaremos que falamos presentemente como se as qualidades de uma nota de um instrumento de música permanecessem imutáveis durante a sua produção, mas isto não é realmente verdadeiro para um instrumento, particularmente para «cordas» ou «metais». Devemos incluir no nosso estudo as notas transitórias que precedem ou seguem as notas sustentadas pelos instrumentos de orquestra e imitá-los em duração e características se queremos a cópia exacta das suas respectivas funções musicais.

O primeiro instrumento produzindo sons electricamente construiu-se antes da era electrónica. Em 1906 o «Telharmónio» foi inventado nos Estados Unidos. Este aparelho, como os actuais, produziam correntes eléctricas de variável frequência e intensidade por meios de elementos rotativos. Estas correntes eram lançadas na rede telefónica dos Estados Unidos e forneciam música aos subscritores em sua casa. Contudo, depois do equipamento ter sido reunido a experiência teve de ser abandonada devido a interferências e efeitos indutivos em outras linhas da rede telefónica ainda longe de perfeita naquela época, se bem que este sistema de produção contivesse todos os elementos essenciais de um órgão eléctrico.

É, porém, nas invenções da válvula termiônica e da célula fotoeléctrica que devemos procurar desenvolvimentos na moderna ciência.

Podemos assim classificar os aparelhos electrofónicos existentes:

- 1) Instrumentos dando notas simples, nas quais a capacitância de um oscilador é variada para alterar a altura.

- 2) Instrumentos contendo um número de osciladores que são postos em accção carregando em teclas e em que o timbre se muda pela interposição de filtros apropriados.
- 3) Instrumentos nos quais a produção do som é assegurada pela emissão de feixes luminosos através fendas sobre uma célula fotoeléctrica, interpondo uma fita ou um disco com convenientes desenhos em preto e branco neles inscritos.
- 4) Istrumentos de corda ou tubos vibrantes que iniciam as notas através um número de «pick-ups» e filtros apropriados.

P(1). O protótipo destes foi o arco cantante de Duddell. O arco está «shuntado» por uma bobina e um condensador cuja indutância e capacidade determinam a frequência natural do circuito. Por mudanças na indutância continuamente variáveis ou por saltos é possível tocar notas afinadas no arco. Desde então têm sido tiradas patentes de numerosos instrumentos usando válvulas osciladoras (audions), mas aqueles com teclados e um oscilador para cada nota têm provado ser muito dispendiosos tanto no custo inicial como na conservação das numerosas válvulas, para obterem carreira no mercado. Permanecem ainda os instrumentos de «solo» dos quais o «Theremin» e o «Trautonium» alcançaram produção comercial. O «Theremin» é um oscilador de frequência pulsátil no qual a capacidade controlando a frequência consiste em um olhal de cobre e uma haste segura na mão (ou algumas vezes a própria mão). A nota pulsátil quando a mão está afastada do olhal está acima do limite audível mas desce através a escala musical quando a mão se aproxima do olhal em virtude do aumento de capacidade.

No «Trautonium», assegurado pela Companhia Telefunken, da Alemanha, é ainda possível fazer «portamentos», ou pode-se passar directamente de nota para nota no próprio estilo musical. Usa-se um tubo com grelha incandescente como gerador de frequência variável. O potencial de grelha que determina a altura é controlado pelo compri-

mento da resistência de um fio obtida pelo executante carregando determinado ponto do fio sobre uma marca numa placa de metal por trás do mesmo como os filetes no braço de um banjo. Outra resistência por baixo da placa é variada pela pressão do dedo sobre a placa alterando assim a intensidade do som. É portanto possível obter uma variação tão suave ao tocar como um «virtuose» consegue de um violino pela simples gradação da pressão de um único dedo sobre o fio, incluindo efeitos tais como tocar «vibrato» e «staccato».

P(2). Este tipo origina o timbre tanto electromagnética como electrostáticamente. A Fig. 2 mostra o esquema de um órgão Hammond. Um motor síncrono comanda uma série de noventa e um geradores de som através rodas dentadas e «pinhões».

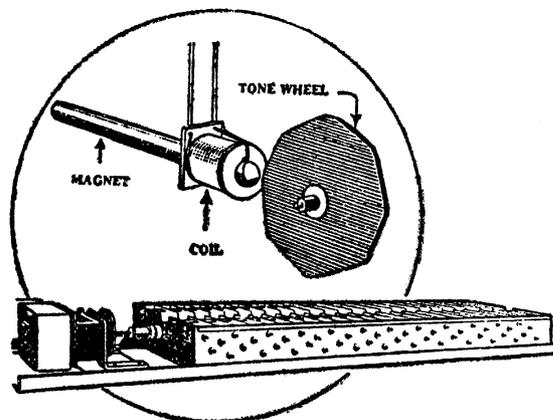


Fig. 2

A roda de som é uma chapa poligonal com o tamanho próximo de meia coroa rodando junto de um ímã permanente no qual está enrolada uma bobina. Quando um ponto saliente da roda passa junto do ímã induz-se uma pulsação de corrente na bobina. A velocidade de rotação e o número de vértices de cada roda são calculadas para que cada disco produza um dos noventa e um sons parciais usados para construir a combinação dos fundamentais e harmônicos para obter o timbre desejado. O último é assegurado no controlador harmônico onde as várias frequências são sobre-

postas e segue como uma única onda complexa para o amplificador colocado na consola.

No tipo electrostático dois electódios estão colocados no ar separados por uma pequena distância, movendo-se um relativamente ao outro. Estas duas placas constituem as duas armaduras de um condensador, geralmente colocadas a uma distância fixa. Uma variação ondulante em capacidade entre as armaduras é causada rodando uma delas sobre a qual estão gravadas fendas sinusoidais enquanto a outra se mantém fixa. Um dos discos estacionários de substância isoladora, na face do qual estão fixadas oito anéis concêntricos de substância condutora cortada em ondas sinusoidais, está indicado à esquerda da Fig. 3. O número de formas para cada anel cresce em potências de dois a partir do centro para o anel exterior o qual tem 256 ondulações. Um par destes discos estacionários fazendo face um ao outro tem entre eles um outro disco de bakelite, que roda — visto à direita da Fig. 3. O disco que roda está provido com oito anéis concêntricos de aberturas,

de válvulas com o fim de produzir os necessários sons fundamentais e as suas oitavas para cobrir a escala musical.

P(3). Há algumas variedades de órgãos fotoeléctricos. Numa, de origem francesa, um número de desenhos sinusoidais está pintado a preto sobre um disco (Fig. 4), que, é posto em rotação por um motor eléctrico de constante velocidade. Cada desenho está provido de uma fenda e de uma pequena lampada por trás dele. A intensidade da luz passando através a fenda é assim variada periódicamente, e a iluminação combinada, por meio de espelhos ou prismas, é levada para a célula fotoeléctrica, da qual a corrente amplificada é levada para o alto-falante. Assim o disco indicado, quando rodando a 50 revoluções por segundo, dá uma série harmónica de sons — até à oitava, mas omitindo a sétima — baseada na fundamental de 200 ciclos por segundo. O timbre é variado ao capricho do executante através a intensidade da corrente aplicada a cada uma de sete pequenas lampadas. Pode-se ainda pintar desenhos no

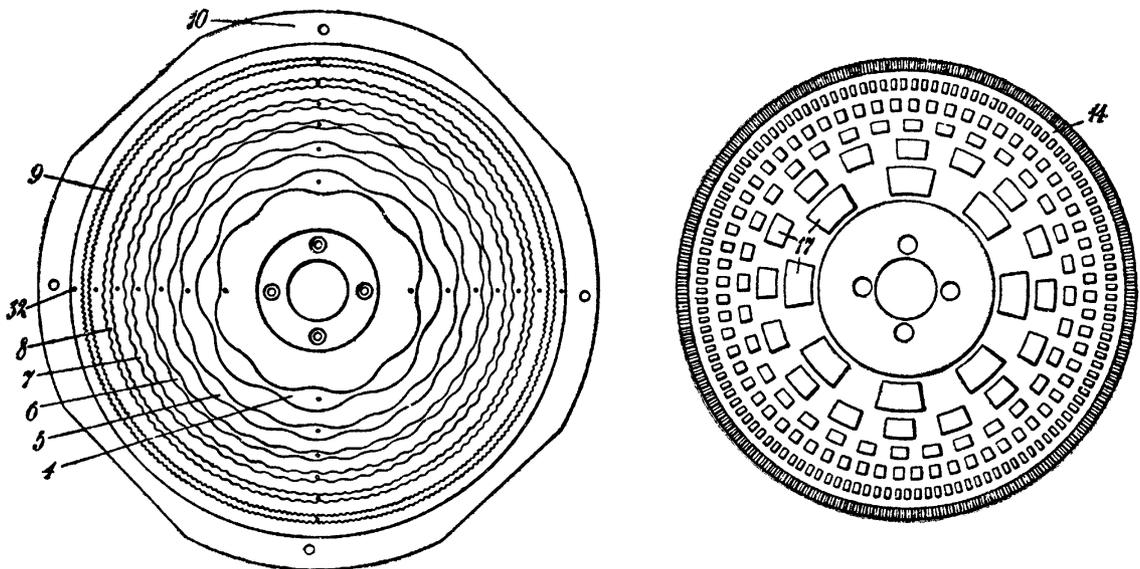


Fig. 3

cada um dos quais cobre meio comprimento de onda da correspondente onda sinusoidal. Estes condensadores de capacidade variável estão em ligação com os circuitos da grelha

disco correspondentes a timbres pre-estabelecidos.

Posto que os três órgãos descritos deem normalmente sons de intensidade fixa, não é

difícil, embora naturalmente auxiliem a sua produção, introduzir circuitos que amortecerão desde o seu começo o som de cada nota tentando assim a imitação dos sons do piano, da harpa, ou do sino, se bem que a forma da onda artificial não varie durante a atenuação da mesma maneira que o faz em alguns dos protótipos. Não está para além do espírito humano projectar circuitos que mudem a qualidade do som ao mesmo tempo que façam a nota extinguir-se. Na realidade alguns inventores conseguem sons constantes e evanescentes como os obtidos em alguma origem amortecida, por exemplo, uma lâmina percutida. Logo que o som tenha alcançado

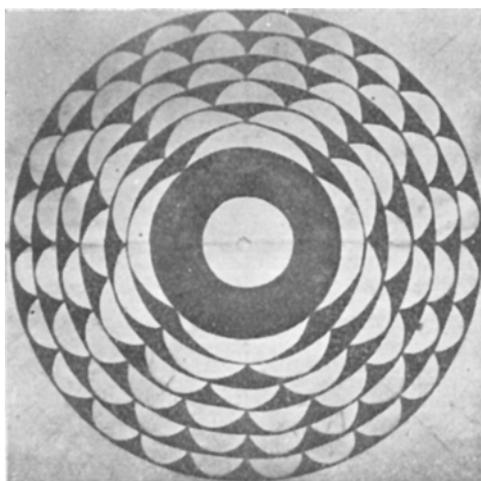


Fig. 4

o seu máximo de intensidade o «pick-up» é ligado sobre um circuito com uma constante de tempo que possa vir a dar maior ou menor amortecimento conforme se desejar, ou manter o som sem dissipação enquanto a tecla está pisada, a despeito do amortecimento no vibrador acústico; (isto necessita uma resistência negativa no circuito).

P(4). Dos tipos que usam um instrumento musical usual como o piano, a guitarra ou o violino e «pick-ups» colocados sobre as cordas, os mais famosos são o «Neo-Bechstein», um piano sem tampo harmónico, e a «Gui-

tarra Eléctrica», ambos tendo «pick-ups» por trás das cordas. Em todos estes instrumentos pode usar-se um «pick-up» magnético, quer dizer, quando a corda de aço vibra muda a indução magnética numa pequena bobina anexa; ou pode trabalhar segundo o princípio electrostático e neste caso o vibrador aproxima-se ou afasta-se de uma placa colocada por trás do fio. O fio é então carregado mantendo uma diferença de potencial superior à da placa de modo que o par constitua um condensador de capacidade variável, que pode estar ligado com o circuito de grelha de uma válvula amplificadora.

Outros instrumentos do mesmo tipo usam palhetas como vibradores acústicos. Algumas vezes estas são excitadas por martelos à maneira de uma celeste; outras vezes empregam-se palhetas mantidas por correntes de ar como no harmónio.

Deve notar-se que muitos destes instrumentos pretendem produzir uma nota uniforme de timbre constante através de toda a escala e não tentam introduzir os sons efêmeros e os «formants» o que consideramos essencial existir se os aparelhos acústicos mecânicos actuais tenham de ser imitados. Contudo, é lícito perguntar se tal imitação servil é desejável e se estes novos instrumentos não poderiam ostentar uma técnica peculiar e ter um repertório musical especialmente escrito para eles.

Já apareceu música para o órgão electrónico no qual o timbre vem expresso por números correspondentes às intensidades parciais requeridas em lugar do registo especial nas músicas para órgãos de tubos. De facto é questão saber se algumas das características implícitas na música de alguns dos mais velhos instrumentos não estão conservadas e toleradas porque é difícil aperfeiçoá-los dentro da estrutura da sua forma presente e do método da sua construção.

Dr. E. G. RICHARDSON

A «Gazeta de Física» luta por um curso independente de Física