9 - Nas válvulas triodos, a intensidade da corrente de placa é afetada grandemente pelo:

a) *potencial positivo da placa em relação ao filamento*
b) *potencial ou polarização de grade em relação ao filamento*
c) *material usado na construção da placa*

10 - Se aumentarmos a tensão do filamento de uma válvula eletrônica, sucederá que a corrente de placa:

a) *aumentará*
b) *diminuirá*
c) *permanecerá constante*





Printed in Brazil
Impresso no Brasil

OCCIDENTAL SCHOOLS
ESCOLA DEDICADA EXCLUSIVAMENTE AO ENSINO ESPECIALIZADO DE ELETRÔNICA — RÁDIO — TELEVISÃO E SUAS RAMIFICAÇÕES
ESTABELECIDA EM 1947
C. Walsh, Diretor
RUA CAPITÃO SALOMÃO 59 - C.E.P. 01034 - SÃO PAULO - S.P. - BRASIL

LIÇÃO E-19
VÁLVULAS ELETRÔNICAS PARTE I

As válvulas eletrônicas (válvulas à vácuo) marcaram época pelo grande desenvolvimento que deram à eletrônica, pois possibilitaram a criação de aparelhos de rádio, de televisão, de alta-fidelidade e som estereofônico, do rádar, etc. Elas são usadas para controlar, amplificar e modificar a corrente eletrônica em todas as etapas dos referidos aparelhos. Ajustando os demais componentes nos circuitos desses aparelhos, é possível fazê-las desempenhar uma infinidade de funções, tais como: converter a corrente alternada em corrente contínua, amplificar tensões de áudio ou de radiofrequência, produzir tensões sumamente altas, etc.

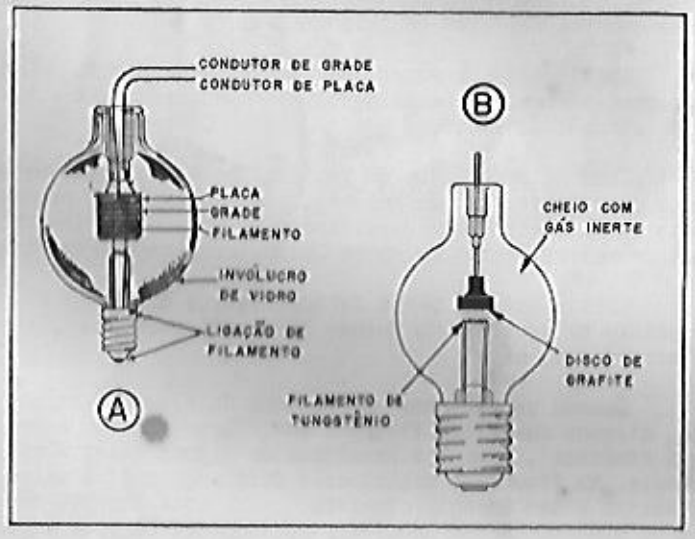


FIGURA 1
(A) A VÁLVULA AUDION INVENTADA PELO DR. LEE DE FOREST.
(B) A VÁLVULA TUGAR (VÁLVULA RETIFICADORA)

Todas as maravilhas da radiocomunicação, como a transmissão da voz por meio das ondas de rádio, a

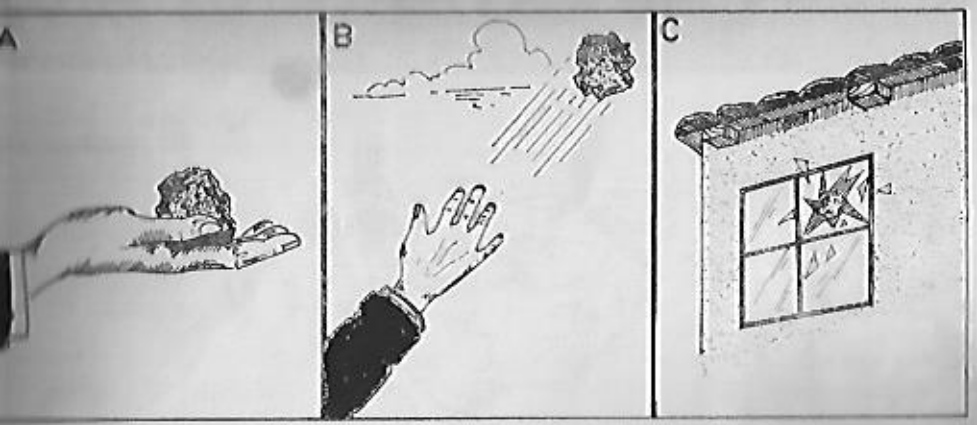


FIGURA 2
A) UMA PEDRA SEM ENERGIA CINÉTICA; (B) UMA PEDRA COM ENERGIA CINÉTICA; (C) A ENERGIA CINÉTICA SE CONVERTE EM OUTRA FORMA DE ENERGIA

ransmissão das imagens por meio da televisão, a observação visual de objetos istantes por meio de radar, etc., não existiriam sem o maravilhoso descobri ento da *válvula triodo* pelo Dr. Lee de Forest e o posterior aperfeiçoamento aquela válvula, gerando o aparecimento do tetrodo, pentodo, etc. Sem estas álvulas, as radiocomunicações não teriam, possivelmente, avançado além da omunicação dos transmissores de faísca por meio da chave telegráfica.

Muito embora a aparição dos transistores, diodos e outras classes de se icondutores tenha tornado as válvulas superadas pelas inúmeras vantagens que les apresentam, você irá encontrar em sua vida profissional ainda muitos apa elhos com válvulas que necessitarão de sua atenção, motivo pelo qual estes nsinamentos se fazem necessários.

As válvulas à vácuo ou válvulas eletrônicas são assim chamadas porque eu funcionamento depende do fluxo de elétrons entre os eletrodos no seu inte ior através do vácuo.

Como os princípios de seu funcionamento estão baseados na teoria eletrô ica de constituição da matéria, e em especial da constituição eletrônica dos etais, é conveniente repassarmos os conhecimentos sobre estes temas dados as primeiras lições de nosso Curso, complementando-os quando for o caso.

Certos metais têm a característica de perder elétrons da órbita mais distante de seus átomos quando lhes aplicamos energia exterior: calor, força eletromotriz, etc.

Quando os elétrons dos átomos de alguma substância se põem em movimen to, dizemos que estes elétrons adquiriram ou têm energia de movimento (ener gia cinética), que é o resultado de alguma energia exterior aplicada à subs tância. Na figura 2 mostramos a diferença que há entre um corpo com energia cinética e sem energia cinética, pois esta energia não é uma propriedade que só os elétrons podem adquirir; qualquer corpo pode adquiri-la: uma pedra, uma bola, os átomos em conjunto, as moléculas, etc.

De acordo com as ilustrações da figura 2, notamos que quando um corpo es tá em repouso ele não tem energia cinética; contudo, tão logo aplicamos ener

gia de alguma forma (como por exemplo a força da mão para arremessar a pedra), dizemos que esta pedra adquiriu energia cinética. No momento que a pedra se chocar com outro corpo (como por exemplo, o vidro da janela), a energia cinética se transformará em outra forma de energia: calor, som (vibrações mecânicas), etc.

Como dissemos anteriormente, os átomos em conjunto ou as moléculas de algumas substâncias também podem adquirir energia cinética ao lhes serem aplicadas energia exterior (como o calor, luz, etc.). Por exemplo, os gases ou substâncias em estado gasoso têm uma considerável quantidade de energia cinética que mantém as moléculas separadas umas das outras na medida que o recipiente permite. Se alguma substância em estado gasoso (o vapor de água, por exemplo), se evapora na atmosfera, notamos que o gás se dispersa até desaparecer por completo de nossas vistas. Quando isto sucede, dizemos que o vapor de água se dissipou; mas o que realmente aconteceu foi que suas moléculas se afastaram tanto uma das outras, desaparecendo de nossa visão; só podemos ver grandes grupos de moléculas e não uma só ou várias delas.

Analisando o processo necessário para converter a água em vapor de água, observamos que para conseguir isto devemos *aplicar calor*, isto é, o calor é energia exterior que produz a energia cinética necessária para que as moléculas entrem em movimento e se separem umas das outras. Esta mesma observação é certa no caso de todas as substâncias que existem na Natureza, pois qualquer uma delas pode passar ao estado gasoso pela aplicação do calor. A razão pela qual umas substâncias se encontram em estado gasoso e outras não, é que em alguns casos o calor necessário para gaseificar a substância é o próprio calor ambiente produzido pelo Sol, enquanto que em outros casos é necessário um calor mais intenso. Pelo contrário, se esfriarmos (tirarmos o calor) algumas substâncias como o ar, por exemplo, é possível ser convertido ao estado líquido a uma temperatura de 190 graus abaixo de zero.

Vamos ver a forma de aplicar energia aos átomos de alguns metais, a fim de que eles adquiram suficiente energia cinética para que alguns elétrons saiam de suas órbitas.

EMISSÃO ELETRÔNICA

Recordando os conhecimentos aprendidos anteriormente, vimos que os átomos dos elementos que constituem a série dos metais como o Cobre, o Ferro, o Níquel, o Tungstênio, etc., têm a característica de perderem facilmente os elétrons das órbitas exteriores de seus átomos quando lhes são aplicados alguma energia exterior.

Este fenômeno está ilustrado na figura 3, onde vemos que a aplicação de calor ao fio faz com que alguns elétrons saiam das órbitas exteriores de seus átomos e, em seguida, da superfície do metal.

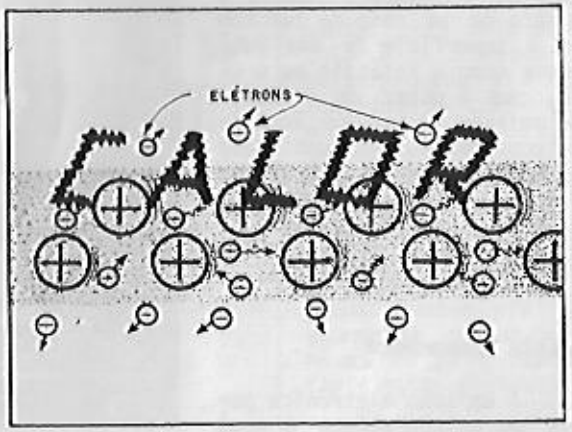


FIGURA 3
DEVIDO AO CALOR, ALGUNS ELÉTRONS SE DESPRENDEM DA SUPERFÍCIE DO FIO

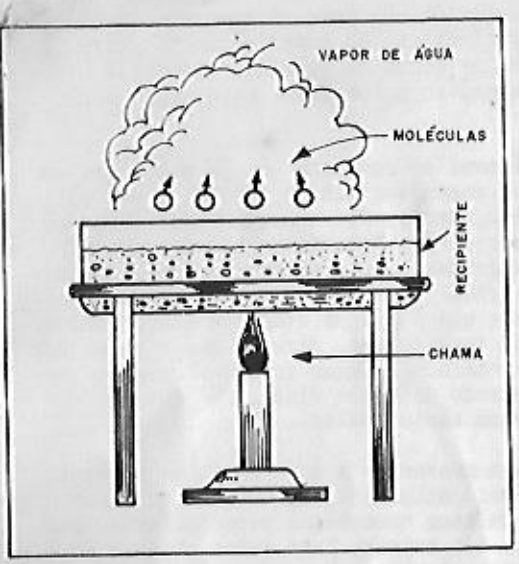


FIGURA 4
APLICAÇÃO DO CALOR A UM RECIPIENTE COM ÁGUA

Deste 1800 ficou comprovado que espaços adjacentes aos metais, quando aquecidos, eram melhores condutores de eletricidade que quando frios; porém, naquela época não se tinha explicação deste fenômeno, pois ainda era desconhecida a existência do elétron. Com os conhecimentos atuais, sabemos que a melhor condutibilidade das áreas próximas a um corpo incandescente é devida à existência de elétrons livres, permitindo assim um movimento mais fácil à passagem da corrente eletrônica através dos gases.

Esta *emissão eletrônica* (evaporação de elétrons) é devida à aplicação do calor, pois este produz energia cinética em cada elétron com intensidade suficiente para vencer a força de atração do núcleo; isto faz o elétron sair da órbita exterior e circular livremente pelo metal.

Este fenômeno pode ser comparado com o calor aplicado a um recipiente com água (figura 4); as moléculas de água adquirem suficiente energia cinética para sair da superfície do líquido e se converterem em moléculas gasosas por causa da excessiva energia cinética proveniente do calor aplicado.

Esta emissão eletrônica pode ser produzida pelo calor, luz, alta tensão, etc. Por exemplo, a figura 5 mostra o impacto de um raio de luz contra a superfície de uma substância como o Potássio ou o Césio, que é capaz de produzir uma emissão (evaporação) de elétrons em pequena quantidade dentro de uma válvula à vácuo, ou então em pequena quantidade de gás. Este é o princípio de funcionamento das células fotoelétricas (fotocélulas).

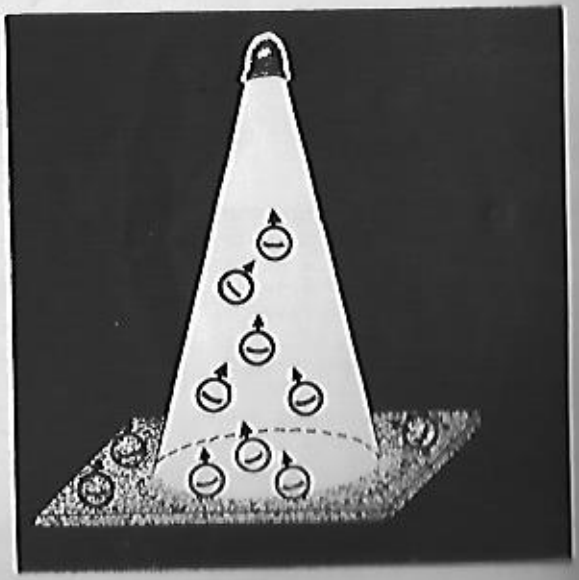


FIGURA 5
EMISSÃO DE ELÉTRONS PRODUZIDA POR UM RAIO DE LUZ

EMISSÃO TERMOIÔNICA

A emissão eletrônica por meio do catodo recebe o nome de *emissão termoiônica* porque esta emissão de elétrons é devido ao calor proveniente do filamento. Contudo, para obter

o calor necessário para produzir esta emissão não é necessário utilizar fontes de calor como o fogo, pois é possível utilizar a própria energia elétrica para obter este calor.

Em nossa própria casa temos exemplos de calor produzido pela energia elétrica: o ferro de passar roupa, aquecedores elétricos, torneiras elétricas, chuveiro elétrico, etc. A figura 6 mostra que a fricção dos elétrons em movimento (corrente eletrônica) com os elétrons estacionários dos átomos do metal é que produz calor; este depende da quantidade de elétrons que passam pelo mesmo ponto, ou seja, da intensidade da corrente (amperagem) que flui pelo metal.

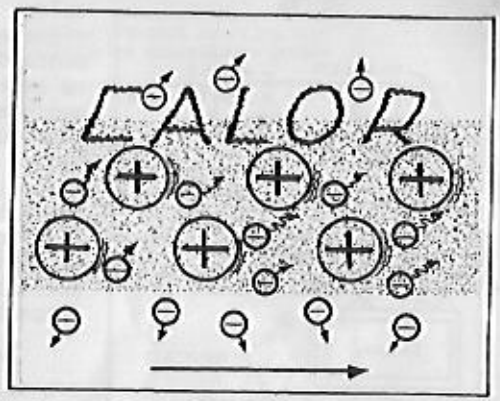


FIGURA 6
A FRICÇÃO DOS ELÉTRONS EM MOVIMENTO COM OS ELÉTRONS ESTACIONÁRIOS PRODUZ CALOR

Por esta razão, os fatores que determinam a quantidade de calor que um metal produz são: o *diâmetro* do condutor e a *intensidade* da corrente, pois se conservamos a corrente constante e formos diminuindo progressivamente o diâmetro do condutor, cada vez mais haverá maior fricção de elétrons e, portanto, mais calor. Este mesmo efeito é obtido conservando constante o diâmetro e aumentando progressivamente a corrente.

Por exemplo, na figura 7 mostramos o que poderíamos observar num fio em que flui uma corrente eletrônica com suficiente intensidade. Dizemos que *poderíamos observar*, pois o aluno se lembra que nem o mais poderoso microscópio conseguiria ver os elétrons devido às suas dimensões serem infinitamente pequenas. No caso da emissão eletrônica produzida pelo filamento da lâmpada, o calor é tão intenso que torna incandescente o filamento, pois este condutor é de diâmetro muito pequeno e a intensidade da corrente eletrônica que flui é muito considerável. Por isso, a emissão eletrônica produzida pelo filamento da lâmpada é também considerável; contudo, ela não produz nenhum efeito aparente porque não há meios para fazer fluir estes elétrons.

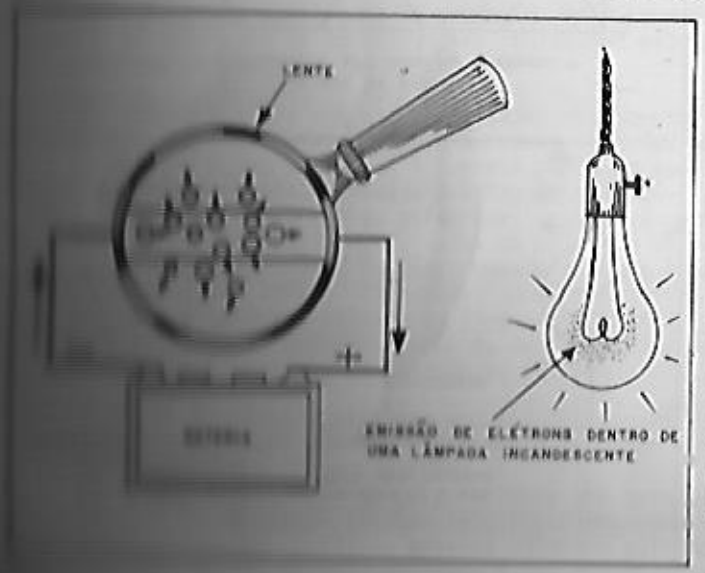


FIGURA 7
CORRENTE ELÉTRICA ATRAVÉS DE UM FIO PRODUZ A EMISSÃO ELETRÔNICA

O primeiro investigador que notou que algo sucedia no interior da lâmpada, além



FIGURA 8
EFEITO DE EDISON

calor, foi Edison, quando numa de suas experiências procurava verificar porque o filamento da lâmpada se queimava, quase sempre na extremidade positiva (a lâmpada era alimentada por corrente contínua). Ele notou que quando colocava uma plaquinha metálica dentro da lâmpada, perto do filamento, e a ligava aos polos da bateria (figura 8), havia uma passagem de corrente eletrônica no interior da lâmpada (o galvanômetro ligado em série com a placa indicava passagem de corrente, quando o filamento estava incandescente).

Este fenômeno era muito curioso, pois era sabido que no interior da lâmpada havia o vácuo mais perfeito que se podia produzir, e que a placa estava totalmente isolada do resto do circuito. Edison notou também que, ligando a placa ao pólo negativo da bateria que alimentava, não havia passagem de corrente entre o filamento e a placa.

Edison não deu importância a este descobrimento, porque seu interesse principal era aperfeiçoar a lâmpada incandescente; ele simplesmente tomou nota deste fenômeno. Como naquela época ainda não era conhecida a teoria eletrônica, Edison não encontrou explicação para a passagem da corrente através da lâmpada, e também porque o mesmo fenômeno não era produzido quando se ligava a placa ao borne negativo da bateria. Este fenômeno ficou conhecido como *efeito de Edison* (emissão termiônica).

Entretanto, com os conhecimentos de hoje, a explicação deste fenômeno é simples (figura 8), pois o que sucede é que os elétrons emitidos pelo filamento incandescente são atraídos pela placa metálica, quando esta é de polaridade positiva, porque, como os elétrons são cargas eletrônicas negativas, eles são atraídos pela placa metálica, que é de polaridade oposta. Da placa os elétrons passam através da bobina do galvanômetro (produzindo a deflexão do ponteiro), regressando à bateria.

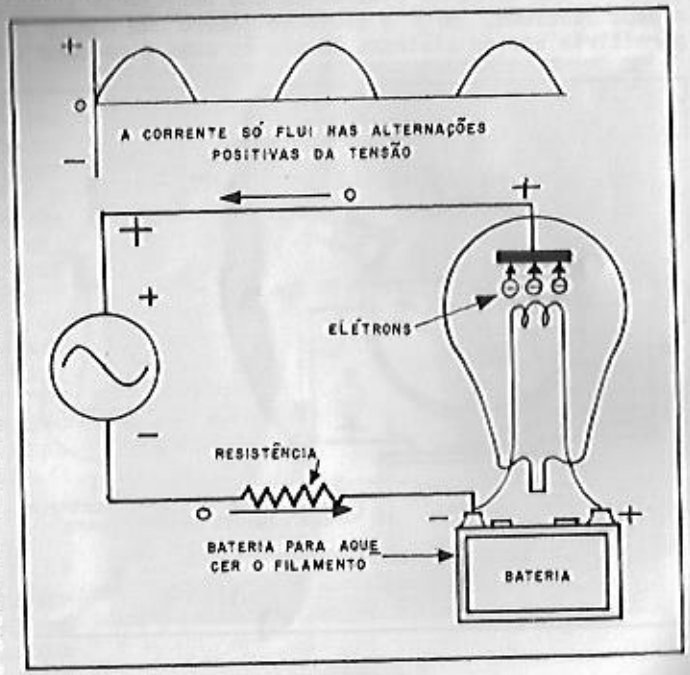


FIGURA 9
PRINCÍPIO DE RETIFICAÇÃO

pada não há ar porque ele é constituído, em parte, de oxigênio, este elemento combinado com o metal do filamento formaria um óxido que logo destruiria (queimaria) o filamento da lâmpada.

Semelhante fenômeno aconteceria com uma lâmpada fabricada com o exclusivo propósito para utilizar o efeito de Edison; neste caso, os elétrons que saem do filamento em direção a placa se chocariam com os átomos do gas (ar), reduzindo a corrente de elétrons entre o filamento e a placa. Por este motivo, a maioria das válvulas eletrônicas tem o vácuo mais perfeito que se pode conseguir; esta é a razão de se chamar as válvulas eletrônicas de *válvulas à vácuo*.

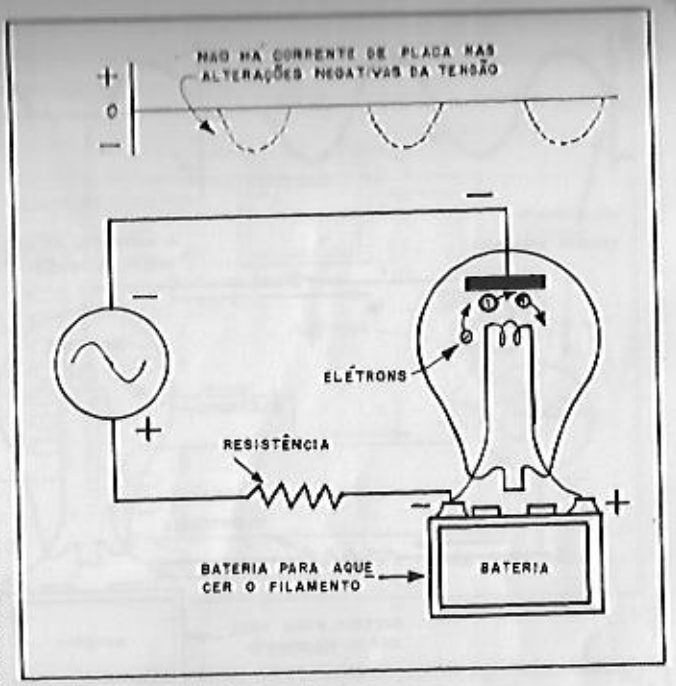


FIGURA 10
NÃO HÁ PASSAGEM DE CORRENTE NOS INSTANTES EM QUE A PLACA É NEGATIVA

INVESTIGAÇÃO DE FLEMING

Continuaremos explicando o processo do desenvolvimento do *"EFEITO DE EDISON"*, apresentando as investigações realizadas pelo físico inglês Fleming, que continuou as pesquisas de Edison.

Em seus trabalhos sobre os princípios descobertos por Edison, nos quais se especificava que somente passava corrente elétrica quando a placa era positiva em relação a uma parte do filamento, Fleming aperfeiçoou esses descobrimentos e deu a primeira aplicação prática ao utilizá-lo para converter as correntes alternadas em correntes pulsantes, compostas somente das alternações positivas da corrente alternada. Como as válvulas só permitem a passagem da corrente eletrônica através do vácuo quando a *placa é positiva*, se aplicarmos a esta valvula uma tensão alternada, conforme mostra o circuito da figura 9, a corrente eletrônica passará do filamento à placa, e dali de regresso ao filamento, através do gerador, isto é, nos instantes do ciclo em que o gerador torna a placa positiva em relação ao filamento.

Observe que Fleming utilizou uma *bateria* A para fornecer corrente eletrônica, a fim de fazer com que o filamento emitisse elétrons.

Na metade do ciclo em que a polaridade do gerador torna negativa a placa em relação ao filamento (figura 10), observamos que não ha nenhum fluxo de elétrons do filamento à placa, pois os elétrons emitidos são repelidos pela placa que tem, agora, polaridade igual a dos elétrons.

Devemos lembrar que a tensão ou polaridade de um eletrodo é sempre em

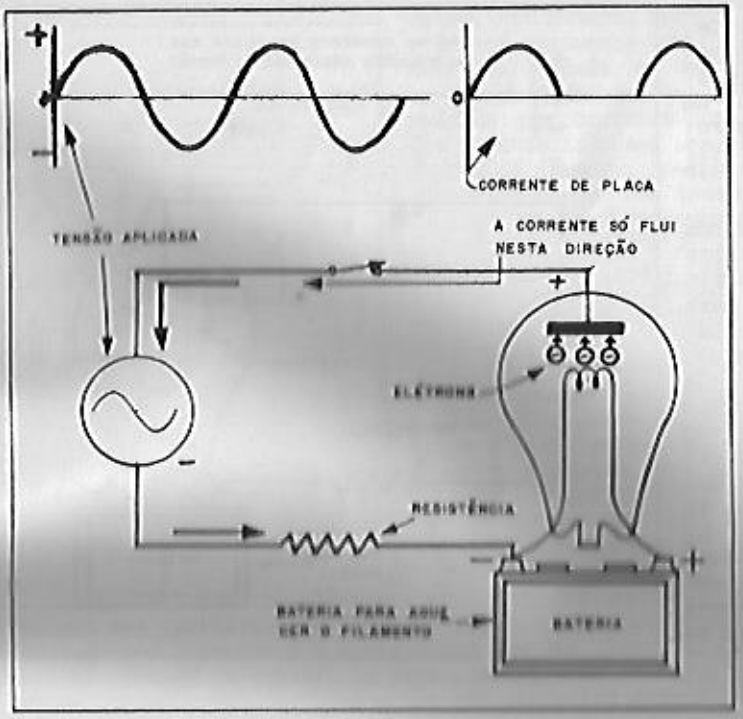


FIGURA 11
FUNCIONAMENTO DO RETIFICADOR EM DOIS CICLOS DA C.A.

relação a outro eletrodo. Por exemplo, na figura 10 dizemos que a placa é negativa em relação ao filamento, ou que o filamento é positivo em relação à placa. Contudo, isto não quer dizer que a placa seja negativa em relação a si mesma, pois a tensão (diferença de potencial) significa desequilíbrio de elétrons entre dois corpos.

Como a válvula com uma placa metálica consta de *dois eletrodos* (filamento e placa), estas válvulas são conhecidas como *diodos*. O circuito do filamento é conhecido como *emissor* (calefator), ou simplesmente como *filamento*. As ligações que completam o circuito da placa são conhecidas como *circuito de placa*. Esta válvula foi a primeira aplicação prática da condutibilidade da corrente eletrônica através do vácuo, produzida pela diferença de potencial entre os eletrodos (filamento e placa).

Retornando às figuras 9 e 10, observamos que a corrente eletrônica só flui pelo circuito de placa *numa direção* (do filamento à placa). Além disso, a característica mais importante é que a corrente eletrônica só fluirá pelo circuito de placa quando o *potencial* aplicado a ela for *positivo* com relação ao filamento.

A figura 11 mostra o processo completo da conversão de corrente alternada em corrente pulsante positiva, que é o primeiro passo para a conversão de uma corrente alternada em corrente contínua, por meio desta válvula. Observe que durante a metade do ciclo, em que a tensão torna negativa a placa em relação ao filamento, não há nenhuma passagem de corrente (indicada pelo espaço em branco). Apesar do fluxo desta corrente ser numa só direção, a intensidade dela não é constante, pois a tensão varia no semiciclo positivo da corrente alternada, e é nula no semiciclo negativo.

Por esta razão, a corrente contínua obtida por esta válvula é uma corrente contínua pulsativa, que pode ser *nivelada* por meio de filtragem.

Este método para converter corrente alternada em corrente contínua, por meio da válvula, é conhecido como *retificação*, graças ao físico Ambrose Fleming.

A figura 12 mostra um circuito completo de um retificador que utiliza uma válvula diodo para converter a corrente alternada em corrente contínua pulsativa, para carregar acumuladores de automóveis (baterias tipo Chumbo-ácido), mediante a passagem de corrente eletrônica em direção oposta ao processo de descarga.

Observe que este aparelho consiste de um transformador com dois enrolamentos secundários: um deles baixa a tensão para 2 ou 3 volts com 10 ampères, para incandescer o filamento da válvula (diodo retificador), e o outro secundário baixa a tensão da linha de força para aproximadamente 30 volts, a fim de serem aplicados entre a placa e o filamento da válvula (Os dados de tensão e corrente são apenas para exemplo). A bateria que vai ser submetida ao processo de carga é intercalada no circuito de placa da válvula, onde flui a corrente numa só direção, como indica a flecha. Como este retificador só permite a passagem da corrente durante meio ciclo (meia onda da tensão alternada), este tipo de retificador é conhecido como *retificador de meia onda*. Comercialmente, estes retificadores utilizados para carregar baterias são conhecidos também como *TUNGAR*.

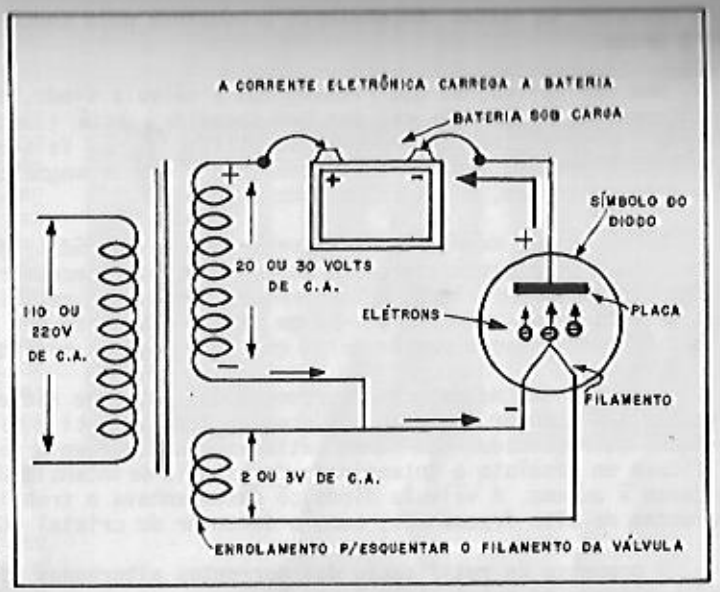


FIGURA 12
DIAGRAMA COMPLETO DE UM RETIFICADOR DE C.A. PARA CARREGAR BATERIAS

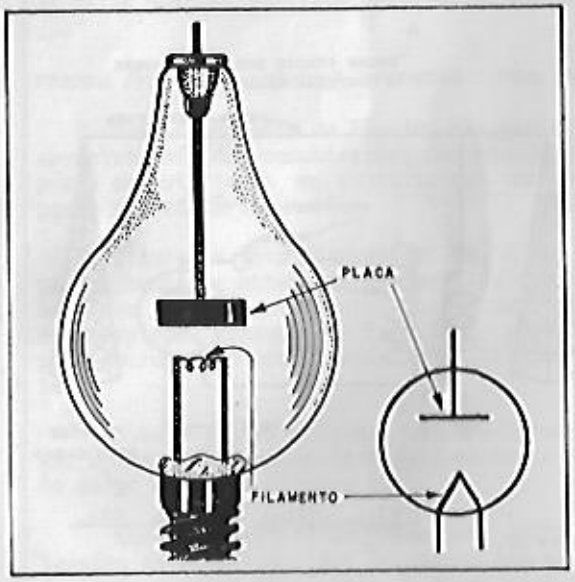


FIGURA 13
CONSTRUÇÃO INTERNA DE UMA VÁLVULA RETIFICADORA DIODO "TUNGAR"

A figura 13 mostra a construção interna da válvula usada num Tungar. Observe que o filamento é similar ao de uma lâmpada incandescente comum, enquanto que a placa é feita geralmente de grafite e carvão,

para resistir às altas temperaturas produzidas pelo choque dos elétrons contra a mesma.

Uma das aplicações que Fleming deu à válvula diodo, e talvez a que mais se interessou, apesar de não ser bem sucedido, está ilustrada na figura 14. Observe que no sistema de transmissão utilizado, as faíscas ou oscilações do transmissor geravam ondas eletromagnéticas (campos magnéticos que se expandiam e se contraíam, a uma velocidade enorme).

Estes campos magnéticos variáveis (ondas de rádio) já enfraquecidas pelo trajeto e pela distância atuam sobre a antena receptora e geram tensões de frequência muito alta; estas tensões podem ser retificadas (detectadas) pela válvula diodo, convertendo-se em sinais que podem ser ouvidos em forma de ruídos (golpes) quando passam pelos enrolamentos dos audífonos.

Este sistema de detectar a presença das ondas de rádio foi usado em substituição ao detector de cristal (detector Branly), utilizado naquela época; contudo, os resultados não foram satisfatórios, porque a válvula diodo não amplificava em absoluto a intensidade dos sinais de intensidade muito fraca, que chegavam à antena. A válvula diodo só desempenhava o trabalho de retificar as correntes de alta frequência, como o detector de cristal (Galena).

O processo de retificação das correntes alternadas de alta frequência será explicado em outra lição deste Curso.

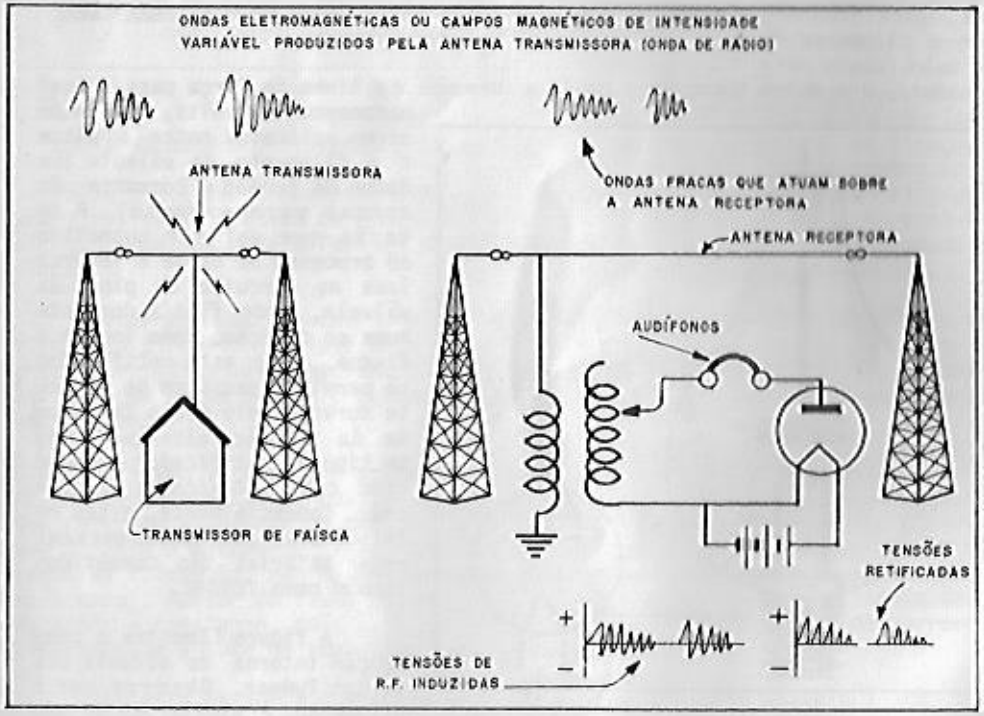


FIGURA 14
DIODO UTILIZADO COMO RETIFICADOR OU DETETOR DOS SINAIS DE R.F. DE UM TRANSMISSOR DE FAÍSCA

Como a válvula diodo não amplificava a intensidade dos sinais que chegavam à antena, e como não precisavam, na época, dos serviços do diodo como retificador de tensões alternadas (tanto no comércio como na indústria), o diodo foi abandonado por muito tempo, até que foram instalados serviços elétricos à base de corrente alternada; então foi necessário utilizar os diodos para obter corrente contínua.

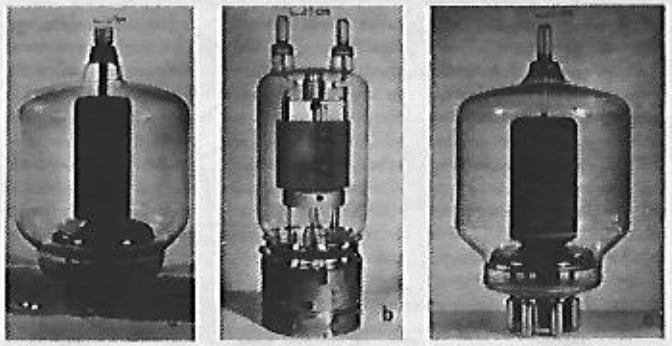


FIGURA 15
TRÊS TIPOS DE VÁLVULAS PARA TRANSMISSÃO

Contudo, isto não quer dizer que a válvula diodo não seja utilizada atualmente pois, no progresso da eletrônica, encontrou grandes aplicações, como retificações de correntes alternadas em correntes contínuas, para o funcionamento de certos circuitos eletrônicos e para detectar as tensões de R.F.; a falta de amplificação do diodo é agora compensada pelas funções amplificadoras de outros tipos de válvulas.

TRIODO (VÁLVULA AUDION) INVENTADO POR DE FOREST

O descobrimento de Fleming não havia contribuído grandemente para o desenvolvimento das comunicações por rádio pois, neste campo, a sua válvula só podia ser utilizada em substituição ao detector de cristal e com resultado pouco satisfatório.

Diante de tais circunstâncias, o Dr. Lee De Forest começou suas investigações tentando obter um dispositivo que pudesse amplificar (fazer mais audíveis) os sinais provenientes dos transmissores de faísca, que chegavam à antena receptora. Contudo, De Forest não iniciou suas investigações pelos princípios descobertos por Fleming; ele utilizou outros sistemas totalmente diferentes.

A experiência original de De Forest, que deu origem à *válvula triodo, foi o detector térmico* (a fogo), em que a emissão eletrônica era produzida pelo calor da chama (figura 16A).

Como o principal problema era obter um dispositivo que amplificasse as tensões de R.F. induzidas na antena (em microvolts), De Forest se dedicou a investigar com a finalidade de obter este dispositivo.

Numa de suas primeiras experiências, De Forest substituiu a emissão eletrônica produzida pela chama, pela *emissão eletrônica* produzida pelo filamento, e agregou uma bateria B (figura 16B). Posteriormente, De Forest observou

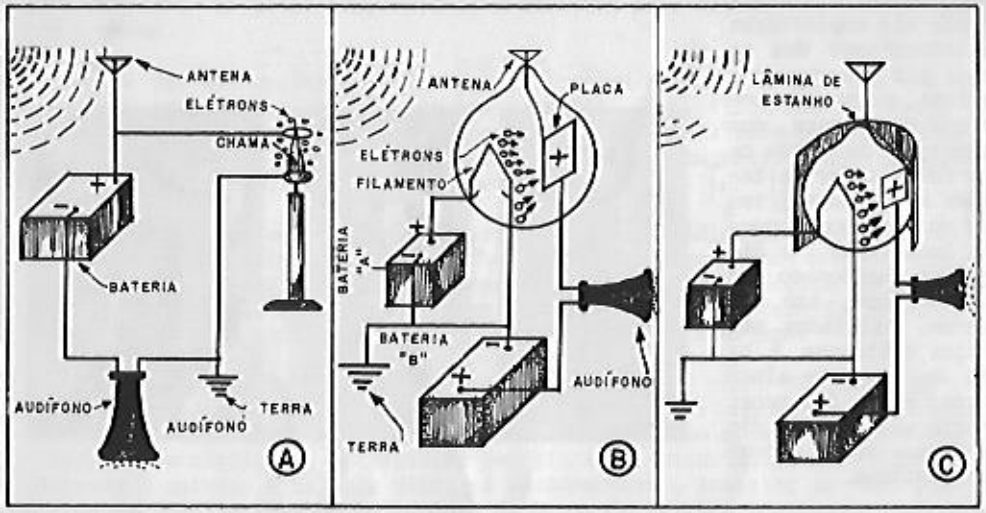


FIGURA 16
ETAPAS DO APARECIMENTO DA VÁLVULA TRIODO

que, envolvendo o bulbo de vidro com uma lâmina de Estanho, ele obtinha melhor recepção dos sinais nos audífonos (figura 16C).

Continuando suas investigações, De Forest decidiu colocar este terceiro elemento (eletrodo) no interior do bulbo de vidro. Ele construiu uma placa com considerável número de furos (por onde deveriam passar os elétrons), colocando-a mais perto do filamento emissor (figura 17A). Depois, De Forest tomou um pedaço de fio e o dobrou em forma de ziguezague (grade) e o colocou dentro da válvula (figura 17B). Este dispositivo foi a primeira válvula triodo construída, e seus resultados sobre os dispositivos anteriores foram excelentes.

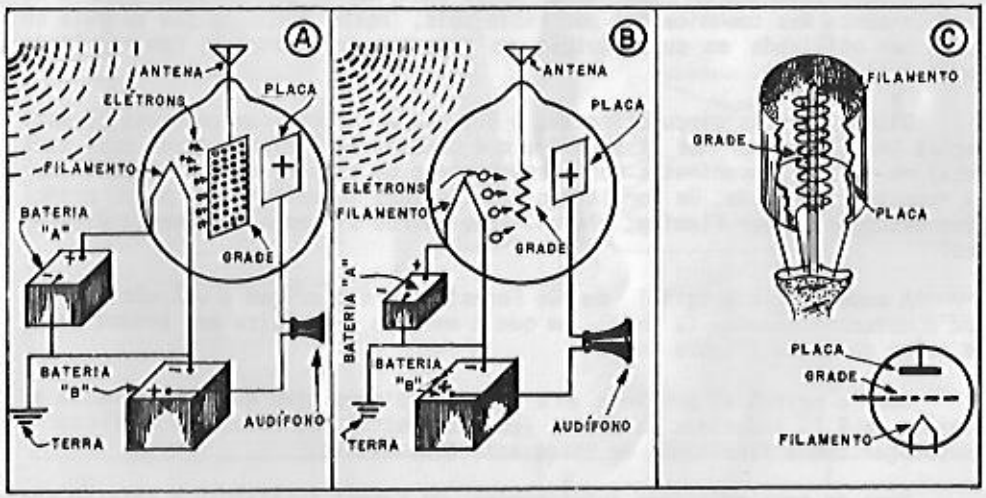


FIGURA 17
ORIGEM DA GRADE E SÍMBOLO DE UM TRIODO

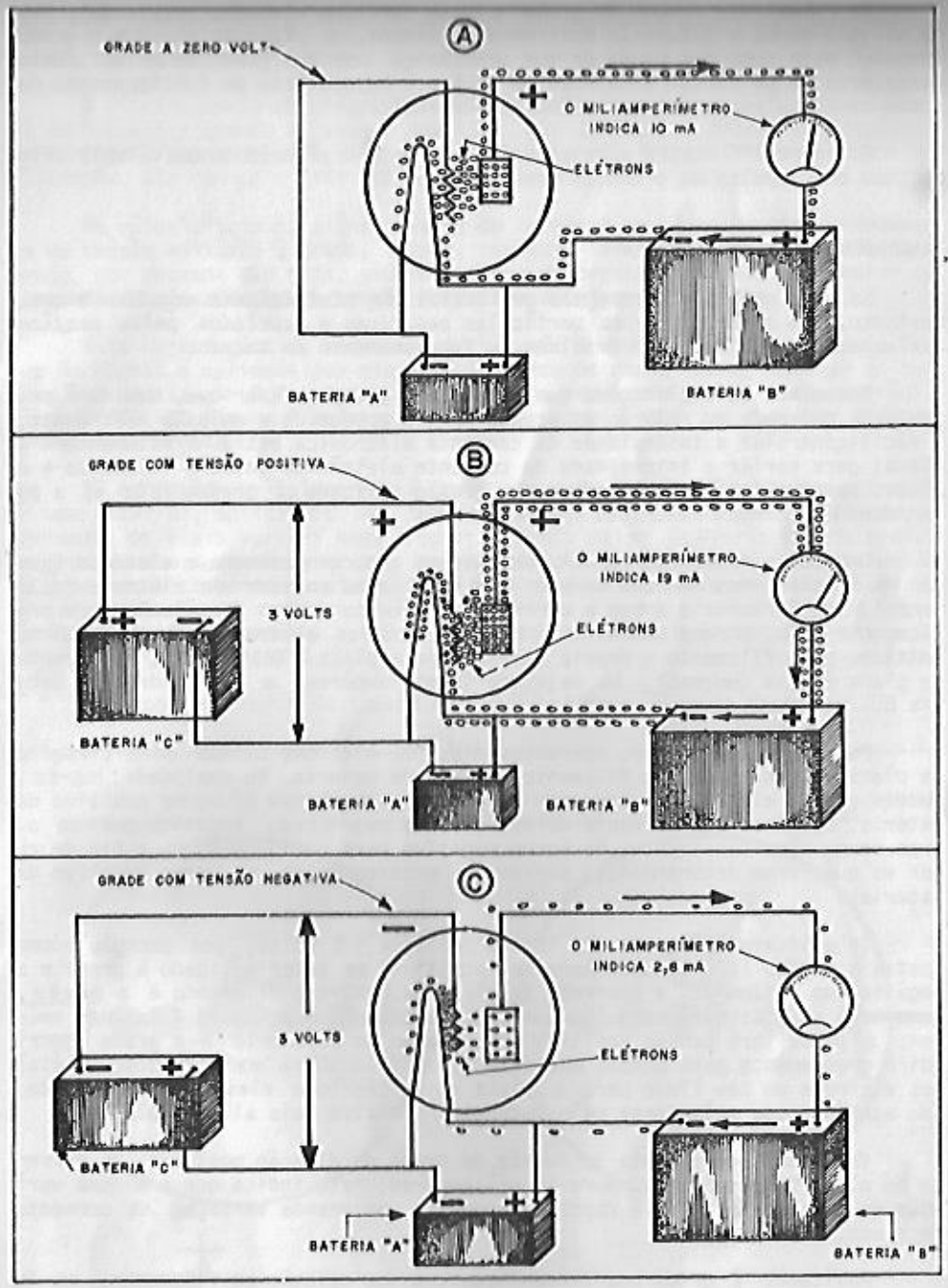


FIGURA 18
EFEITOS DA TENSÃO DE GRADE SOBRE A CORRENTE ELETRÔNICA ENTRE O FILAMENTO E A PLACA

De Forest deu o nome de grade a este terceiro elemento (eletrodo): nesta válvula temos o *filamento* emissor de elétrons, a *placa* coletora e a grade (recebeu este nome por causa de sua semelhança com uma grade de metal). Esta descoberta de De Forest aconteceu em 1906 e é hoje a base de funcionamento de todas as válvulas usadas nas ciências eletrônicas.

A figura 17C mostra a construção interna e o símbolo de uma válvula triodo, que deu impulso às ciências eletrônicas.

FUNCIONAMENTO DA VÁLVULA

Sabendo que os elétrons são particulas de *eletricidade negativa* e que, portanto, são *atraídos* pelas partículas *positivas* e *repelidos* pelas *partículas negativas*, vejamos, em detalhes, o funcionamento do *triodo*.

Resumindo as explicações que vamos dar, podemos dizer que, devido à *proximidade da grade* em relação ao espaço onde é produzida a emissão eletrônica, é fácil controlar a intensidade da corrente eletrônica entre o filamento e a placa; para variar a intensidade da corrente eletrônica entre o filamento e a placa, basta alterar a polaridade da tensão aplicada à grade, isto é, a polaridade das cargas elétricas aplicadas nela.

De acordo com a figura 18A, observamos que, se a este novo eletrodo (grade) não aplicarmos nenhuma tensão com relação ao emissor de elétrons (filamento), sua influência sobre a corrente eletrônica dentro da válvula será praticamente nula, porque não atrairá nem repelirá os elétrons que estão sendo emitidos pelo filamento e depois atraídos pela placa. Neste caso, a corrente de placa é fixa (normal), ou seja, de 10 miliampères, e fornecida pela bateria B.

Podemos observar que, aparentemente, os elétrons passam pelo circuito de placa e logo voltam ao filamento através da bateria. Na realidade, porém, sucede que os elétrons da corrente de placa, que chegam ao borne positivo da bateria, elimina a deficiência deles no borne positivo, enquanto que os outros saem, simultaneamente, do borne negativo para o filamento, a fim de repor os que foram desprendidos, devido ao excesso deles no borne negativo da bateria.

Se aplicarmos à grade uma tensão positiva (3 volts, por exemplo) como mostra a figura 18B, tendo o terminal positivo da bateria ligado à grade e o negativo ao filamento, a corrente de elétrons, entre o filamento e a grade, aumentará consideravelmente, porque a *grade está muito perto do filamento emissor*; a placa terá tensão positiva em relação ao filamento e a grade contribuirá grandemente para *atrair mais elétrons*. Ela dará mais impulso inicial aos elétrons em seu fluxo para a placa pois, tão logo eles cheguem à grade, são atraídos com mais força pelo potencial positivo mais alto da placa.

Variando ligeiramente a tensão de grade na direção positiva, a corrente de placa se eleva de 10 para 19 miliampères; isto indica que a mínima variação de tensão de grade é capaz de produzir uma grande variação na corrente de placa.

Aplicando à grade uma tensão negativa em relação ao filamento, ao inverter as ligações da bateria utilizada no circuito de grade, como mostra a figura 18C, notaremos que a corrente de placa diminui consideravelmente, pois é reduzida a 2,8 miliampères. Isto sucede porque a grade tem um potencial negativo que repele os elétrons emitidos pelo filamento, obstruindo, assim, a

passagem e reduzindo a intensidade da corrente eletrônica. Com isto, observamos que *qualquer variação na tensão de grade afeta consideravelmente a intensidade da corrente de placa.*

O funcionamento da grade de uma válvula pode ser comparado a um policial de trânsito: quando a grade é positiva, ela estimula o trânsito eletrônico no sentido filamento-placa (figura 19A); quando ela é negativa em relação ao filamento, ela reduz o trânsito nesse sentido (figura 19B).

Na válvula triodo, a intensidade da corrente de placa depende grandemente da tensão aplicada à grade, isto é, qualquer variação de tensão aplicada à grade, por pequena que seja, sempre é capaz de produzir uma variação maior na corrente de placa do que a tensão fornecida diretamente à placa.

Esta característica especial da válvula triodo foi descoberta pelo Dr. Lee De Forest e aplicada por ele aos circuitos de rádio para aumentar as tensões dos sinais de R.F., induzidos na antena receptora pelas ondas de rádio (figura 20). Na figura ilustramos um gerador como símbolo de qualquer tipo de corrente alternada.

Se ao invés de aplicarmos à grade uma polarização fixa (como a tensão de uma bateria), aplicarmos uma tensão variável de qualquer frequência, a corrente de placa variará numa proporção muito maior às variações da tensão de grade, como podemos observar, por comparações, na forma de onda de tensão da grade e da corrente de placa. O valor normal da corrente de placa é de 10 miliampères mas, ao aplicar a tensão alternada à grade, a corrente de placa varia entre 19 miliampères e 2,8 miliampères, conforme o instante do ciclo da tensão alternada aplicada.

Estudando a curva da tensão de C.A. aplicada à grade na figura 20, ob

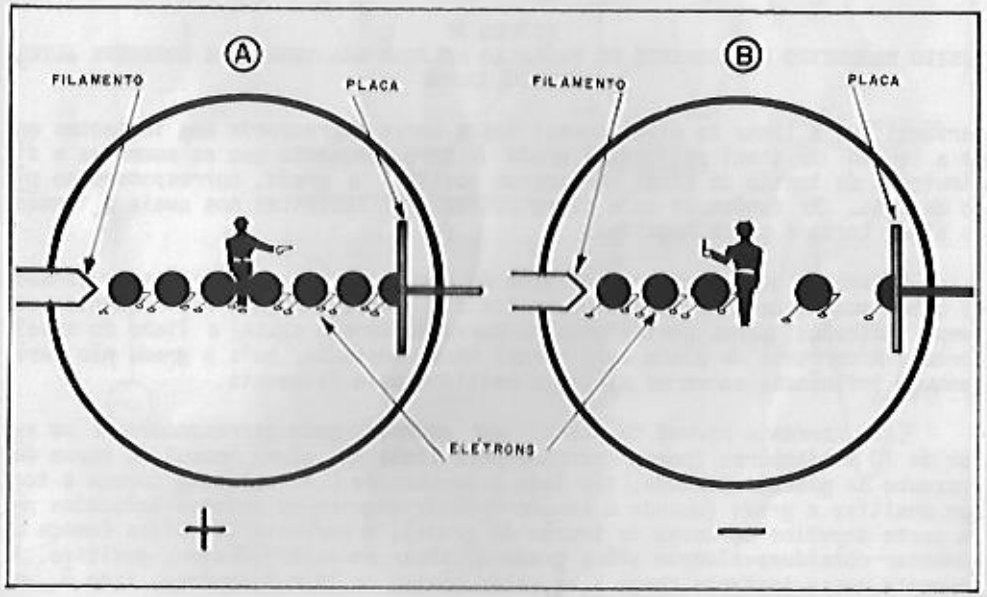


FIGURA 19
ANALOGIA DO FUNCIONAMENTO DE UMA GRADE

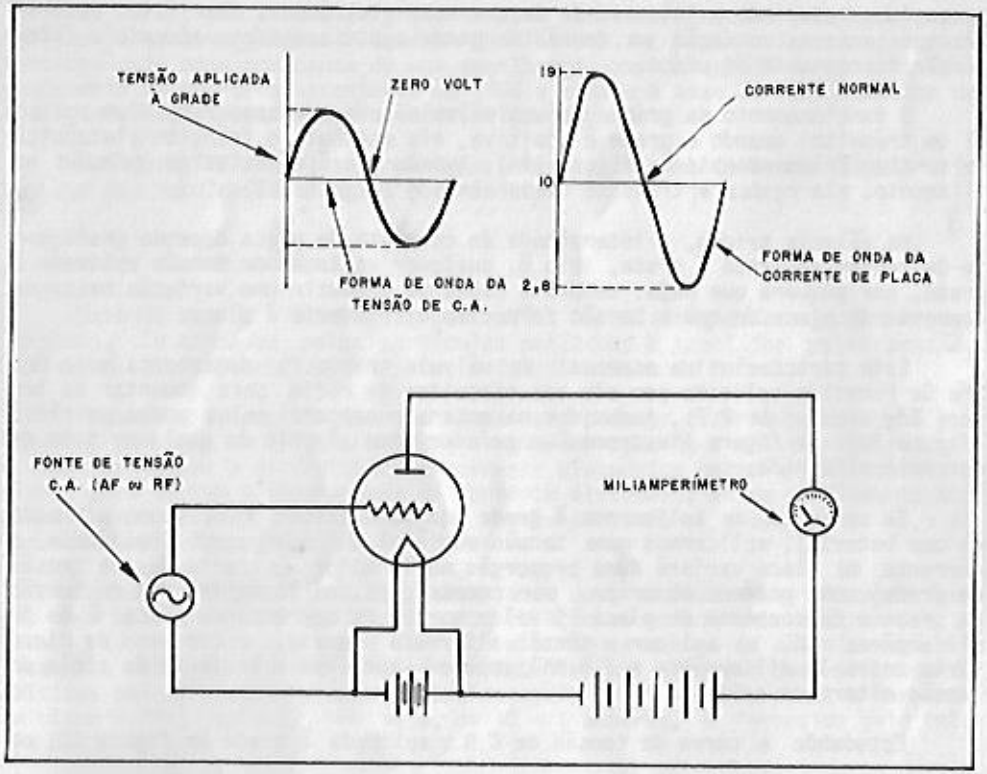


FIGURA 20
EFEITO PRODUZIDO NA CORRENTE DE PLACA AO APLICAR UMA TENSÃO DE CORRENTE ALTERNADA À GRADE

servamos que a linha de nível normal desta curva corresponde aos instantes onde a tensão do sinal aplicada à grade é zero, enquanto que os aumentos e diminuições da tensão do sinal que tornam positiva a grade, correspondem ao pico da onda. Os fundos da onda correspondem aos instantes nos quais a tensão do sinal torna a grade negativa.

Vejamos o que sucede na corrente de placa com estas variações de tensão de grade quando nenhuma tensão é aplicada à grade, isto é, nos instantes de tempo indicados pelos pontos onde a curva de tensão cruza a linha do nível normal. A corrente de placa será normal nesse instante, pois a grade não terá nenhuma influência sobre os elétrons emitidos pelo filamento.

Esta corrente normal de placa, por exemplo, pode corresponder a um valor de 10 miliampères (ponto indicado pela linha de nível normal da curva de corrente de placa). Contudo, tão logo a tensão de C.A. aplicada começa a tornar positiva a grade (quando a tensão de C.A. adquire os valores indicados pela parte superior da curva de tensão de grade), a corrente de placa começa a aumentar consideravelmente até a grade alcançar um valor máximo positivo. A corrente nesse instante chega a um valor máximo de 19 miliampères, isto é, um aumento de 10 a 19 miliampères.

Nos instantes seguintes a tensão positiva de C.A. começa a decrescer

e a corrente da placa começa a diminuir até que a *tensão* do sinal chega a zero; a *corrente* retorna ao seu *valor normal* de 10 miliampères porque a grade não mais estimula e nem obstrui o fluxo de elétrons.

Mas a tensão de C.A. logo inverte sua polaridade (parte inferior da curva de tensão da grade), fazendo a grade negativa em relação ao filamento. Isto faz com que a corrente de placa diminua de valor normal, pois a grade está obstruindo a passagem dos elétrons para a placa. Quando a grade alcança uma polarização máxima negativa (fundo de curva da tensão de grade), a corrente de placa terá diminuído de 10 miliampères para 2,8 miliampères.

Esta é a explicação detalhada da forma como a válvula reage às variações da tensão de grade produzida por um sinal de corrente alternada de qualquer frequência. Este é o momento que nos mostra a grande amplificação dos sinais que a válvula triodo produz, pois qualquer tensão do sinal (por mais fraco que seja), pode produzir uma variação considerável na corrente de placa. *NOTA:* Os valores da corrente de placa desta explicação são somente exemplos, pois os valores da corrente de placa de uma válvula dependem de vários fatores: tipo de válvula utilizada, tensão aplicada à placa, etc.

Se a corrente variável de placa desta válvula fluir pelo enrolamento primário de um transformador de A.F. (figura 21), as variações de intensidade da corrente de placa produzirão tensões alternadas de A.F. *entre as extremidades do enrolamento primário da mesma forma de onda da corrente de placa.*

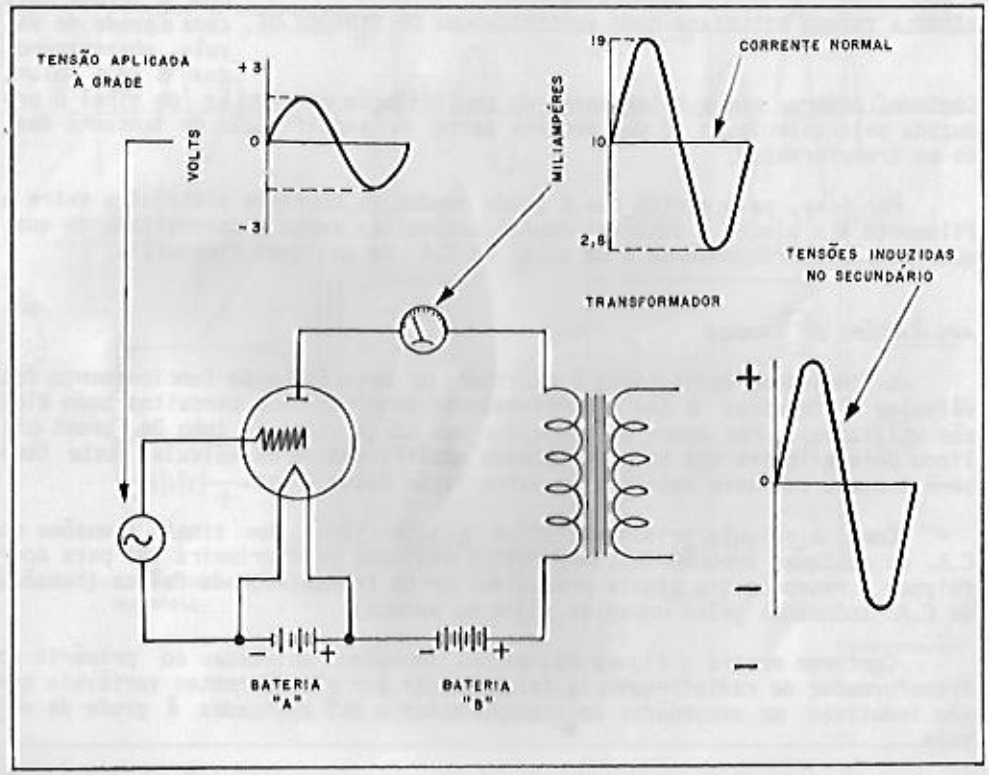


FIGURA 21

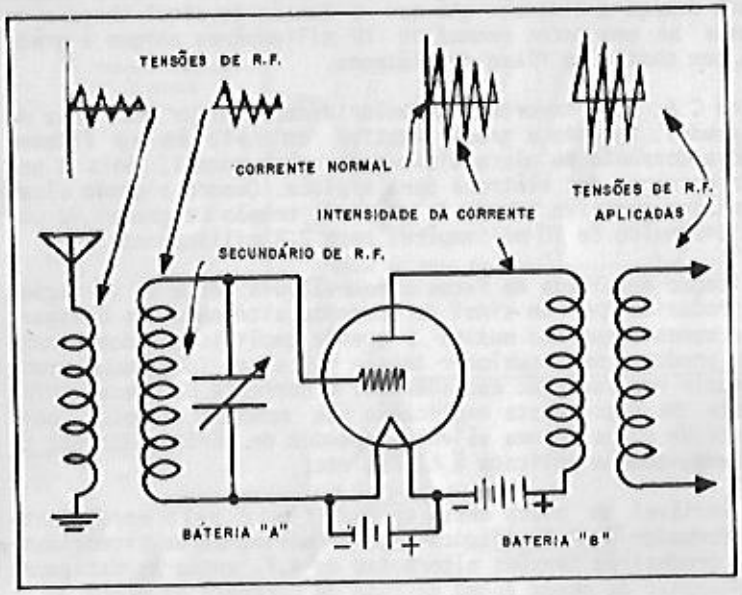


FIGURA 22
VÁLVULA TRIODO UTILIZADA COMO AMPLIFICADORA DE TENSÕES DE R.F.

Além disso, no enrolamento secundário do transformador também aparecerão tensões induzidas da mesma forma de onda.

Comparando a forma de onda da tensão alternada aplicada à grade com a forma de onda da corrente de placa, podemos ver a grande amplificação que a válvula triodo proporciona.

Se compararmos a magnitude da tensão que aparece no secundário do transformador com a tensão aplicada à grade da válvula, observaremos que é bem maior. Contudo, observe que a maior parte da amplificação da tensão do sinal é produzida pela válvula, e só uma pequena parte da amplificação de tensão é devido ao transformador.

Por isso, pelo efeito que a grade produz na corrente eletrônica entre o filamento e a placa, é possível *amplificar* muitas vezes a intensidade de qualquer tensão correspondente a um sinal de C.A. de qualquer frequência.

APLICAÇÕES DE TRIODO

A finalidade desta lição é explicar os princípios de funcionamento das válvulas eletrônicas e não o funcionamento completo dos circuitos onde elas são utilizadas. Por agora só vamos dar *uma idéia geral* de como De Forest utilizou pela primeira vez as propriedades amplificadoras da válvula; este tema será tratado com mais detalhes em outra lição deste Curso.

Como a válvula triodo amplifica a intensidade dos sinais (tensões de C.A. de qualquer frequência), De Forest a utilizou pela primeira vez para aperfeiçoar a recepção dos sinais produzidos por um transmissor de faísca (tensões de C.A. induzidas pelas ondas de rádio na antena).

Conforme mostra a figura 22, estas tensões aplicadas ao primário do transformador de radiofrequência fazem passar por ele correntes variáveis que são indutivas no secundário do transformador e daí aplicadas à grade da válvula.

Utilizando a válvula triodo desta forma e em substituição ao detetor de cristal e à válvula diodo, De Forest obteve magnífica recepção dos sinais do

transmissor de faísca. A amplificação fornecida pela válvula triodo permitia obter uma recepção muito clara e por isto De Forest lhe deu o nome de *válvula audion*.

O descobrimento da válvula triodo foi acolhido com enorme entusiasmo pelo mundo científico, especialmente no campo das radiocomunicações, pois ao invés de uma só válvula foram utilizadas várias delas para que os sinais que uma amplificava fossem novamente amplificados pela seguinte, etc., permitindo assim aumentar a área de recepção dos sinais e portanto as distâncias que os sistemas de radiocomunicações podiam abranger.

O êxito original obtido por De Forest lhe deu um grande triunfo científico e econômico. De Forest logo encontrou novas aplicações para seu triodo: além de amplificar os sinais irradiados pelo transmissor de faísca, amplificava também as tensões de audiofrequência produzidas por um microfone, pois os sistemas telefônicos na época já estavam bem aperfeiçoados e esta válvula triodo teve magnífica acolhida como amplificadora dos sinais telefônicos.

A figura 23, por exemplo, mostra um circuito completo de como utilizar a válvula triodo como amplificadora de A.F. Note que, neste caso, as tensões de audiofrequência que aparecem no enrolamento secundário do transformador de microfone são aplicadas à grade da válvula e fazem com que a corrente de placa varie numa proporção muito maior que as variações da tensão original.

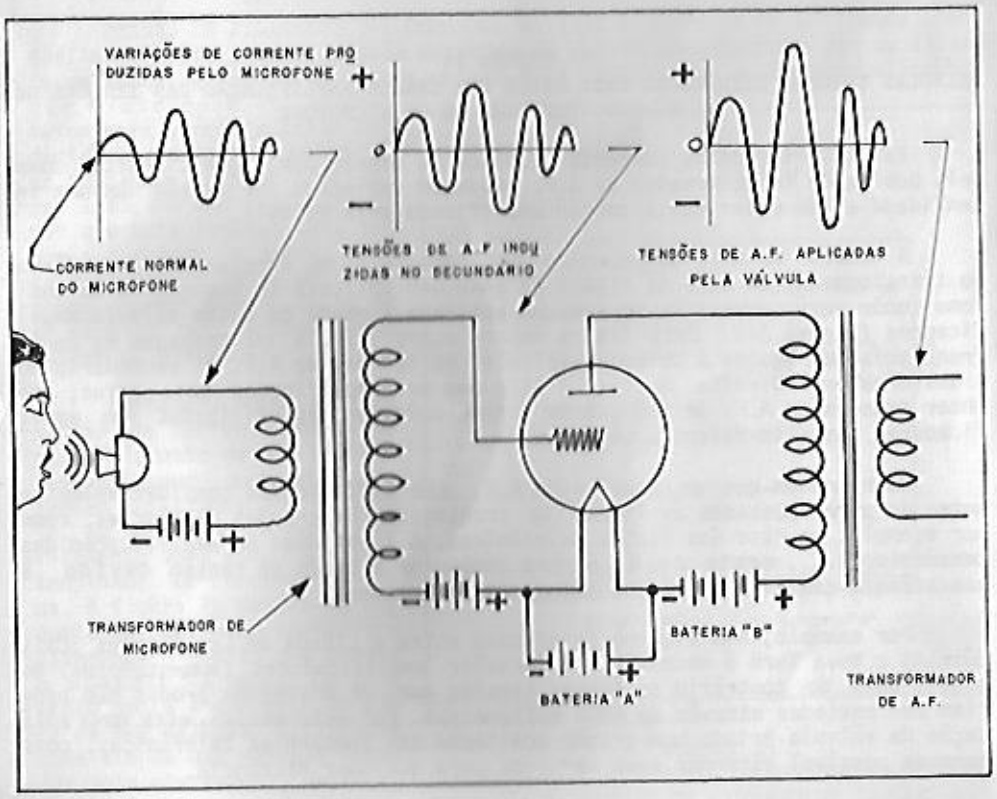


FIGURA 23
VÁLVULA TRIODO UTILIZADA COMO AMPLIFICADORA DE TENSÕES DE A.F.

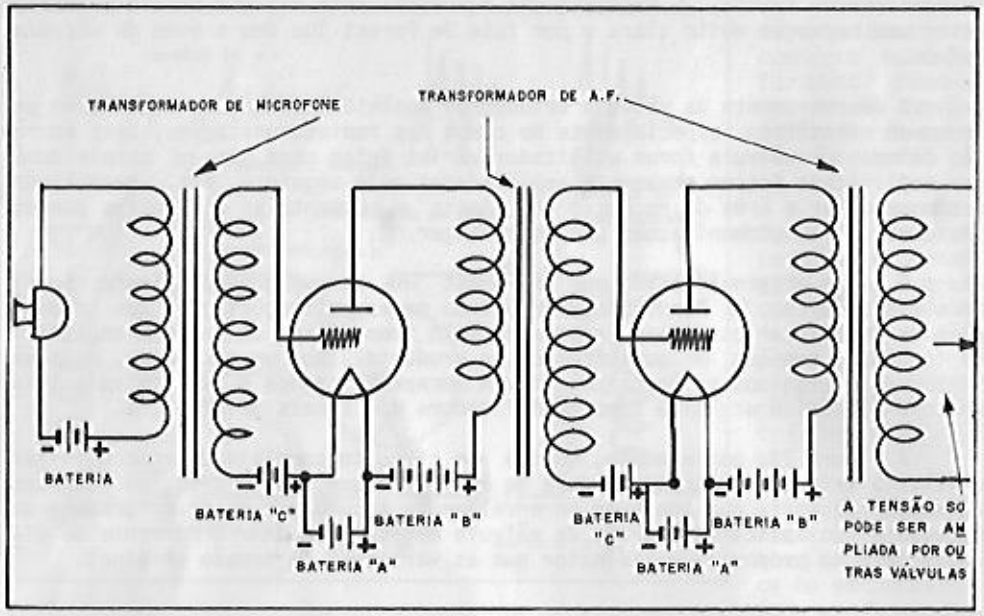


FIGURA 24
VÁLVULAS TRIODOS UTILIZADAS PARA OBTER UMA GRANDE AMPLIFICAÇÃO DAS TENSÕES DE A.F. PROVIENIENTES DE UM MICROFONE

Estas variações da corrente de placa ao passar por algum circuito, como pela bobina do transformador de A.F. produzem variações de tensão de uma intensidade ainda maior que a tensão amplificada pela válvula.

A tensão de A.F. que aparece nos terminais do enrolamento secundário do transformador de A.F. na figura 23 pode ser aplicada às bobinas de um audífono (onde será convertida em som) ou aplicada à grade de outra válvula amplificadora (figura 24). Esta figura mostra outra válvula ou passagem da áudio frequência em seguida à primeira válvula. As tensões de A.F. do secundário do transformador à direita da figura 24 podem ser amplificadas mais vezes, até obter tensões de A.F. de tão grande intensidade como as utilizadas nos amplificadores dos alto-falantes públicos.

Há casos em que as tensões de A.F. são amplificadas consideravelmente antes de serem passadas às linhas de transmissão de grandes distâncias, como por exemplo, no caso das linhas telefônicas. A finalidade da amplificação das tensões de A.F., neste caso, é para compensar a perda de tensão devido à *resistência elétrica* oferecida pelas extensas linhas.

Por exemplo, num sistema telefônico entre a cidade de Los Angeles (Califórnia) e Nova York é necessário intercalar amplificadores (aumentadores) do sinal, pois do contrário as fracas tensões que um microfone produz não poderiam ser enviadas através de 4800 quilômetros. Por este motivo, esta nova aplicação da válvula triodo teve grande aceitação das companhias telefônicas, pois tornava possível estender seus serviços para qualquer distância.

As aplicações da válvula triodo foram se multiplicando rapidamente e no ano de 1907 o Dr. Lee De Forest já havia encontrado várias aplicações do triodo nos circuitos transmissores de rádio, tais como a de gerar correntes alternadas de frequência tão alta que nem o gerador de rotação mais veloz podia produzir. Estas novas aplicações da válvula triodo foram a base para a construção da primeira estação transmissora capaz de transmitir através do espaço as vibrações elétricas correspondentes à voz humana; esta estação foi desenhada e instalada pelo próprio Dr. Lee De Forest na cidade de Nova York em 1907.

As outras válvulas: *tetrodos* (quatro eletrodos), *pentodos* (cinco eletrodos), *pentagrade* (cinco grades), etc., utilizadas atualmente são apenas aperfeiçoamentos desta válvula inventada pelo Dr. Lee De Forest.

TENSÕES DE POLARIZAÇÃO DE UMA VÁLVULA

Até o momento explicamos que a tensão de grade é a que mais afeta a intensidade da corrente de placa. Contudo, há outros fatores que embora não variem continuamente durante o funcionamento da válvula, seus efeitos devem ser conhecidos para termos uma idéia mais clara do funcionamento geral das válvulas.

Os fatores que determinam o funcionamento da válvula são os potenciais aplicados *normalmente* a seus eletrodos, conhecidos como *tensões de polarização*. Estas tensões são: *tensão de filamento*, *tensão de placa* e *tensão fixa* ou *normal de grade*.

TENSÃO DE FILAMENTO - Como na válvula eletrônica é utilizada a emissão termoiônica produzida pela passagem da corrente eletrônica por um filamento metálico, é lógico supor que quanto mais intensa for a corrente eletrônica que fluir pelo filamento, maior será também o calor produzido e, portanto, maior será também a emissão eletrônica. Isto, por sua vez, quer dizer que mais intensa será também a corrente de placa, pois se o filamento emite mais elétrons, maior número deles será atraído pelo potencial positivo da placa.

Portanto, como a intensidade da corrente que passa pelo filamento de uma válvula aumenta quando aumentamos a tensão aplicada ao filamento, ao aumentar a tensão do filamento será aumentada a intensidade da corrente de placa. A figura 25 mostra um circuito que nos pode provar praticamente o efeito que produz o aumento da tensão do filamento sobre a corrente de placa de uma válvula. O circuito consiste de uma válvula diodo (de dois eletrodos). Neste caso, a placa se mantém a um *potencial fixo* de 90 volts.

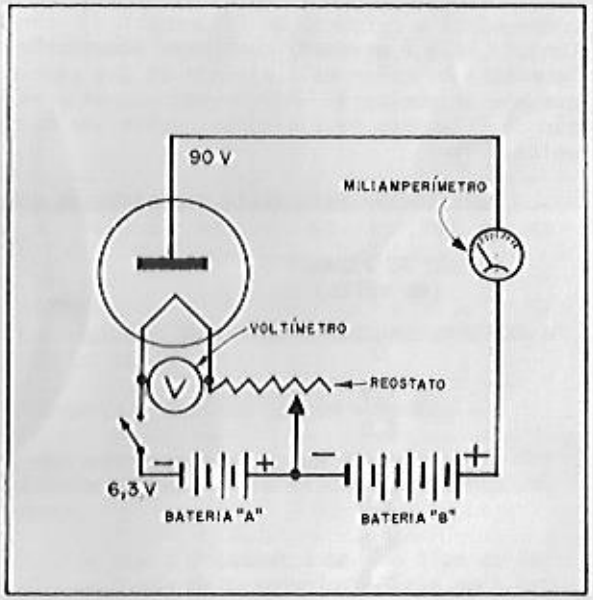


FIGURA 25
CIRCUITO PARA COMPROVAR O EFEITO QUE PRODUZ A VARIAÇÃO DA TENSÃO DE FILAMENTO SOBRE A CORRENTE DE PLACA

O circuito de filamento dessa válvula consiste de uma bateria "A" de 6,3 volts ligada em série com um reostato para ajustar a tensão de filamento em diversos valores (aumentando ou diminuindo a resistência em série). Além disso, usamos um voltímetro para ler a tensão aplicada ao filamento, e um miliamperímetro no circuito de placa para medir a intensidade da corrente de placa.

Se completarmos o circuito e deixarmos aberto o interruptor que liga a bateria ao filamento da válvula, observaremos que o miliamperímetro não indica a passagem da corrente de placa. A causa disso é que não há passagem de corrente pelo filamento da válvula e, portanto, não haverá emissão de elétrons no filamento devido à falta de calor; por esta razão, mesmo que a placa tenha potencial positivo em relação ao filamento, não haverá corrente de elétrons pelo circuito de placa.

Fechando o interruptor para ligar a bateria ao circuito de filamento, e ajustando o reostato para que o filamento dê uma leitura de 1,5 volt, observaremos que a corrente de placa é de 0,7 miliampère (7 décimos de miliampère). Ajustando novamente o reostato para que o voltímetro indique uma leitura de 2 volts, a corrente de placa será de 2,2 miliampères. Aumentando a tensão de filamento para 2,5 volts, o miliamperímetro nos indicará uma corrente de placa de 6 miliampères. Quando o filamento tiver uma tensão de 3 volts, a corrente de placa será de 10 miliampères. Elevando a tensão do filamento para 4 volts, a corrente de placa será de 13,2 miliampères; se a tensão de filamento for de 5 volts, a corrente de placa será de 15 miliampères; elevando a tensão do filamento para 6,3 volts, a corrente de placa será de 16 miliampères.

Observamos que à medida que aumentamos a tensão do filamento (e por conseguinte a corrente de filamento), a corrente de placa também aumentará. Contudo, não é possivel continuar aumentando indefinidamente a tensão do filamento a um valor mais elevado do que aquele para o qual foi construído porque ele se queimará. Por exemplo, se a válvula for fabricada para uma tensão de filamento de 6,3 volts, nunca lhe devemos aplicar uma tensão de 8 volts.

Para tornar mais fácil a observação dos resultados, vejamos a tabela:

TENSÃO DE FILAMENTO (em volts)	*CORRENTE DE PLACA* (em miliampères)
0	0
1,5	0,7
2,0	2,2
2,5	6,0
3,0	10,0
4,0	13,2
5,0	15,0
6,3	16,0

Comparando estas duas colunas, observaremos que à medida que aumenta a tensão do filamento, a corrente de placa também aumenta, isto é, à medida que aumenta a temperatura do filamento a emissão eletrônica é maior e, portanto, a corrente eletrônica entre o filamento e a placa também aumenta.

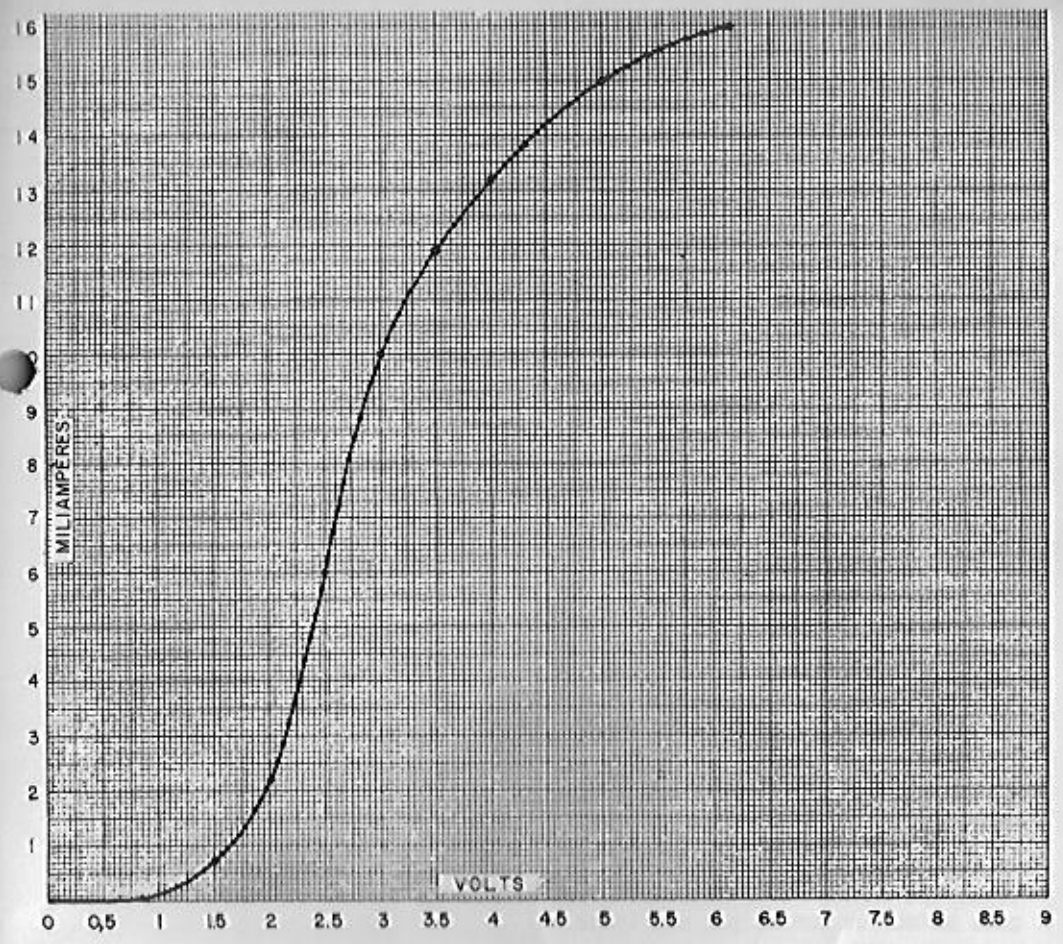


FIGURA 26
REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DOS EFEITOS DA VARIAÇÃO DE TENSÃO DO FILAMENTO SOBRE A CORRENTE DE PLACA

Contudo, a relação que obtivermos entre as tensões de filamento e a corrente de placa de uma determinada válvula dependerá do tipo de filamento utilizado e da construção interna da mesma.

Por exemplo, a maioria das válvulas tem o filamento de uma liga de Ferro, Cobalto, Níquel e Titânio banhados em Óxido de Estrôncio e Bário para produzir a emissão eletrônica mais intensa que as válvulas antigas com a mesma temperatura. Há ainda válvulas com filamento de Tungstênio banhados com Tório. Mas, em termos gerais, aumentando a tensão do filamento da válvula, a intensidade da corrente de placa aumentará; e continuando a aumentar a tensão de filamento, a corrente de placa continuará aumentando até que o filamento se queime em consequência da temperatura excessiva.

GRÁFICOS

Os efeitos que as válvulas eletrônicas produzem quando variamos as tensões normais de seu funcionamento são mostrados em gráficos num papel quadriculado (figura 26) e não na forma de colunas como a apresentada na tabela anterior.

OBSERVAÇÃO - É necessário estudar a lição A-3 antes de continuar o estudo desta lição. A lição A-3 explica a maneira de traçar e interpretar o significado dos gráficos.

Observe que no gráfico da figura 26 os valores do fator elétrico variável (a tensão do filamento) são especificados na parte inferior do gráfico, e cada uma das linhas verticais corresponde a um destes valores.

À esquerda do gráfico e em forma ascendente são escritos os valores correspondentes à corrente de placa; para que as linhas horizontais representem estes valores, as distâncias entre elas são iguais. Neste gráfico, cada divisão entre as linhas horizontais grossas representam uma distância de 1 miliampère.

Por isso, cada divisão entre as linhas horizontais mais finas representam uma diferença de 1 décimo de miliampère. Desta forma, a distância que há entre as linhas que representam 1 e 2 miliampéres é a mesma que existe entre as que representam 3 e 4 miliampéres.

Observando o gráfico, notamos que os valores especificados correspondem ao resultado da experiência, e os pontos por onde a curva passa correspondem aos pontos onde as linhas se cruzam, aos valores da *tensão de filamento* e *corrente de placa*. Por exemplo, o primeiro ponto do gráfico correspondente ao ponto onde se cruzam as linhas correspondentes a 1,5 volt e 7 décimos de miliampère. O segundo ponto onde se cruzam as linhas de 2 volts e 2,2 miliampéres, etc.

Como dissemos na lição A-3, para traçar estas curvas, primeiramente marcamos com pontos os valores das experiências nas linhas correspondentes e depois unimos os pontos por uma linha.

Isto é o que os técnicos e engenheiros eletrônicos fazem nos laboratórios, depois de obter uma série de dados correspondentes aos efeitos produzidos por algum fator variável (tensão de filamento, tensão de grade, tensão de placa, etc.); uma vez obtidos estes valores, traçamos o gráfico. Esta é a informação das características publicadas nos Manuais de Válvulas. Por esta razão é necessário que o aluno aprenda a interpretar estes gráficos, pois eles oferecem grande quantidade de informaçoes técnicas que requereriam considerável número de palavras para expressá-las.

Outra vantagem dos gráficos é que eles nos mostram qual seria o valor de alguma condição especial que ainda não comprovamos. Por exemplo, suponhamos que não tomamos a leitura da corrente de uma tensão de filamento de 3,5 volts. Consultando o gráfico, vemos que quando o filamento tem 3,5 volts, a corrente de placa é 11,9 miliampéres.

Para terminar esta explicação sobre a tensão de filamento e sua influência sobre a emissão eletrônica e corrente de placa, é preciso saber que a *tensão* de filamento de uma válvula em condição normal se mantém fixa, com o valor especificado pelo fabricante. Esta tensão é fornecida por uma bateria

"A" ou pelo enrolamento secundário de um transformador de força. Na experiência da figura 25 variamos a tensão de filamento para que o aluno pudesse entender melhor o funcionamento da válvula.

****

****

****

****

*****

***

*

IMPRESSO NO BRASIL
DIREITOS RESERVADOS 1947

OCCIDENTAL Schools

EXAME DA LIÇÃO E-19

- CADA QUESTÃO APRESENTA TRÊS OU MAIS RESPOSTAS.
- SOMENTE UMA DELAS ESTÁ CORRETA.
- MARQUE A QUE JULGAR CORRETA.
- TRANSCREVA AS RESPOSTAS CORRETAS PARA A FOLHA DE EXAME ANEXA.

1 - A emissão eletrônica à base do calor é devido ao seguinte princípio:

a) os elétrons de certos metais não saem facilmente de suas órbitas mesmo quando lhes são aplicados energia exterior em forma de calor

X b) a constituição eletrônica dos átomos de certos metais como o Cobre, o Ferro, o Níquel e o Tungstênio é tal que, quando lhes são aplicados o calor, os elétrons saem facilmente de suas órbitas exteriores

c) certos metais como o Cobre, o Ferro, o Níquel e o Tungstênio não são bons condutores da eletricidade

2 - Na experiência de Edison, a lâmpada permite a passagem de corrente numa direção porque:

a) os elétrons são cargas elétricas positivas, e por esta razão só são atraídos quando a placa é positiva em relação ao filamento

b) os elétrons são cargas elétricas negativas, e por esta razão só são atraídos quando a placa é negativa em relação ao catodo

X c) os elétrons são cargas elétricas negativas, e por esta razão são atraídos nos instantes em que a placa tiver a polaridade positiva em relação ao emissor de elétrons

3 - As válvulas eletrônicas produzem emissão termiônica mediante a aplicação do calor que tem a seguinte origem:

X a) mediante a aplicação de calor proveniente de uma fonte exterior

b) pela fricção eletrônica produzida por uma corrente elétrica através de um filamento ou condutor fino

c) mediante a aplicação de calor por meios diretos ou princípio termo elétrico

4 - A grande influência da polarização da grade sobre a corrente eletrônica da válvula é que:

(a) a grade está tão próxima do emissor de elétrons, que qualquer variação na polaridade desta influi grandemente na intensidade da corrente eletrônica entre o filamento e a placa

X b) a grade sempre tem uma polaridade positiva fixa que estimula grandemente o aumento da corrente eletrônica

c) a grade varia a intensidade da emissão eletrônica produzida pelo filamento

5 - Se a uma válvula que não tem nenhuma polarização de grade de relação ao filamento (zero volt de grade) e aplicarmos uma polarização positiva à grade, a corrente de placa:

a) permanecerá constante

b) diminuirá

X c) aumentará

6 - Pequenas variações na tensão aplicada à grade de controle são capazes de produzir o seguinte efeito:

X a) causar uma grande variação na corrente de placa

b) reduzir e aumentar a emissão eletrônica

c) causar pequenas variações na corrente de placa

7 - As aplicações principais da lâmpada de Fleming são as seguintes:

a) amplificadoras de tensões alternadas de R.F. e geradoras de sinais de R.F.

X b) retificadoras de correntes alternadas e detetoras de sinais de frequência muito alta

c) geradoras de correntes alternadas e amplificadoras de sinais de A.F.

8 - A função da grade da válvula triodo pode ser resumida no seguinte conceito:

a) produzir a emissão eletrônica necessária para o funcionamento da válvula

b) armazenar parte da emissão eletrônica produzida pelo filamento

X c) controlar ou regular a intensidade da corrente de placa da válvula