

CONSIDERAÇÕES SÔBRE O PROJETO DE CIRCUITOS COM VÁLVULAS DE POTÊNCIA

O rendimento de uma válvula de potencia não depende apenas das condições em que esta funciona, mas também do projeto dos circuitos associados.

Os circuitos, quando adequadamente projetados, asseguram o uso econômico e eficiente das válvulas e de outros componentes; simplifica o ajuste do equipamento possibilitando um funcionamento estável; atenuando, em consequência, a probabilidade de interferência com outros serviços, além de oferecer apreciável medida de segurança não só para o próprio equipamento como também para maior segurança pessoal do operador.

Para produzir moderadas à grandes potências de áudio ou rádio frequência, geralmente é gerado um sinal ou tensão a um nível baixo de potência com características apropriadas. Este sinal é então amplificado por meio de um ou mais estágios até ser atingido o nível de potência desejado. No equipamento de RF um ou mais estágios amplificadores também são utilizados para modificar determinada característica do sinal: frequência, fase ou amplitude instantânea. Conseqüentemente, os estágios individuais, via de regra, funcionam sob diferentes condições. Por isso, os equipamentos dotados de válvulas de potência são projetados estágio por estágio com início pelo estágio de saída

e retrocedendo até o estágio oscilador ou estágio de entrada do equipamento. O projeto de um estágio abrange a seleção do tipo mais indicado de válvula, projeto dos circuitos de acoplamento de entrada e de saída, projeto dos circuitos da fonte de alimentação, projeto dos circuitos controladores de ganho ou potência de saída ou para variar instantaneamente a amplitude, frequência ou fase do sinal de saída e provisão de meios para estabilizar auto-oscilação ou outras condições que poderao advir em interferência, irradiações espúrias, distorção ou outros efeitos indesejáveis.

No equipamento de AF, usualmente todos os estágios funcionam como cargas anti-ressonantes tendo substancialmente idênticas características de resposta de frequência. A entrada DC para as válvulas é constante e a potência de saída é controlada pela atenuação do sinal a um ponto de nível relativamente baixo do sistema por meio de válvulas de corte remoto. Os acoplamentos de entrada, inter-estágio e de saída são fixos e o controle total da resposta de frequência, onde requerido, é geralmente acompanhado de filtros fixos ou ajustáveis em um ou mais estágios. A estabilização raramente exige processos além da prevenção contra a auto-oscilação ou atenuação da distorção.

No equipamento de RF, geralmente todos os estágios funcionam submetidos à cargas ressonantes. Em um transmissor, os estágios individuais podem funcionar à diferentes frequências e, em muitos casos, cada estágio também deve ser capaz de funcionar a qualquer frequência compreendida numa ou mais faixas. A potência de saída de um estágio de RF é controlada pelo ajuste da corrente DC de entrada, excitação de RF e a carga. Nos transmissores também os circuitos moduladores devem ser considerados. Em virtude das impedâncias de entrada e de saída dos estágios de RF variarem consideravelmente segundo a frequência de operação, excitação e carga, os circuitos de acoplamento inter-estágio e de saída são geralmente ajustáveis.

A estabilização do equipamento de RF, usualmente, não só abrange a eliminação da auto-oscilação como também os harmônicos indesejáveis, compreendendo o isolamento e eliminação de oscilações parasitas nos componentes do circuito e sua fiação.

SELEÇÃO DE VÁLVULAS

A escolha do tipo de válvula mais adequado para uma aplicação particular, depende, em grande parte, do tipo de potência primária útil e da sensibilidade à potência desejada. Sempre que possível, as válvulas com idênticas tensões de filamento ou regimes de corrente devem ser usadas de ponta-a-ponta do equipamento, a fim de simplificar as exigências da fonte de alimentação. A potência excitadora varia enormemente com a aplicação, frequência de funcionamento, tipo de circuito empregado e outros fatores. Devido sua importância no projeto do circuito, a potência excitadora será abordada com maior minúcia mais adiante. As considerações mecânicas que dizem respeito a limitações de espaço do equi-

pamento, disposição e ventilação bem como considerações de ordem econômica, também afetam o problema da seleção de válvulas.

Uma seleção inicial de tipos tendo em vista regimes adequados de tensão de placa, entrada de placa e dissipação de placa a fim de atender determinada aplicação, encontram-se nas Tabelas incluídas como Guias de Seleção Para Válvulas de Potência. A seleção final é então efetuada pela comparação dos dados técnicos de cada tipo individual.

Na escolha de uma válvula como amplificadora de RF sem modulação, multiplicadora de frequência ou osciladora, os regimes de dissipação de entrada de placa máxima e de dissipação de placa e o rendimento relativo do circuito de placa da válvula à frequência mais elevada na qual o equipamento destina-se a funcionar, são fatores que devem ser considerados. Quando a possibilidade de mudança rápida de frequência constitui consideração de importância no projeto do transmissor, é preferível selecionar tipos de válvulas que requeiram quase nenhuma alteração nas condições de funcionamento com a substituição da frequência. Nesse aspecto, as válvulas de potência de feixe eletrônico dirigido e outros tipos multigrades, geralmente são superiores aos triodos.

Fatores adicionais que devem ser considerados na escolha de válvulas como amplificadoras RF moduladas, dependem do tipo e grau de modulação a ser adotado. Esses fatores são analisados na Seção **Aplicações das Válvulas de Potência** e na Seção **Tipos de Válvulas**.

ESTÁGIOS COM VÁLVULAS MÚLTIPLAS

O funcionamento mais satisfatório de estágios em paralelo, push-pull ou push-pull paralelo é conseguido quando as correntes de placa das válvulas, individualmen-

te, estão iguais. A equalização das correntes de placa reduz o perigo de uma excessiva dissipação de placa em uma ou mais válvulas, particularmente nos estágios em que a polarização é obtida de uma alimentação fixa comum ou de um resistor de grade comum. A equalização de correntes de placa a zero sinal em estágios amplificadores AF em push-pull, auxilia consideravelmente anular a distorção harmônica de ordem par. Para anulação completa dos harmônicos de ordem par, as excursões da corrente de placa em ambos os lados de um estágio push-pull, também devem ser iguais. Este tipo de equalização (equilíbrio dinâmico) é de difícil consecução porque exige numerosas válvulas e circuitos variáveis. As correntes a zero sinal ou médias de placa são mais facilmente equalizadas mediante ajustes individuais na polarização de grade. O método particular adotado em qualquer caso depende do tipo de catodo das válvulas e da configuração do circuito. A fig. 30 ilustra

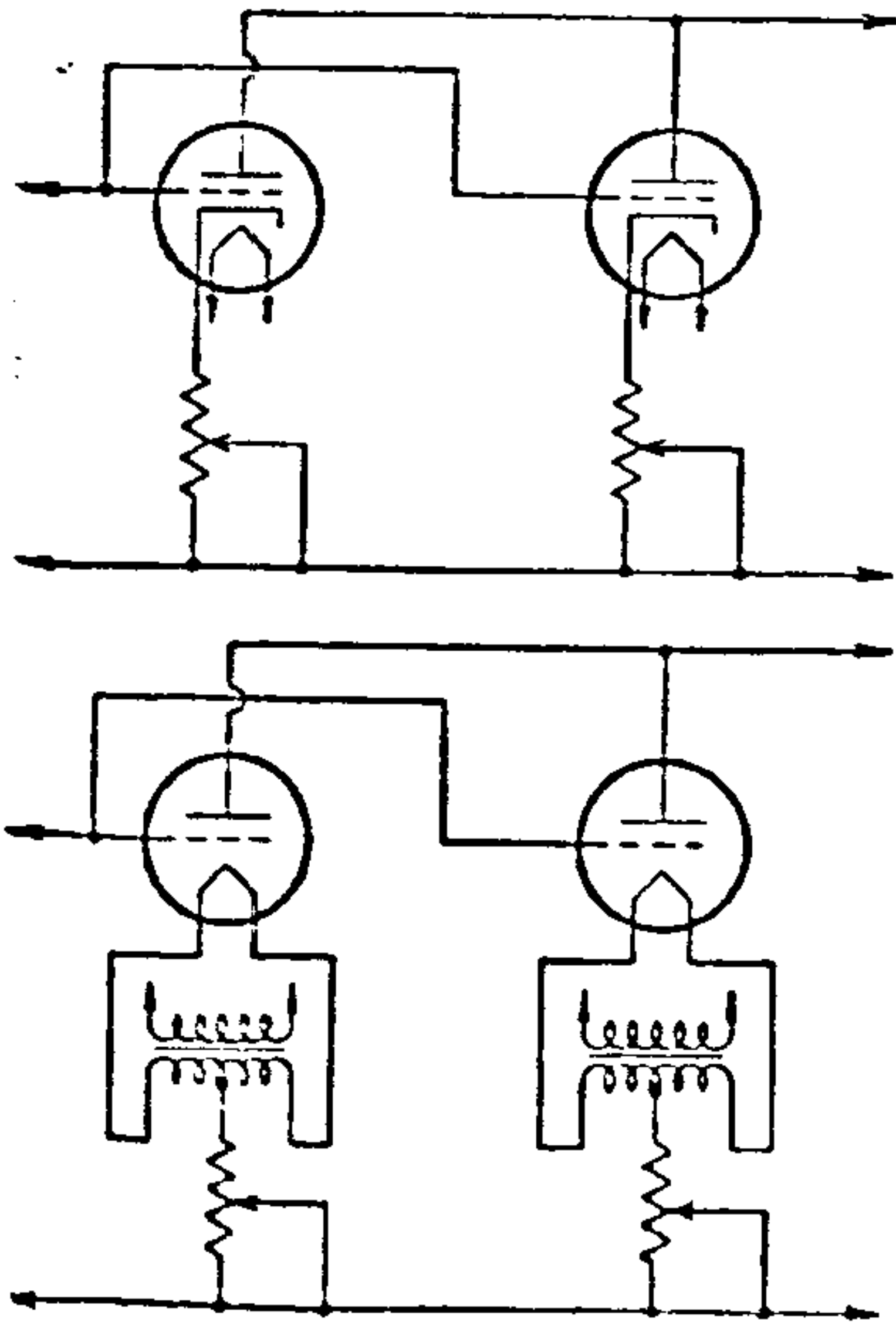


Fig. 30

dois métodos de uso bastante generalizado. Os estágios providos de válvulas múltiplas que adotam válvulas de potência de feixe eletrônico dirigido e outros tipos multigrades, deverão estar providos de ajustes individuais para a tensão de screen (grade 2) e para a polarização de grade controle (grade 1). Tais ajustes, tornam possível impedir excessiva dissipação de screen nas válvulas individuais e, frequentemente, ajudam consideravelmente a obter equalização na corrente de placa.

AMPLIFICADORES AF DE POTÊNCIA

Os amplificadores de potência AF, normalmente não dissipam corrente de grade ou requerem potência de excitação. Além disso, dissipam apreciável corrente de placa e de screen e, em consequência, adotam polarização por simples resistor de catodo (autopolarização). Após ter sido escolhido o tipo de válvula mais indicado e determinadas suas condições de funcionamento, as principais considerações no projeto de um amplificador classe A, são: 1) escolha de um excitador capaz de proporcionar a necessária tensão de pico; 2) seleção dos dispositivos de entrada e de saída com as características de frequência e de impedâncias desejadas; 3) seleção dos componentes de desacoplamento necessários a fim de reduzir o "hum", assegurar estabilidade ou melhorar a resposta de frequência total. Para esta classe de amplificador, o excitador poderá ser um amplificador de tensão em classe A e o dispositivo de acoplamento de entrada uma simples rede resistência-capacitância. O acoplamento a resistência-capacitância provê, economicamente, excelentes características de resposta de frequência permitindo o emprego de simples circuitos inversores de fase a fim de excitar os

estágios push-pull. Também poderá ser adotado acoplamento a transformador entre o excitador e o amplificador de potência classe A. Transformadores dotados de ampla resposta de frequência são relativamente dispendiosos e raramente utilizados a menos que haja necessidade de uma considerável tensão entre o excitador e o amplificador de potência classe A.

A alimentação dos circuitos de placa e de screen para um amplificador de potência classe A dotado de válvula simples, deverá ser convenientemente filtrada a fim de reduzir o "hum" e acoplamentos com outros estágios, no equipamento. Estes circuitos, bem como o resistor de polarização catódica, também devem se achar adequadamente drenados ao catodo para a frequência mais baixa que se pretenda reproduzir a fim de assegurar plena saída do estágio simples. Quando é particularmente requerida excelente respostas às áudio frequências baixas de um estágio simples, torna-se necessário empregar alimentação em paralelo, conforme ilus-

trando a classe A, com exceção às considerações especiais que devem ser emprestadas às características dos circuitos de alimentação de placa e de screen (grade 2), e ao método utilizado para obtenção da polarização de grade. Devido a corrente média de placa e de screen de um amplificador classe AB1 variar segundo a amplitude do sinal excitador, resulta séria distorção e inadequada potência de saída sobre grande parte dos sinais de entrada, a menos que a alimentação das tensões de placa e de screen sejam muito bem reguladas e a polarização extremamente estável. Para um excelente rendimento, a regulagem da alimentação de placa deverá ser de 10%; a da fonte de screen, 5% e a da polarização de grade, 3%.

Os amplificadores de potência AF classe B e classe AB2, normalmente, face a intensos sinais de entrada, dissipam corrente de grade; requerendo, em consequência, apreciável potência de excitação. A potência de saída, resposta de frequência e distorção harmônica dependem, acentuadamente, das

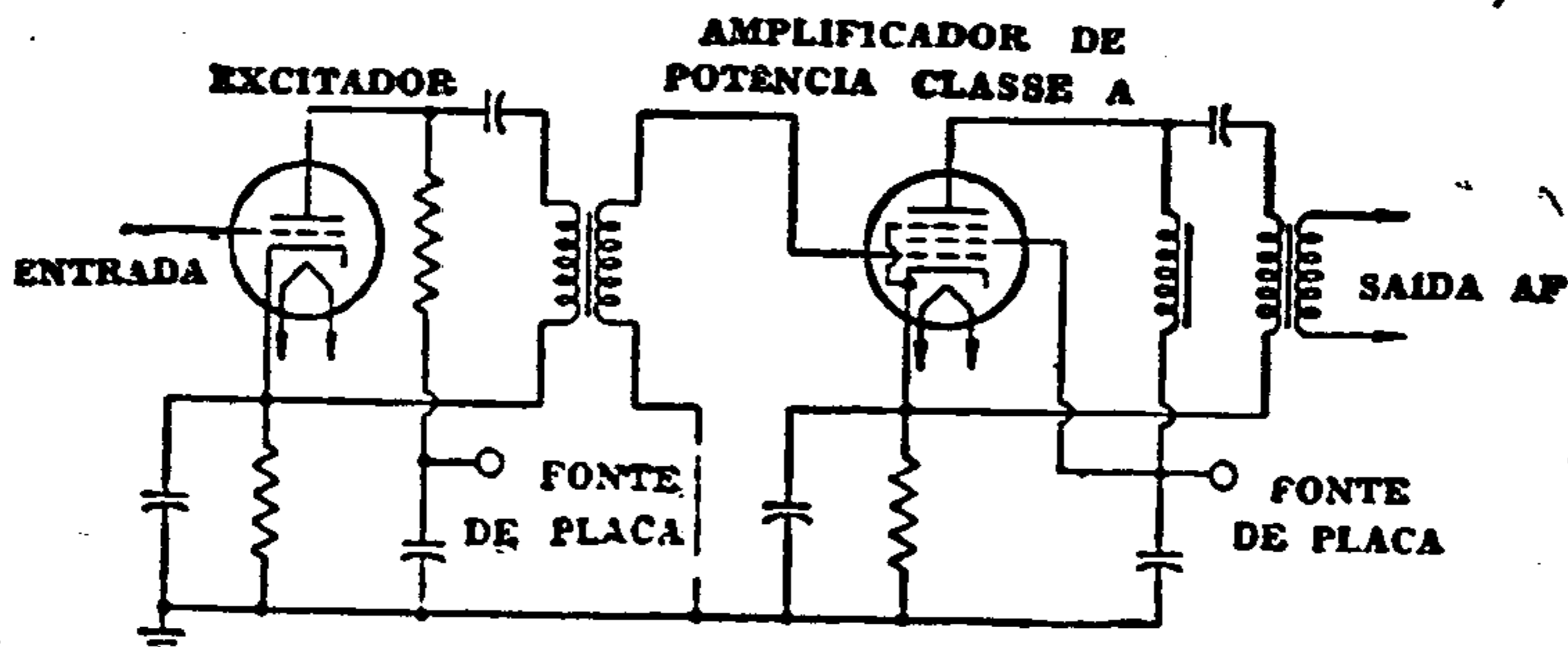


Fig. 31

tra a fig. 31, a fim de eliminar o desequilíbrio DC tanto no transformador de saída como no transformador excitador.

As considerações sobre o projeto de circuito de amplificadores de potência AF em classe AB1 são, via de regra, idênticas às que são dispensadas aos amplificadores

constantes empregadas no amplificador e no circuito excitador. Por conseguinte, o projeto de um amplificador classe B ou classe AB2 abrange um sistema completo no qual se inclui o estágio excitador, circuito de acoplamento interestágio, estágio de saída (classe B ou classe AB2), fonte de alimenta-

ção e polarização para ambos os estágios.

O excitador deverá ser capaz de proporcionar um sinal de potência suficiente para alimentar o classe B ou o estágio AB2 à plena saída e de suprir a perda de potência verificada no circuito de acoplamento inter-estágio. O circuito excitador também deve ser dotado de excelentes características de regulagem, porque a impedância de saída de um estágio classe B varia a partir de um valor muito alto face pequenos sinais de entrada (valor do circuito aberto quando não há consumo de corrente de grade) até um valor baixo diante de intensos sinais de entrada (quando há consumo máximo de corrente de grade). Conseqüentemente, torna-se indispensável o emprêgo de um amplificador de saída com uma impedância tão baixa quanto o excitador além de um eficiente transformador, como dispositivo de acoplamento inter-estágio. Para mínima distorção harmônica total, o excitador deverá ser um amplificador push-pull classe A ou classe AB1. Se o estágio excitador faz uso de triodos, deverá funcionar adotando uma impedância de carga mais elevada do que à normalmente usada pelo tipo de válvula usada para reduzir a distorção.

O transformador inter-estágio ou transformador excitador deverá fornecer a carga apropriada para o excitador à máxima excitação, isto é, quando é mínima a impedância do estágio de saída, devendo, por isso, ser projetado como um transformador redutor. A necessária relação de redução depende dos tipos de válvulas adotados no estágio excitador e no estágio de saída, resistência de carga do estágio de saída, rendimento da potência de pico do transformador excitador e da distorção harmônica capaz de ser tolerada à saída.

O transformador excitador também deve possuir as características de resposta de frequência desejadas, quando funcionando à uma impedância de carga muito alta, tal como aquela que se apresenta no circuito de grade de um estágio classe B ou classe AB2 excitado por sinais pouco intensos. Para assegurar excelente resposta às áudio frequências mais altas, o transformador deve ser projetado de modo também oferecer uma baixa fuga de reatância. Ademais, a resistência dos enrolamentos secundários deve ser baixa, a fim de reduzir as quedas da tensão DC que poderão afetar o funcionamento da polarização durante a circulação da corrente de grade.

Para potência máxima de saída e mínima distorção harmônica, o ponto de funcionamento de um amplificador classe B ou classe AB2, não deverá ser afetado pelas variações normais das correntes médias de placa, screen e grade controle. Por conseguinte, a polarização deverá ser conseguida de uma fonte de alimentação fixa independente, como por exemplo uma bateria ou um retificador com uma resistência interna muito baixa; e as fontes de placa e de screen deverão dispor de excepcionais características de excelente regulagem. Para um rendimento excelente, a regulagem da fonte de alimentação de placa para amplificadores classe B ou classe AB2 deverá se achar compreendida em 5%; enquanto a regulagem da fonte de alimentação de screen e da polarização de grade, em 3%.

Os transformadores de saída para amplificadores classe B e classe AB2 devem ter enrolamentos apresentando baixa resistência, a fim de reduzir as perdas de potência face às intensas correntes de placa que circulam à máximo sinal. Deverão também possuir uma perda de indutância muito reduzida de modo possibilitar uma resposta muito boa às áudio fre-

quências mais altas e reduzir o perigo de oscilações parasitas.

MODULADORES

Um amplificador de potência AF quando utilizado para modular um amplificador RF em classe C, deverá ser capaz de oferecer uma potência de saída sem distorção igual a metade da potência média do circuito modulado, a fim de proporcionar 100% de modulação. Além disso, o transformador deve converter a resistência equivalente do circuito modulado na resistência de carga de placa apropriada ao estágio modulador.

A potência Média, W_a , em watts no circuito modulado é igual a EI ; enquanto a resistência efetiva, R_2 , é igual a E/I , onde E representa o potencial DC em volts através do circuito modulado e I a corrente contínua total em amperes. A relação de espiras adequada (primário a secundário) N_1/N_2 para o transformador de modulação é dada por:

$$\frac{N_1}{N_2} = \sqrt{\frac{R_1}{R_2}}$$

onde R_1 é resistência efetiva de carga de placa (placa-a-placa) requerida pelo amplificador AF e R_2 é a resistência efetiva em ohms do circuito modulado.

Exemplo 1 — Determinar a potência AF, W_o , requerida para modular 100% o push-pull 812-A classe C funcionando em condições ICAS (os valores encontram-se nos dados técnicos da 812-A na parte referente a Amplificadora RF de potência — Placa modulada — Telegrafia Classe C).

$$W_o = \frac{W_a}{2} = \frac{(1250) (2 \times 0.140)}{2} = 175 \text{ watts}$$

Esta potência de áudio consegue-se de um amplificador push-pull 811-A em classe B e funcionando em condições CCS com potencial DC de placa de 750 volts (os valores encontram-se nos dados técnicos da 811-A como Amplificadora AF de Potência e Moduladora Classe B — Funcionamento Típico). A resistência de carga efetiva de placa-a-placa requerida para a 811-A é de 5.100 ohms. A resistência equivalente do circuito de placa da 812-A é:

$$R_2 = \frac{1250}{2 \times 0,140} = 4464$$

ou 4.500 ohms, aproximadamente.

Conseqüentemente, a relação de espiras (primário à secundário), requerida para o transformador de modulação é:

$$\frac{N_1}{N_2} = \sqrt{\frac{5100}{4500}} = \frac{1.1}{1} \text{ aprox.}$$

Exemplo 2 — Determinar a potência AF, W_o , para modular 100% em placa e screen um amplificador 813 simples em classe C, funcionando em condições ICAS. (Os valores encontram-se nos dados técnicos da 813 como Amplificadora RF de Potência — Placa Modulada — Telefonia Classe C — Funcionamento Típico). A tensão de screen da 813 é obtida através da queda de tensão de um resistor em série com a fonte de alimentação de placa, conforme ilustra (c) da fig. 25.

$$W_o = \frac{W_a}{2} = \frac{(2000) (0,200 + 0.040)}{2} = 240 \text{ watts}$$

Consegue-se esta potência de um amplificador push-pull 811-A em classe B, funcionando em condições ICAS com potencial de pla-

ca de 1000 volts. (Os valores encontram-se nos dados técnicos da 811-A como Amplificadora AF de potência e Moduladora, Classe B — Funcionamento Típico). A resistência de carga efetiva placa-a-placa requerida para a 811-A é 7.400 ohms. A resistência equivalente do circuito de placa e de screen da 813 é:

$$R_2 = \frac{2000}{0,200 + 0,40} = 8333$$

ou 8.400 ohms, aproximadamente.

Por conseguinte, a relação de espiras (primário à secundário) requerida para o transformador de modulação é:

$$\frac{N_1}{N_2} = \sqrt{\frac{7400}{8400}} = \frac{0,94}{1} \text{ (aprox.)}$$

No projeto de amplificadores AF de potência para funcionar como moduladores, também se considera o efeito magnetizante da corrente DC desequilibrada que circula pelos enrolamentos secundários do transformador de modulação. Quando esta corrente é suficientemente grande a ponto de causar um decréscimo na resposta às frequências baixas, inclui-se um capacitor e um choke adequados a fim de isolar dos referidos enrolamentos, a corrente DC desequilibrada.

AMPLIFICADORES DE RF DE POTÊNCIA

Os amplificadores de potência classe B ou classe C normalmente funcionam com circuitos de carga ressonante, projetados a fim de filtrar os harmônicos indesejáveis de qualquer ordem. Em consequência, não devem ser usados circuitos em push-pull que reduzam os harmônicos de ordem par. Contudo, o push-pull é algumas vezes empregado em estágios amplificadores classe B e classe C do tipo "straight-throught" como

meio para obter uma saída aumentada ou melhorar o funcionamento nas rádio frequências mais altas. É também adotado como multiplicador de frequência a fim de acentuar as frequências de ordem ímpar.

EXCITADOR DE POTÊNCIA

Uma das considerações mais importantes no projeto de um estágio amplificador RF de potência classe B ou classe C, consiste na provisão de uma adequada excitação de potência. Os valores típicos de potência excitadora estabelecidos nos dados técnicos das válvulas para funcionamento RF classe B e classe C, indicam apenas a potência dissipada pelo sinal no circuito interno catodo-grade da válvula e na resistência do circuito de polarização. Geralmente, essas figuras não incluem a potência excitadora perdida no suporte das válvulas ou nos componentes e fiação dos circuitos e perdas na válvula devido ao "tempo de trânsito dos eletrons", impedâncias de condução interna ou outros fatores.

O estágio excitador deve proporcionar um sinal com potência suficiente para alimentar a válvula e perdas no circuito. Embora essas perdas variem segundo a frequência, condições de funcionamento da válvula, configuração de circuito e montagem dos componentes do circuito, são avaliadas com razoável exatidão nos amplificadores "diretos". As perdas na válvula e no circuito, à frequências até cerca de 30 megaciclos, são aproximadamente o dobro dos valores de potência de excitação fornecidos nos dados técnicos da válvula. Em se tratando de frequências mais elevadas, as perdas oriundas do tempo de trânsito dos eletrons e aquelas verificadas no circuito aumentam de tal maneira que geralmente se torna necessário usar um

estágio excitador capaz de suprir de 3 a 10 vezes a potência de excitação apresentada nos dados técnicos da válvula.

A potência de excitação útil para um amplificador em classe C ou multiplicador de frequência, deve ser suficiente para permitir a saturação da válvula excitadora, isto é, um acréscimo ou decréscimo substancial na potência excitadora não deve produzir apreciável alteração na saída do estágio excitador. Esta consideração torna-se particularmente importante quando a potência excitadora é obtida de uma seqüência de estágios multiplicadores de frequência, pois tais estágios têm uma regulagem de saída muito mais pobre do que os amplificadores "diretos". Entretanto, deverá ser tomado cuidado a fim de assegurar que não sejam excedidos os regimes máximos de entrada da válvula excitada.

Devido as correntes médias de placa e screen (grade 2) dissipadas por um amplificador RF classe B ou classe C devidamente excitado permanecerem substancial-

porcionar correntes de pico muito elevadas, especialmente quando o estágio funciona como multiplicador de frequência.

CONSIDERAÇÕES SOBRE A POLARIZAÇÃO DE GRADES

Como os amplificadores RF classe B são quase exclusivamente empregados como amplificadores de saída nos transmissores de radiotelegrafia que adotam modulação de amplitude em baixo nível, devem possuir características extremamente lineares a fim de evitar distorção dos sinais modulados. Esses amplificadores não são negativados até o corte, mas até um valor determinado pela amplitude do sinal excitador de RF sem modulação e seu funcionamento é usualmente limitado até uma região relativamente estreita das características. A polarização, geralmente, deve ser conseguida de uma fonte de alimentação fixa independente, como por exemplo uma bateria ou um retificador com excelente regulagem de saída. (Auto-polari-

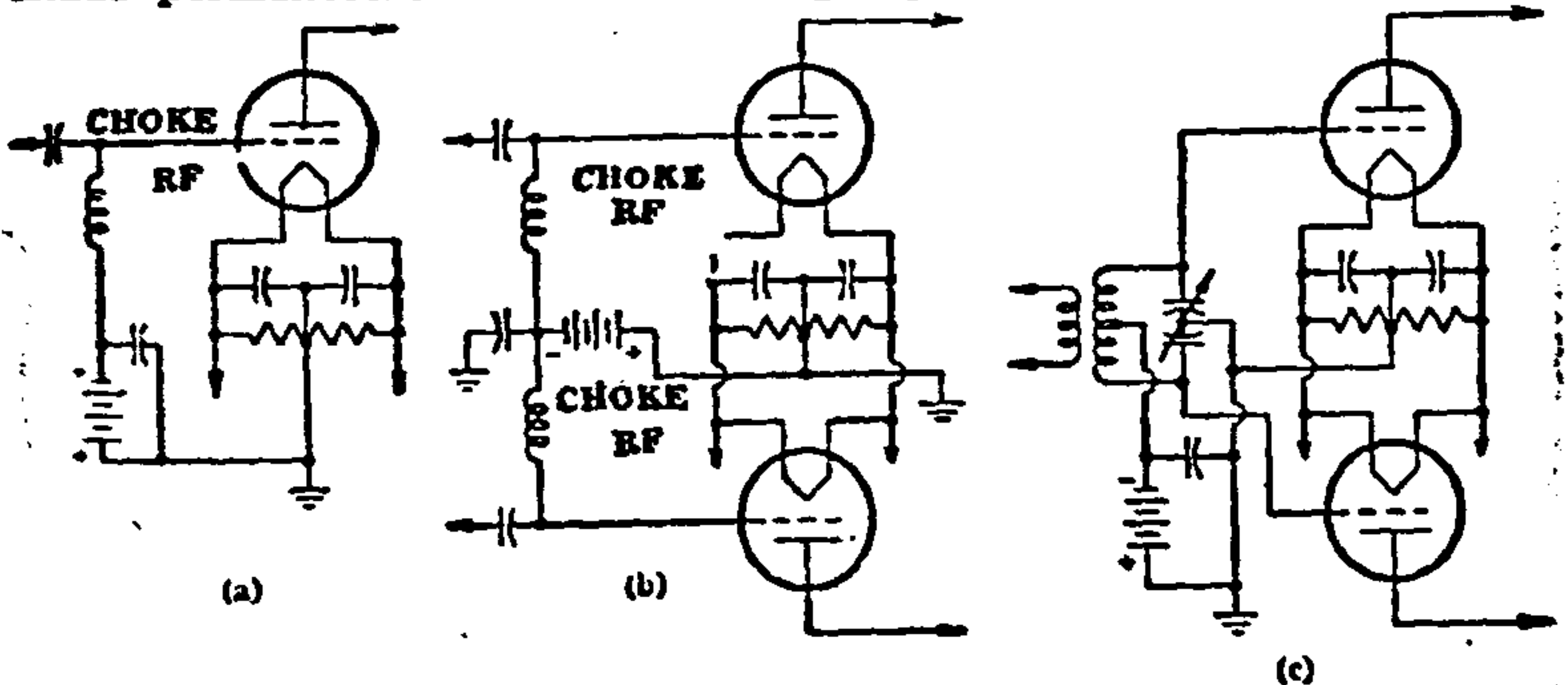


Fig. 32

mente constantes, torna-se desnecessária a regulagem das fontes de alimentação de placa e de screen. Todavia, a fonte de alimentação destinada a um estágio classe B deverá ser capaz de pro-

porcionar correntes de pico muito elevadas, especialmente quando o estágio funciona como multiplicador de frequência. A polarização obtida de um resistor de cátodo adotar-se-á para determinadas válvulas de feixe eletrônico dirigido). Qualquer dos métodos adotados e a amplitude máxima do sinal excitador deverão ser

ajustados, quando é alterada a tensão de placa.

A fig. 32 ilustra o emprêgo de polarização fixa em estágios RF com várias configurações de circuito. A bateria indica qualquer fonte DC capaz de proporcionar a tensão requerida com excelente regulagem. Os chokes de RF e os capacitores "by pass" são usados para excluir a tensão de RF de grade da fonte de polarização. Quando é utilizado um circuito de grade sintonizado, como mostra (c) da fig. 32, geralmente torna-se desnecessário o choke de RF, podendo mesmo em alguns casos ser prejudicial ao funcionamento do estágio. O emprêgo de um choke de RF de valor inadequado no circuito de grade de um amplificador de RF poderá causar oscilações parasitas, mormente quando choke similar é utilizado no circuito de placa.

Baterias, retificadores ou outras fontes DC dotadas de elevada resistência interna não devem ser adotadas como fonte de polarização fixa. Se tais dispositivos são usados, o fluxo normal da corrente de grade poderá alterar as baterias para uma tensão mais elevada do que os valores estabelecidos ou aumentar a queda de tensão mais elevada do que os valores estabelecidos ou aumentar a queda de tensão no bleeder do retificador. O aumento advindo daí, poderá causar uma apreciável redução na potência de saída do estágio.

Geralmente, os amplificadores em classe C usam polarização por resistor de grade, obtida pela retificação através da grade do sinal excitador, devido ser necessário grandes tensões de polarização (aproximadamente o dôbro do valor de corte ou mesmo mais).

O valor exigido para o resistor de grade (em ohms) é igual à polarização de grade negativa (em volts) dividida pela corrente DC de grade (em amperes). Se a corrente de grade de duas válvulas

em paralelo ou push-pull circula através de um resistor de grade comum, o valor desse resistor é a metade daquele requerido para uma válvula simples. Estágios amplificadores típicos em classe C empregando polarização por resistor de grade encontram-se na Seção Circuitos. Malgrado a polarização mediante resistor de grade seja econômica em relação aos requisitos de uma fonte e seus circuitos componentes e ajuste-se automaticamente à amplitude do sinal excitador, apenas provê proteção quando é aplicada uma excitação apropriada ao estágio. Conseqüentemente, os amplificadores em classe C devem, em geral, ser alimentados com suficiente polarização fixa ou auto-polarização, a fim de limitar as correntes de placa e de screen a zero sinal para preservar os valores no caso de falhas na excitação ou quando acidentalmente interrompida.

O valor requerido para uma auto-polarização por meio de resistor catódico (em ohms) é igual à tensão requerida de auto-polarização (em volts) dividida pela corrente total de catodo (em amperes). Em um triodo, a corrente total de catodo representa a soma da corrente DC de placa e corrente DC de grade. Em uma válvula de potência de feixe eletrônico dirigido ou tetrodo, a corrente DC de screen (grade 2) deve ser incluída na corrente de catodo. Em um pentodo com uma grade supressora independente (grade 3), qualquer corrente consumida pela mesma, também deve ser incluída.

Em geral, os amplificadores em Classe C modulados em placa funcionam com tensão de polarização de grade mais elevada do que os amplificadores sem modulação, porque uma modulação de característica linear usualmente requer polarização para variar com a tensão moduladora, variação facilmente obtida se não

fôr também uma fração ampla da polarização total. Geralmente, torna-se necessário usar combinadas a polarização fixa e a polarização por resistor de grade a fim de prover a desejada variação da tensão polarizadora. O resistor de grade não deve ser atravessado pelas freqüências de áudio.

A polarização de grade para os amplificadores em classe C modulados em grade deverá ser extremamente estável para evitar distorção da portadora modulada e excessiva dissipação. Conseqüentemente, a polarização deverá ser conseguida por meio de uma fonte fixa com características de regulação muito boas, invés de um resistor de grade ou resistor catódico.

A polarização de grade para amplificadores RF modulados em screen ou grade supressora não é particularmente crítica, podendo ser obtida mediante quaisquer dos métodos descritos acima. Todavia, os requisitos de polarização catódica usados em tais amplificadores deverão ser desviados para a freqüência mais baixa modulada bem como para a RF.

Tensões de polarização fixa altamente estáveis poderão ser conseguidas de fontes de polarização reguladas eletronicamente ou por meio de válvulas reguladoras de tensão, em lugar de um resistor de carga à saída do retificador de polarização. As válvulas reguladoras de tensão com regimes de tensão regulados entre 75 e 150 volts, são indicadas para esse fim. Quando requeridos potenciais de polarização fixa superiores a 150 volts, poderão ser ligadas em série válvulas com adequados regimes de tensão e idênticos regimes de corrente. Quando se tornar necessário correntes mais elevadas do que aquelas que uma válvula simples é capaz de oferecer, tipos com regimes similares de tensão poderão ser conetados em parale-

lo. Nestas disposições, um resistor de 100 ohms de valor deverá ser ligado em série à cada válvula no sentido de assegurar idêntica divisão de correntes de carga total. Exemplos do uso de válvulas reguladoras de tensão encontram-se ilustrados na fig. 33.

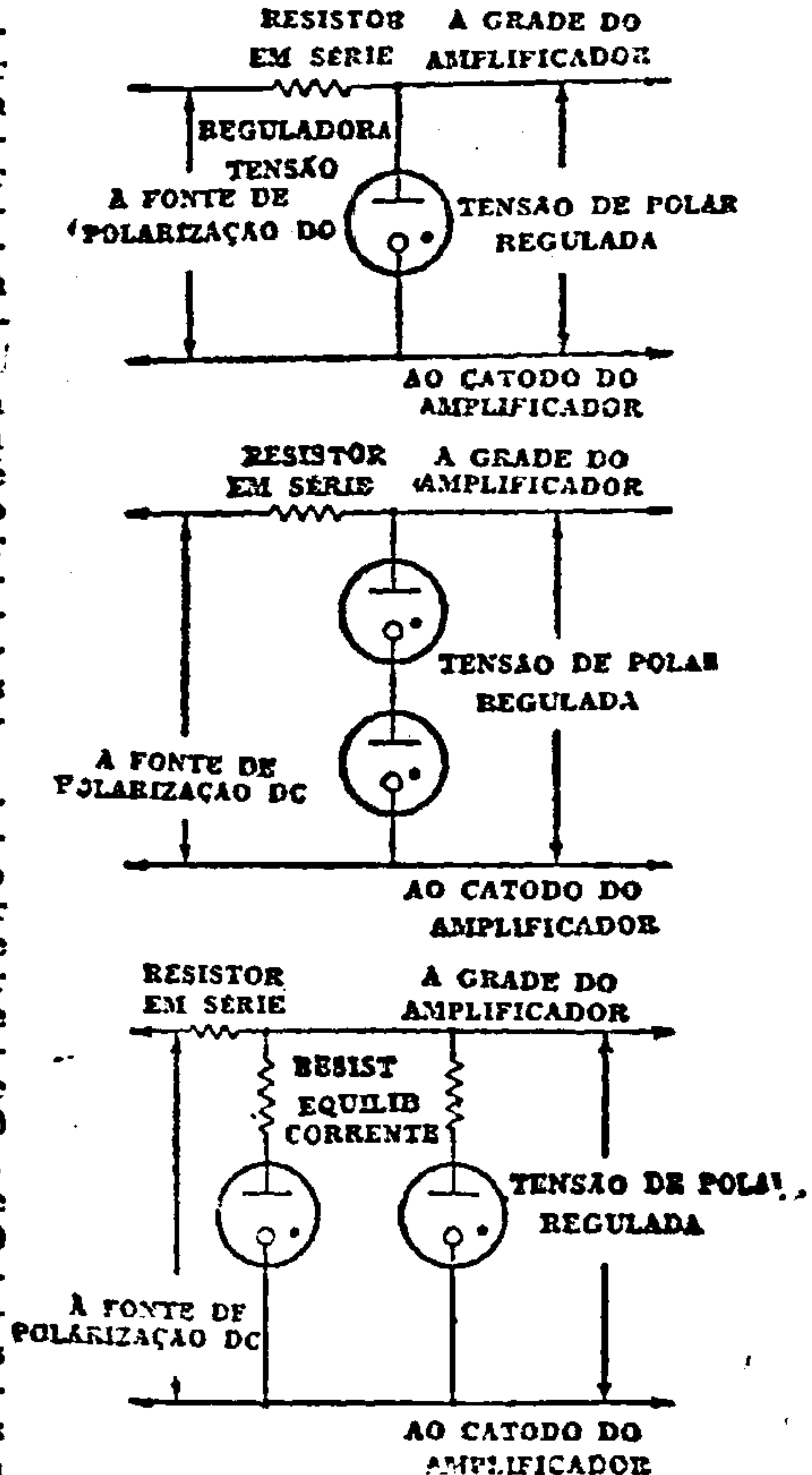


Fig. 33

MULTIPLICADORES DE FREQUÊNCIA

As principais considerações no projeto de multiplicadores de frequência, residem na escolha adequada de tipos de válvulas e na determinação das condições de funcionamento capazes de prover o máximo de potência de saída no harmônico desejado.

Para um valor fixo do pico da corrente de placa, o harmônico de saída de um amplificador classe C aumenta, a princípio, na proporção em que aumenta o impulso da corrente de placa, principian-do, logo em seguida, decrescer na proporção que decresce a constante do impulso ulterior. Em consequência, há um valor de ângulo de condução na qual a relação de quaisquer componentes harmônicos ao valor de pico do impulso da corrente de placa, é máximo. Esses máximos ocorrem a ângulos de condução de cerca de 120 graus, para dobradores de frequência; 80 graus, para triplicadores e 60 graus para quadruplicadores.

Devido os pequenos ângulos de condução requererem geralmente o emprêgo de elevados valores de polaridade negativa, a potência de saída e a eficiência do circuito de placa diante dos harmônicos mais altos, vêm-se limitados pelo regime de polarização de grade da válvula bem como pelas possibilidades do pico de emissão do catodo. O rendimento total conseguido como multiplicador de frequência encontra-se também restrito aos requisitos da potência de excitação, o qual aumenta com o quadrado da tensão excitadora de grade. Os tipos de válvulas empregados nos estágios multiplicadores de frequência devem possuir filamentos de elevada wattagem ou catodos capazes de suprir as elevadíssimas correntes de pico de emissão e à alta transcondutância ou elevados fatores de amplificação.

OSCILADORES

Muito mais do que a alta eficiência ou elevada potência de saída, a estabilidade da frequência constitui a principal consideração no projeto de um oscilador. Esta estabilidade é determinada pelas características mecânicas de um cristal ou de um circuito sintonizado à indutância-capacitância juntamente com as condições de funcionamento da válvula.

Em geral é necessário atender a uma ou mais das seguintes condições para obtenção de um alto grau de estabilidade de frequência:

1) Reduzir as vibrações mecânicas e as variações de temperatura ambiente, as quais poderão alterar as características determinantes da frequência do cristal ou do circuito sintonizado.

2) Limitar a amplitude oscilatória a fim de reduzir o aquecimento interno do cristal determinante da frequência ou do circuito sintonizado e que podem alterar suas características.

3) Reduzir as variações nas tensões de alimentação mediante o emprêgo de fontes reguladas em placa e screen (grade 2).

4) Reduzir as variações durante a carga isolando o oscilador de uma carga variável por intermédio de um estágio separador (amplificador classe A ou classe AB1, usualmente).

5) Uso de componentes especiais ou circuito adequado para compensar variações na temperatura, carga ou tensão de alimentação.

A estabilidade da frequência de um oscilador controlado a cristal é determinada principalmente pelo coeficiente de temperatura e montagem do cristal, limitada pelas condições de funcionamento e carga da válvula. Em consequência, torna-se desnecessário fontes reguladas de placa e screen para tais osciladores ou para isolá-los de cargas diferentes por meio de estágios separadores. No entan-

to, quando se fizer necessário uma estabilidade elevada, é indispensável adotar tôdas as precauções estabilizadoras apontadas acima, além de manter o cristal em uma câmara controlada termostaticamente a fim de garantir-lhe uma temperatura constante (padrões de freqüência e transmissores comerciais).

Os cristais, principalmente aqueles que são polidos ou dimensionados para às rádio freqüências mais elevadas, são extremamente frágeis, sujeitos a destruição por sobrecargas ou uso de realimentação excessiva. Os triodos utilizados nos osciladores controlados a cristal, devem, em consequência, ser do tipo de baixa potência ou funcionarem sob tensões de placa bem reduzidas, a fim de atenuar a carga sobre o cristal e limitar a amplitude oscilatória. As válvulas de potência de feixe eletrônico dirigido, pentodos e tetrodos ocasionam uma carga relativamente pequena sobre o cristal porque requerem pequenas potências excitadoras provendo limitada realimentação mesmo quando funcionam a plena tensão de placa, dada sua blindagem interna. Em consequência, êsses tipos são especialmente indicados para os osciladores controlados a cristal. Também poderão proporcionar potências de saídas mais elevadas do que os triodos, permitindo, assim, a adoção de poucos estágios para completar a desejada saída final.

Quando nos circuitos osciladores controlados a cristal são usadas válvulas multigrades dotadas de excelente blindagem interna, torna-se necessário empregar realimentação capacitiva externa para que a oscilação seja obtida. Esta realimentação é conseguida por meio de um pequeno capacitor ajustável (geralmente nunca superior a 2 ou 3 micromicrofarads) ligado entre o terminal da grade 1 e o terminal de placa da válvula. Em nenhuma circunstância, a capa-

citância da realimentação externa deve ser maior do que a necessária para provocar a oscilação, pois quaisquer valores excessivos poderão ser suficientes para prover uma realimentação capaz de destruir o cristal.

Para obtenção de uma excelente estabilidade de freqüência num oscilador de freqüência variável, geralmente faz-se mistér adotar tôdas as precauções descritas anteriormente. É particularmente importante empregar bons componentes e sólida construção mecânica e é de conveniência encerrar o circuito tanque do oscilador numa blindagem metálica provida de excelente estabilidade térmica. Consegue-se ótimo isolamento às variações de carga sem necessidade de estágio separador, mediante um circuito acoplado eletronicamente. Neste tipo de circuito oscilador, a grade controle (grade 1) e o screen (grade 2) de uma válvula multigrade constituem os verdadeiros terminais do oscilador, atuando o screen como anodo. A potência de saída é conseguida do circuito de placa acoplada ao oscilador apenas pelo feixe eletrônico interno.

Os osciladores controlados a cristal e os osciladores de freqüência variável, também podem ser usados como geradores de harmônicos e multiplicadores de freqüência. Os osciladores acoplados eletronicamente são especialmente indicados como multiplicadores de freqüência porque a relação do harmônico desejado pode ser efetuada no circuito de placa sem afetar a freqüência do oscilador.

CIRCUITOS TANQUE SINTONIZADOS EM PARALELO

O rendimento de um amplificador RF de potência, multiplicador de freqüência ou oscilador depende criticamente das características do circuito que constitui sua carga de placa. As características do circuito de carga afetam a po-

tência de saída, saída de harmônicos, dissipação de placa e os requisitos da potência de excitação do estágio.

A carga do circuito de placa de um classe B ou amplificador RF classe C é geralmente um tanque ressonante sintonizado em paralelo do tipo ilustrado esquematicamente na fig. 34. A frequência

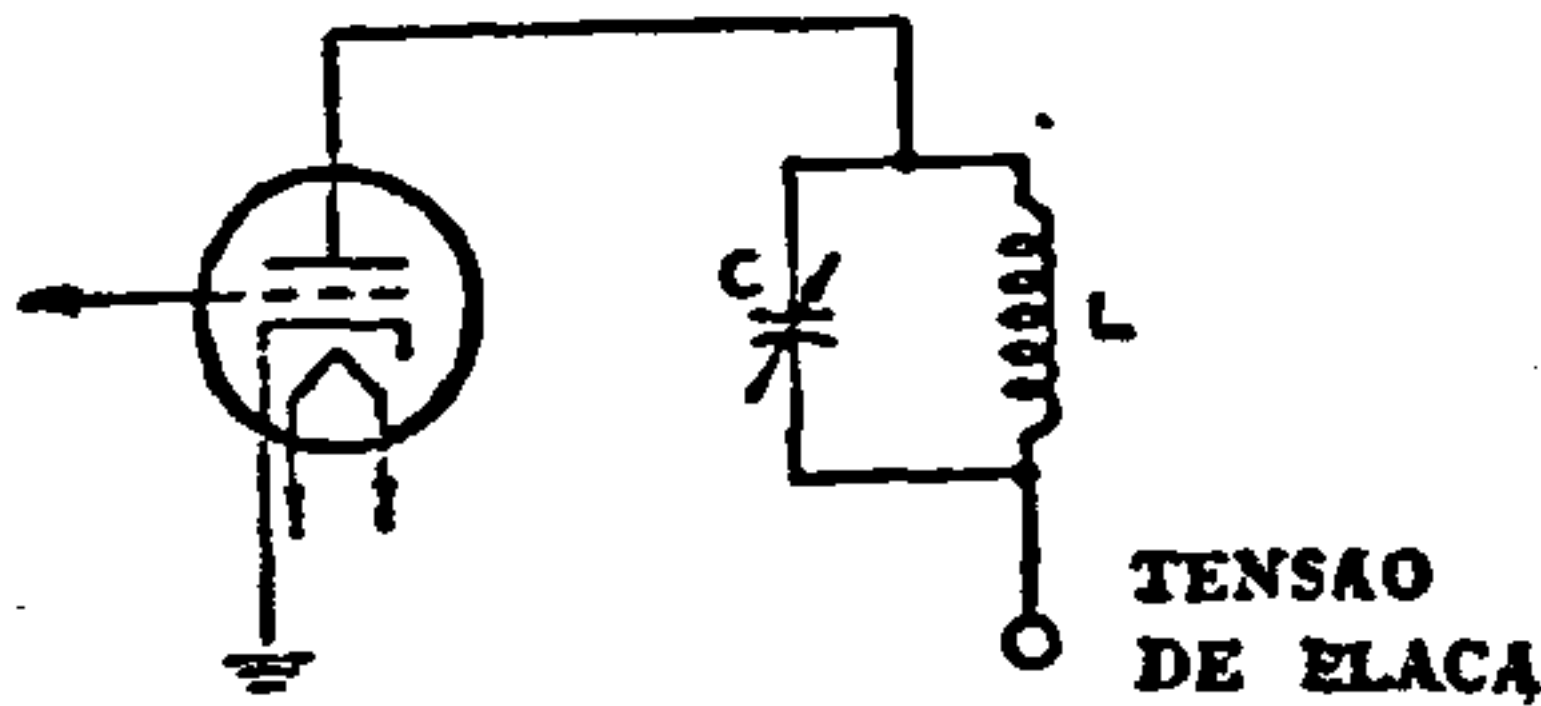


Fig. 34

de ressonância, f , em megaciclos por segundo é dada por:

$$f = \frac{10^3}{2\pi \sqrt{LC}} \quad (1)$$

onde L é a indutância em microhenries e C a capacitância em micromicrofarads. A expressão mostra que a frequência de ressonância varia inversamente com a raiz quadrada do produto LC . Dobrando L e C , a frequência de ressonância é a metade. Para qualquer frequência dada, f , o produto de LC é uma constante. Com exceção dos circuitos que funcionam à frequências ultra-elevadas e frequências elevadíssimas, L é usualmente uma indutância concentrada numa bobina ou condutor de forma especial e C é uma combinação de capacitâncias concentradas e distribuídas. Geralmente, a capacitância "concentrada" é um capacitor variável, enquanto a componente distribuída consiste na auto-capacitância do tanque capacitâncias da válvula e das capacitâncias dispersas do circuito. Conseqüentemente, a capacitância distribuída deve sempre ser levada em consideração,

principalmente em se tratando de cálculos para rádio-frequências mais elevadas, onde, quase sempre, ambos constituem a componente principal ou a capacitância efetiva do tanque.

O circuito tanque de placa de um classe B ou amplificador RF em classe C deve ressonar à frequência de saída desejada e também deve converter os impulsos unidirecionais relativamente breves da corrente de placa em oscilações completas a esta frequência. Em outras palavras: deverá atuar como uma espécie de "volante". O tanque de placa também deve possuir suficiente impedância à ressonância a fim de limitar a corrente de placa do estágio sem carga à um valor de segurança.

A eficiência da ação do circuito de um tanque, é indicada pela reação da potência "sem watts" (volt-amperes) desenvolvida no tanque versus a potência real (em watts) desenvolvida pela válvula. "operação Q " do tanque e é proporcional à capacitância do tanque. Seu valor aproximado segundo as condições de funcionamento da válvula é fornecido por:

$$Q = \frac{C \times f \times E_b}{300 I_b} \quad (2)$$

onde C é a capacitância total através do tanque, em micromicrofarads; f é a frequência, em megaciclos por segundo; E_b o potencial DC de placa, em volts e I_b é a corrente total DC de placa do estágio, em miliamperes.

A impedância de um circuito sintonizado em paralelo à ressonância (resistência equivalente R_{eq}), é proporcional à indutância do tanque e inversamente proporcional à capacitância do tanque e à resistência da bobina do tanque. O valor aproximado de R_{eq} em ohms é dado por:

$$R_{eq} = \frac{L}{Cr} \quad (3)$$

onde L é a indutância do tanque em microhenries, C a capacitância do tanque em microraras e r é a resistência do indutor do circuito tanque, em ohms.

Como há um conflito entre as características requeridas para o funcionamento em alto Q e àquelas necessárias para equivalente alta resistência, a determinação dos valores apropriados dos circuitos tanque de placa, constitui uma das mais importantes considerações no projeto de um amplificador RF.

O passo inicial no projeto de um circuito tanque de placa, consiste em determinar a mais indicada operação " Q " para o tipo de funcionamento que o estágio está previsto. A adoção de baixo " Q " resulta numa forma de onda distorcida contendo harmônicos muito pronunciados e, em consequência, torna-se um dissipador de potência, redundando em sérias interferências. Por outro lado, também a adoção de alto " Q " resulta, geralmente, em grande circulação de corrente que ocasiona apreciáveis perdas no circuito tanque. Geralmente é aconselhável um valor entre 10 e 15, para telegrafia ou telefonia RF. Um valor de 12 é mais usualmente adotado no projeto de equipamento destinado a rádioamador e à indústria.

O passo seguinte consiste em determinar a capacitância do tanque, C , face ao valor de " Q " e às condições de funcionamento escolhida. Este valor é obtido da equação (2) transposta para a fórmula:

$$C = \frac{300 \times Q \times I_b}{f \times E_b} \quad (4)$$

A fig. 35 ilustra C como função da relação E_b/I_b para um valor de " Q " de 12. As curvas apresentadas na fig. 35 poderão ser usadas na determinação dos valores de capacitância do circuito tanque, indicadas para equipamentos funcionan-

do nas faixas de rádioamador. Os valores de C obtidos desta Tabela ou calculados mediante a equação (4) aplicam-se apenas aos circuitos tanque simples, os quais não dispõem de split para neutralização ou outros fins, tais como aqueles ilustrados em (a) da fig. 36. Esses valores representam a capacitância total requerida para a ressonância à frequências correspondentes, incluindo ainda a capacitância da válvula e do circuito de dissipação. Valores ligeiramente mais levados do que aqueles indicados poderão vir a ser adotados sem apreciável redução na potência de saída.

Quando num estágio simples é empregado um circuito split, conforme ilustra (b) da fig. 36, a capacitância total do tanque deverá ser um quarto daquela indicada na fig. 35 ou por meio da equação (4). Em consequência, a correspondente indutância do tanque torna-se quatro vezes maior àquela requerida para um circuito tanque desprovido de split. Se o capacitor de sintonia do tanque é do tipo split-stator, conforme ilustra (c) da fig. 36, cada seção deverá contar com a metade da capacitância indicada na fig. 35 ou fornecida pela equação (4).

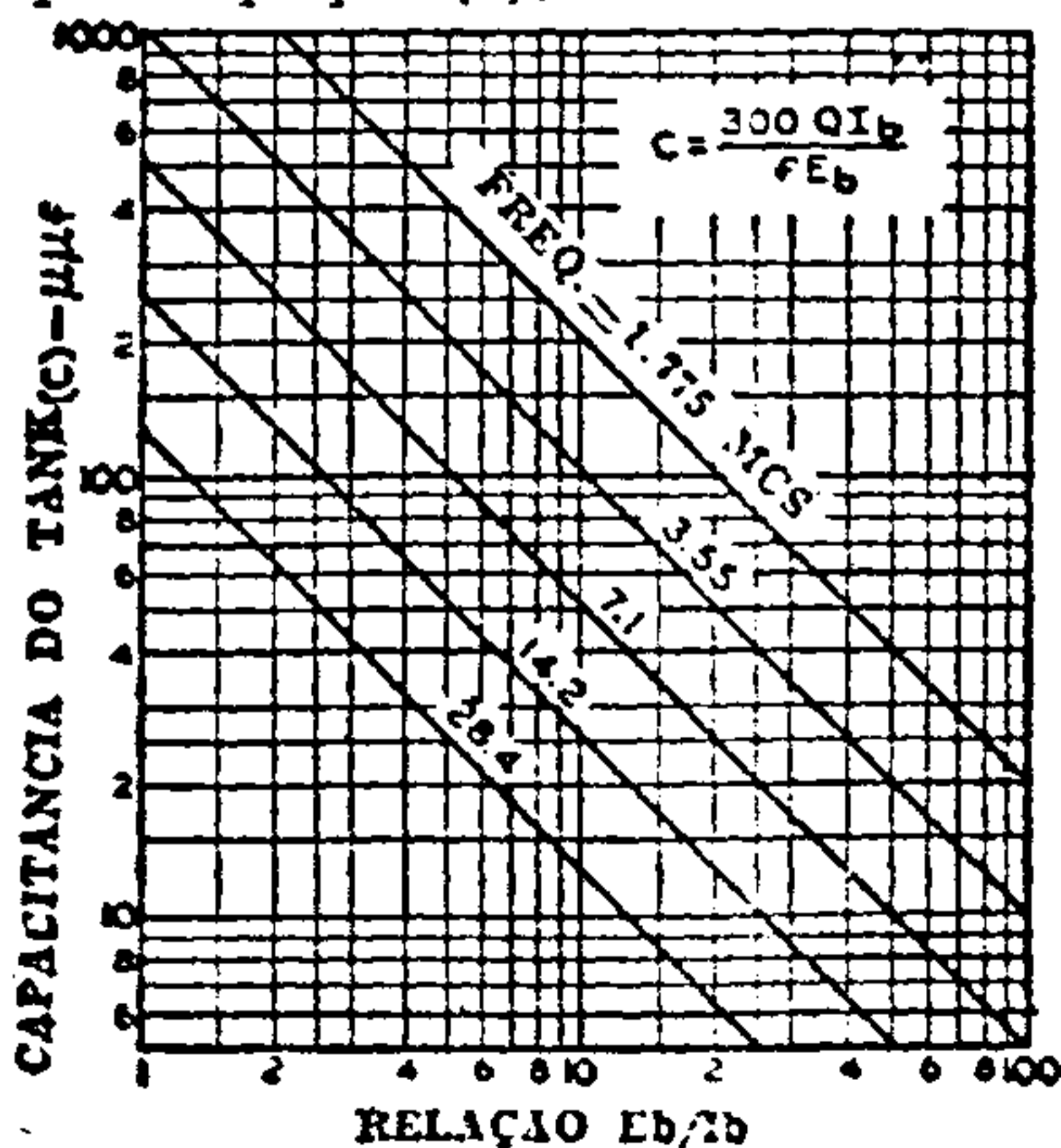


Fig. 35

Um estágio push-pull funcionando com a mesma tensão DC de placa e a mesma corrente DC de placa como estágio simples, também requer um quarto da capacitância do circuito tanque indicado na fig. 35 ou pela equação (4); se o capacitor de sintonia é do tipo split-stator, cada seção deverá ter a metade da capacitância assinalada. Neste caso, cada seção do capacitor split-stator do tanque, deverá dispor da capacitância indicada na fig. 35 e na equação (4).

Quando é conhecida a capacitância requerida pelo circuito tanque, a indutância do tanque necessária para ressonar à frequência desejada poderá ser encontrada pela substituição do valor de C na

missores de rádioamadores, poderão então ser obtidas mediante a seguinte fórmula:

$$L = \frac{R^2 \times N^2}{9R \times 10B}$$

onde L é a indutância da bobina em microhenries; R é o raio médio em polegadas; N o número de espiras e B é o comprimento em polegadas.

Algumas vezes torna-se impraticável limitar o "Q" de um circuito tanque de placa ao desejado valor sob as condições de funcionamento propostas. Por exemplo: em estágios com válvulas em paralelo ou estágios funcionando em frequências mais altas, a capacitância da válvula e do circuito dissipador podem ser maior do que a capacitância total ótima, indicada na equação (4). Em tais casos, o projetista tem a escolher os seguintes processos:

1) Conservar as condições de funcionamento propostas e proje-

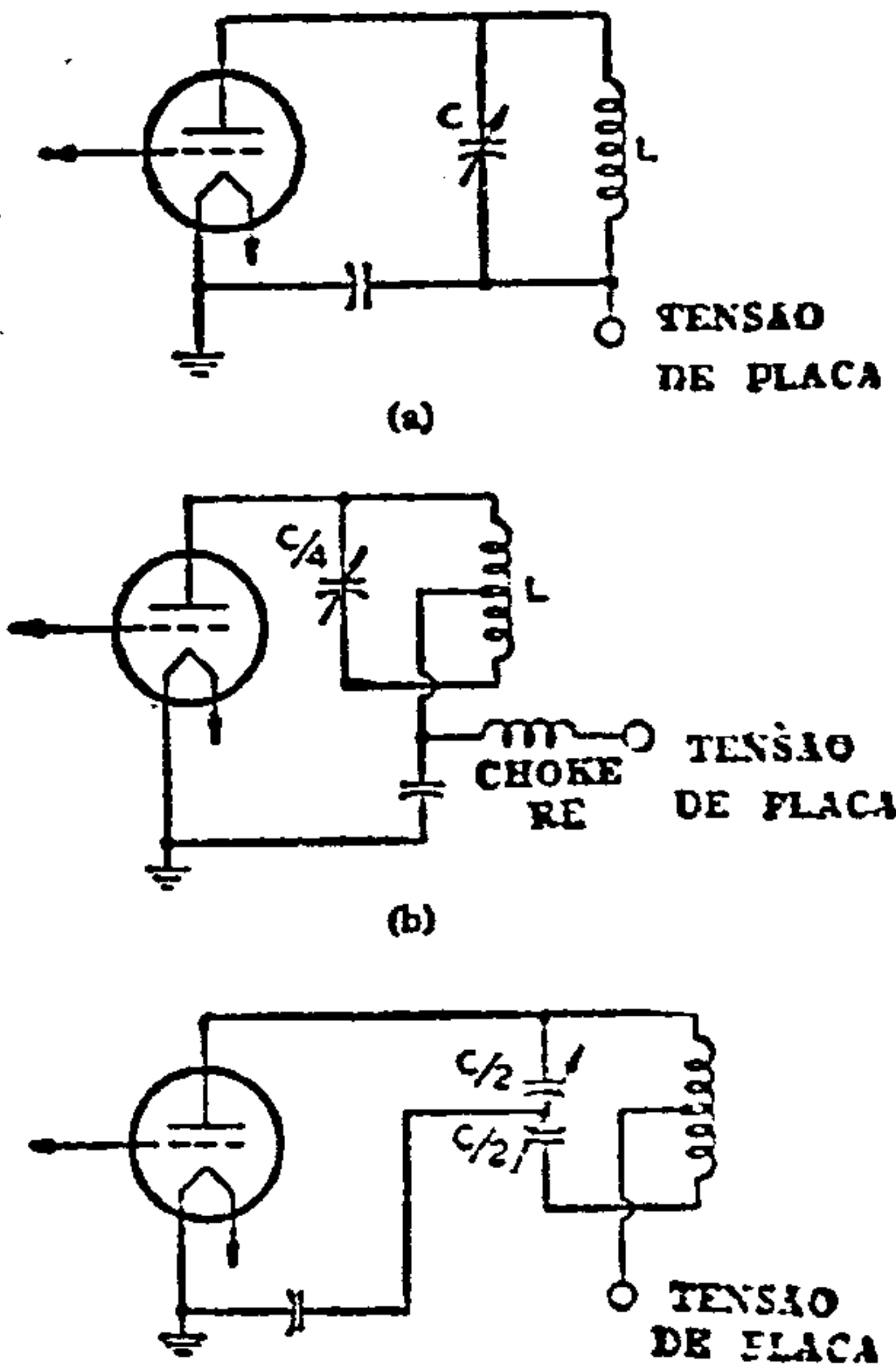


Fig. 35

equação (1). Os dados aproximados para os enrolamentos de bobinas simples, conforme a ilustrada na fig. 37, indicadas para trans-

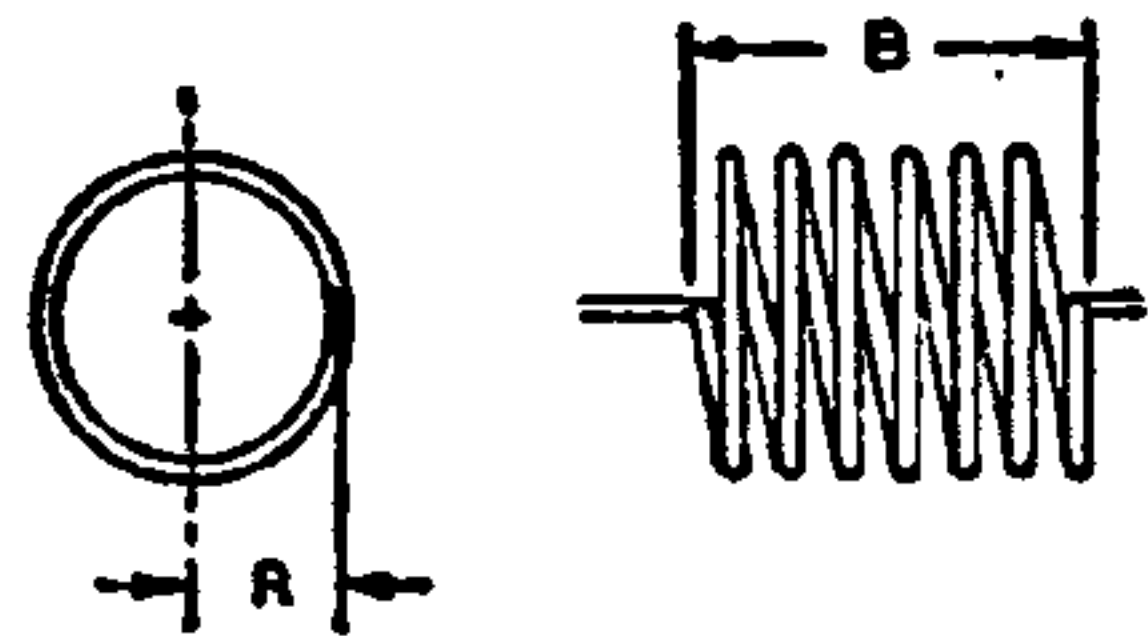


Fig. 37

tar o circuito tanque para o valor mais inferior de "Q", conseguido nessas condições.

2) Modificar as condições de funcionamento da válvula a fim de obter a adequada relação E_b/I_b para o desejado "Q".

3) Projetar o estágio para funcionamento em push-pull, reduzindo, em consequência, a capacitância de carga da válvula à metade da de uma válvula simples ou à um quarto da de válvulas em paralelo.

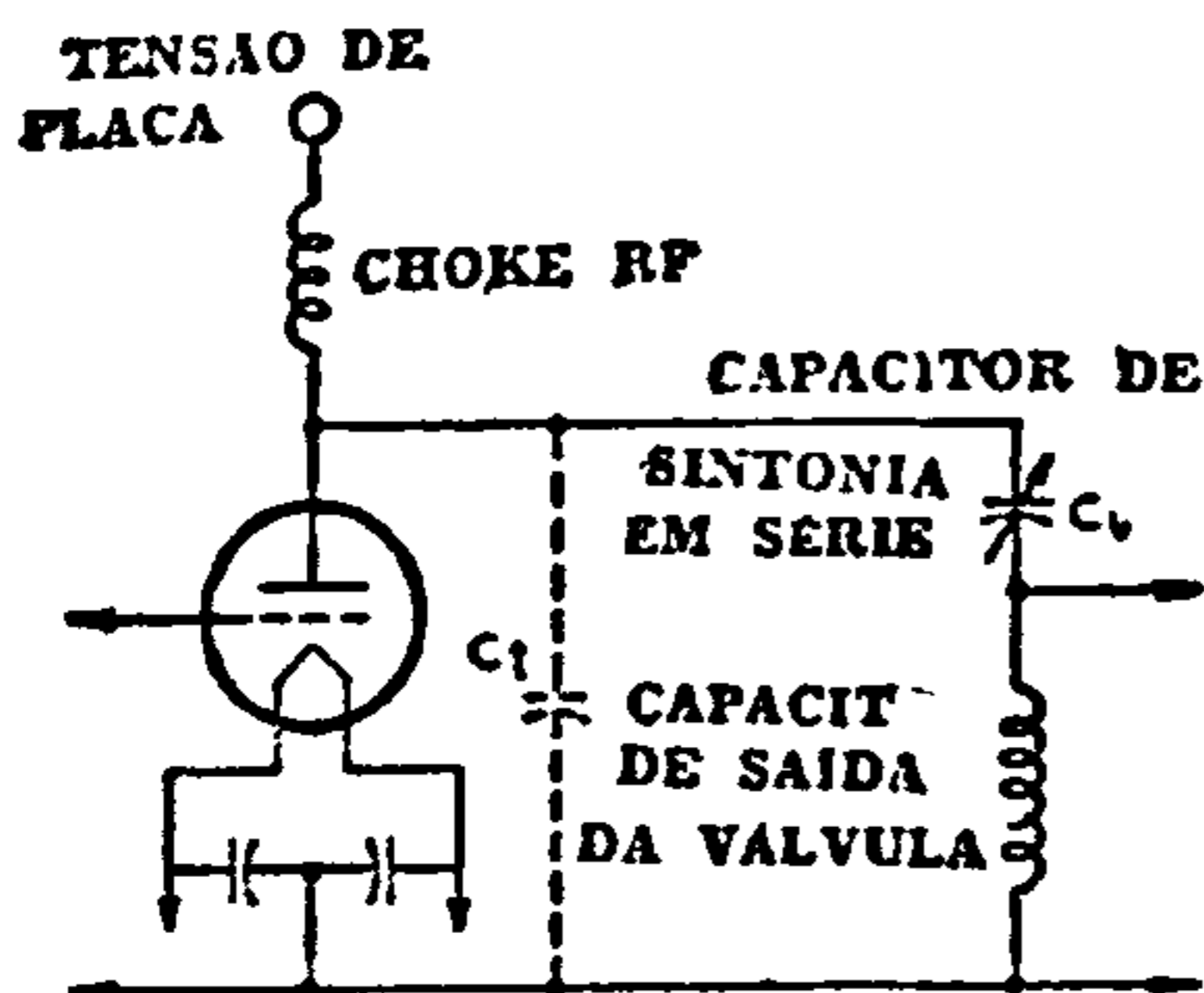


Fig. 38

4) Empregar um circuito tanque-série sintonizado do tipo ilustrado na fig. 38, onde a capacitância variável C_4 é algumas vezes maior do que a capacitância da válvula C_t .

ACOPLAMENTO INTER-ESTÁGIO

Uma das considerações mais importantes no projeto de circuitos de RF reside no método utilizado para acoplar a entrada do amplificador ou multiplicador de frequência à saída do estágio precedente. Um circuito de acoplamento inter-estágio deve permitir suficiente transferência de energia à frequência desejada; separar, se possível, os harmônicos próximos da frequência desejada; e, onde necessário, prover isolamento entre o excitador e o estágio excitado. Também deve permitir ajustar a carga para o excitador e a excitação que alimenta o estágio seguinte. Três tipos principais de acoplamento inter-estágio são empregados nos equipamentos de RF: acoplamento capacitivo, acoplamento indutivo direto e acoplamento indutivo indireto (link).

No acoplamento capacitivo um capacitor com reatância baixa à frequência desejada é ligado entre o circuito tanque de placa do estágio excitador e a grade da válvula seguinte. Este capacitor deve ser apropriado às rádio fre-

quências e deve possuir uma tensão de ruptura estabelecida capaz de resistir a diferença máxima de potencial desenvolvida entre o circuito de placa do excitador e a grade da válvula seguinte. O lado de entrada do capacitor deve ser ligado diretamente à placa do excitador como ilustra (a) da fig. 39 ou à uma "tomada" na bobina do tanque de placa como mostra (b) da fig. 39.

Uma bobina do tanque de placa provida de "taps", constitui meio adequado para controlar a carga e a excitação; e geralmente torna-se necessário sintonizar o circuito de grade do estágio excitador. Entretanto, as partes desprezadas da bobinas do tanque frequentemente ressonam com as capacitâncias dispersas, de modo formar circuitos tanque "parasitas" sem carga que rapidamente entram em oscilação podendo in-

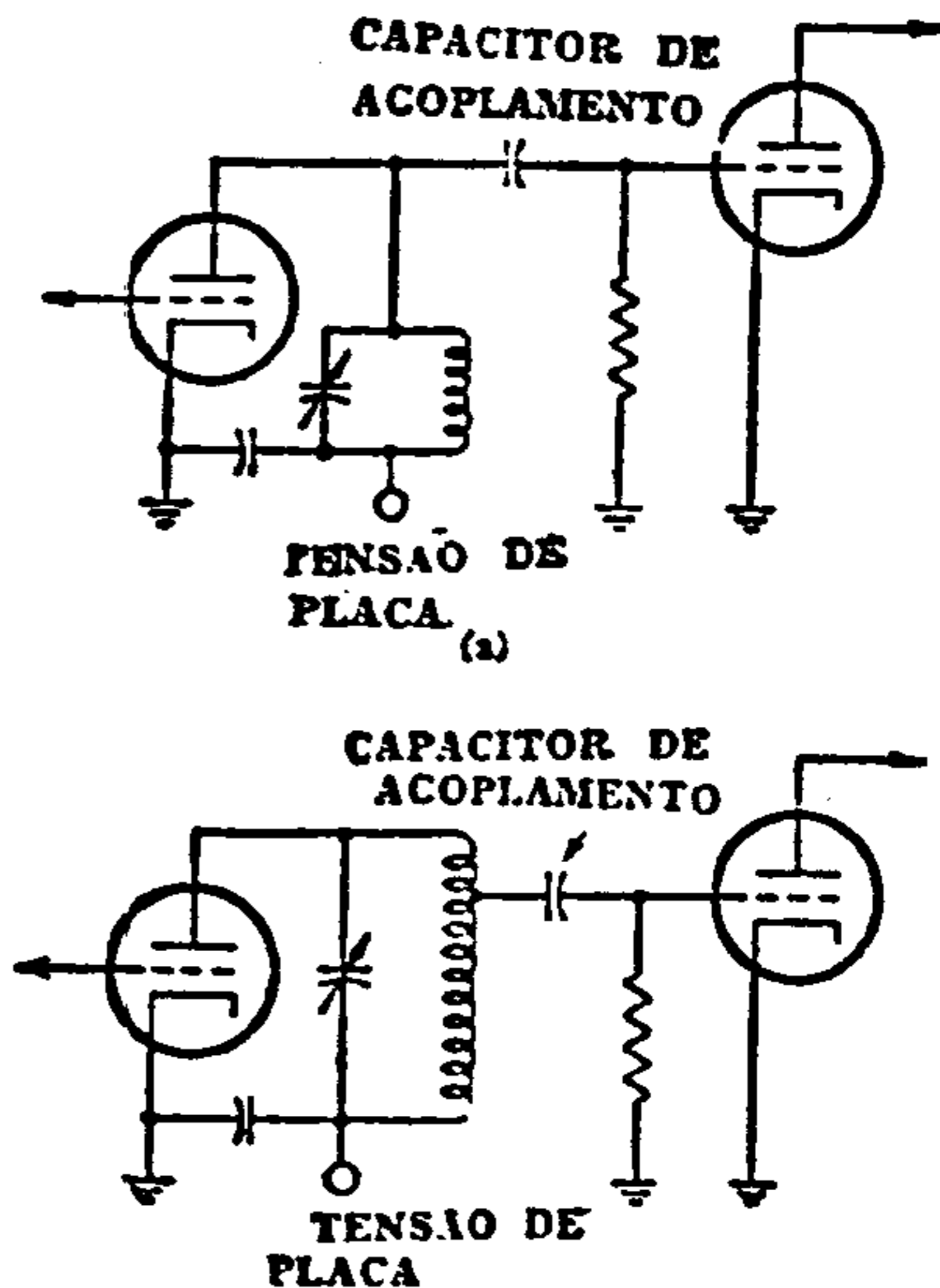


Fig. 39

terferir no funcionamento do equipamento. Em consequência, é preferível usar no tanque de placa do estágio excitador uma bobina

na isenta de "taps" e um circuito de grade anti-ressonante para o estágio seguinte controlando a excitação por intermédio da variação da capacitância de acoplamento. Em virtude das impedâncias relativamente altas encontradas em ambas as extremidades do capacitor de acoplamento, o excitador e o estágio excitado devem estar bem próximos. O acoplamento capacitivo tende a aumentar a transferência de harmônicos em vista da reatância do capacitor de acoplamento aumentar quando a frequência aumenta.

O acoplamento indutivo direto ilustrado na fig. 40 é muito eficiente, mas também requer acoplamento de alta impedância; conseqüentemente, exige que o excita-

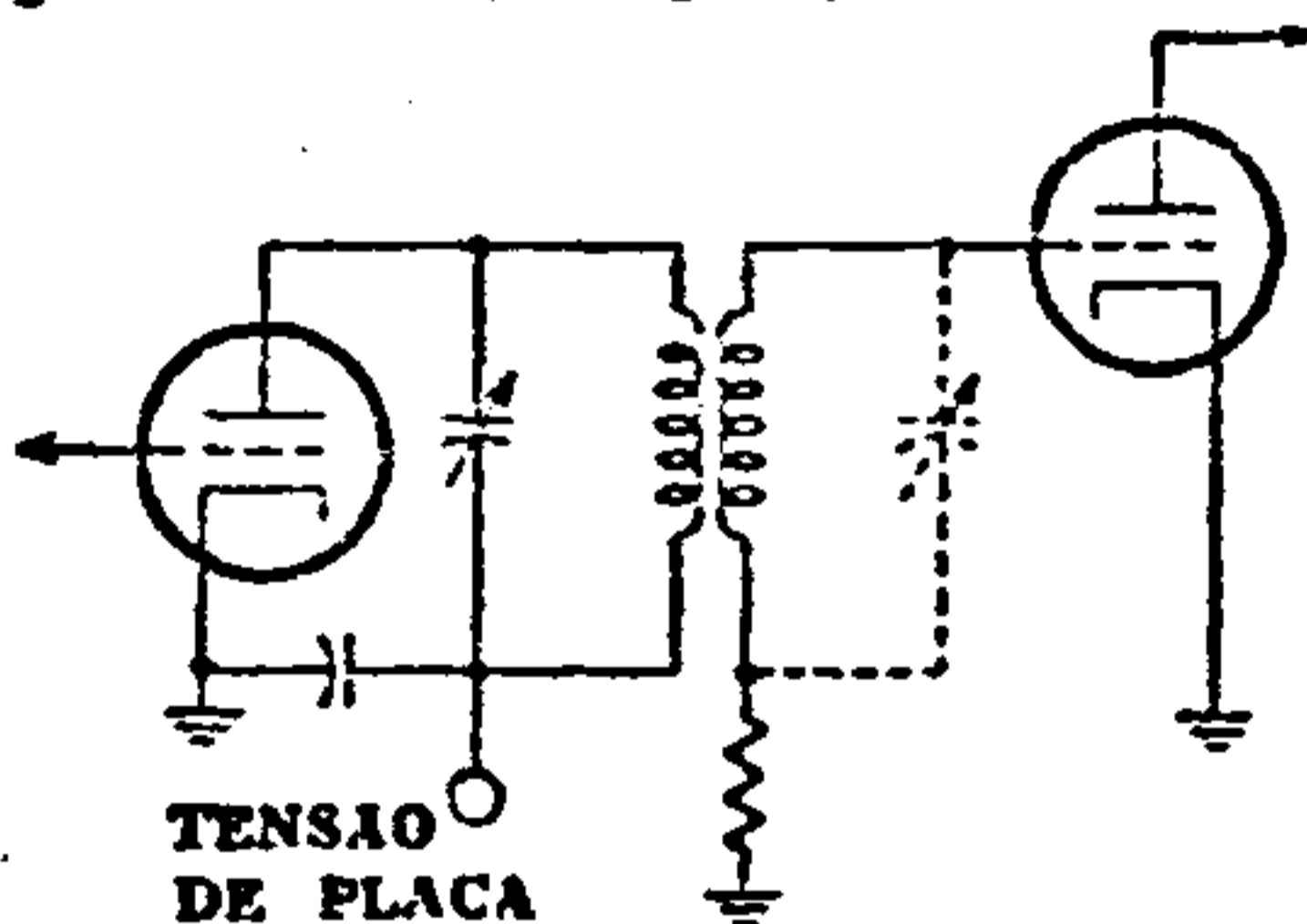


Fig. 40

dor esteja próximo ao estágio excitado. O acoplamento entre os enrolamentos de placa e grade poderá ser fixo ou ajustável. Este último, proporciona os meios convencionais para controlar a carga e a excitação. O acoplamento de grade poderá ser sintonizado ou dessintonizado. Embora o tipo sintonizado ofereça o máximo de eficiência, o controle adicional complica a sintonia e é mais crítico de ajustar.

O acoplamento indutivo indireto ou acoplamento "link" é muito adotado nos equipamentos de RF. Apesar de não oferecer o alto rendimento encontrado no acoplamento direto, permite considerável flexibilidade no projeto do equipamento porque dispensa demasiada

proximidade física entre os estágios acoplados. O acoplamento "link" é especialmente indicado para adoção em equipamentos sujeitos a freqüentes modificações onde a centralização das principais funções de controle se verifica através de um estágio particular ou determinada unidade do equipamento.

Neste método de acoplamento apresentado na fig. 41, idênticas e reduzidas espiras em cada "link" são inoportunamente acopladas à bobina do circuito tanque de placa do excitador e à bobina do circuito tanque de grade do estágio seguinte. Em virtude de sua baixa impedância, estes enrolamentos "link" podem ser ligados juntos por meio de linhas de transmissão apropriadas e de grande extensão com escasso perigo de uma excessiva irradiação ou captação de interferência. Como os "link" são indutivamente acoplados aos circuitos de placa e de grade, tornam-se desnecessário linhas de transmissão conduzindo DC; em conseqüência, são ligados à terra. Tais linhas de transmissão inter-estágios podem ser de qualquer dos vários tipos comercialmente encontrados, tais como: par paralelo, cabo de borracha, fio aberto ou cabo coaxial, segundo os requisitos do circuito. O acoplamento entre os enrolamentos "link" e suas respectivas bobinas do tanque, poderá ser fixo ou ajustável. Os "links" fixos devem ter acopladas suas bobinas de tanque tão próximos quanto possível para assegurar o máximo de transferência de energia. Quando se pretende acoplamento variável, basta que apenas um dos "links" seja ajustável. Os enrolamentos do "links" devem ser sempre acoplados às bobinas do tanque nos pontos RF de potencial mínimo. Nos circuitos tanque simples (sem split), a colocação correta do enrolamento "link" é no extremo da bobina de tanque de placa ligada à alimentação da tensão de pla-

ca ou à terra na extremidade da bobina do tanque de grade. Nos circuitos divididos ou nos circuitos em push-pull, os enrolamentos "link" devem ser acoplados nos centros das respectivas bobinas.

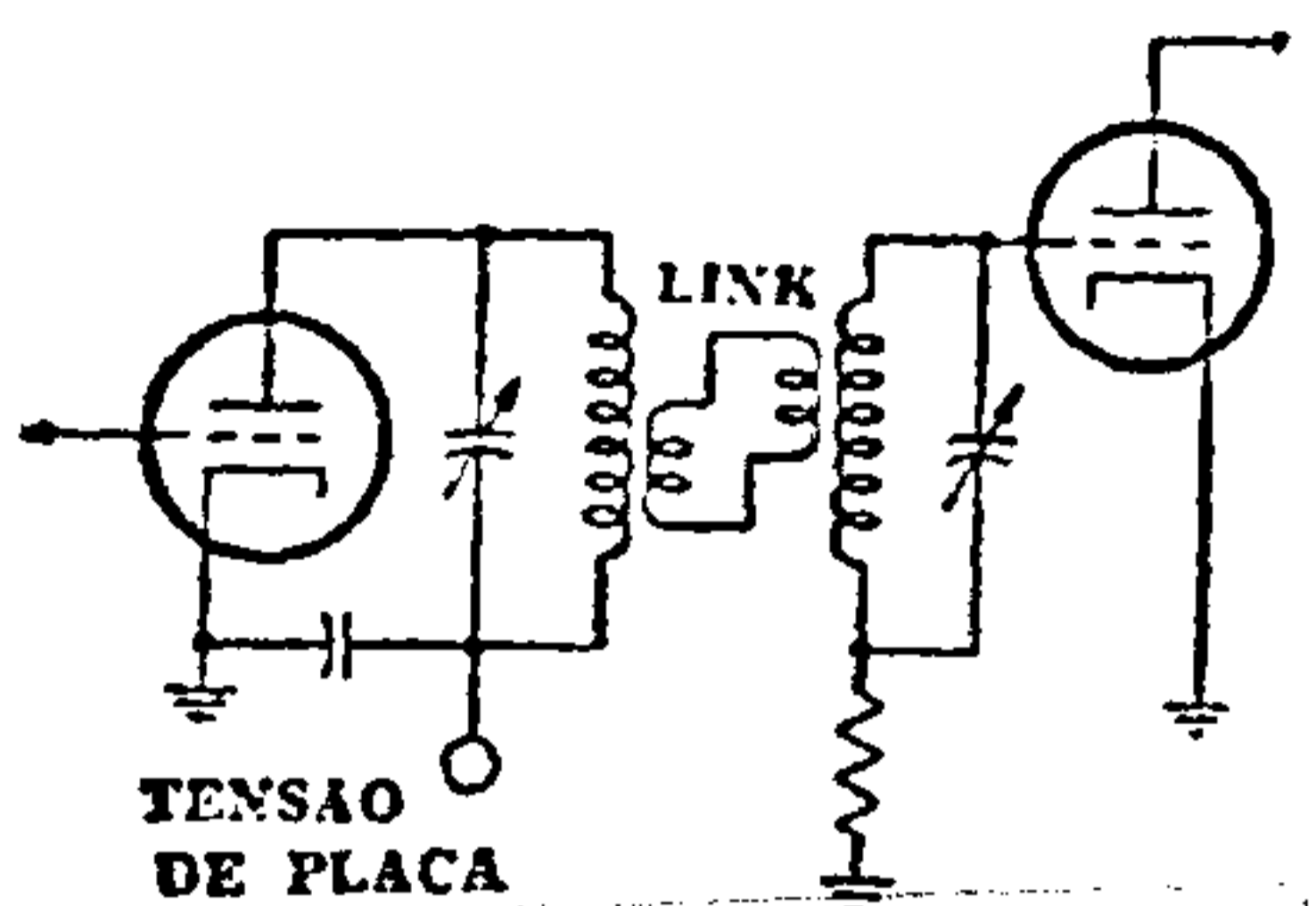


Fig. 41

Tanto o acoplamento indutivo direto como o acoplamento "link" provêm, inerentemente, melhor discriminação contra os harmônicos do que o acoplamento capacitivo.

ACOPLAMENTO DE SAÍDA

Os circuitos de acoplamento de saída devem fornecer, tanto quanto possível, a potência que os alimenta porque aqui não há amplificação subsequente à quaisquer perdas. Como êsses circuitos são geralmente requeridos para trabalhar com antenas de baixa impedância, linhas de transmissão ou outros dispositivos de carga, também devem proporcionar intensas corrente de saída. Em consequência, deverão ser projetados para oferecer a mais alta eficiência possível. Além disso, quaisquer harmônicos presentes à saída do estágio final deverão ser eliminados no circuito de acoplamento de saída de modo que não possam penetrar na antena ou na saída da linha de transmissão.

Considerações de segurança requerem que o lado da carga de um circuito de acoplamento de saída esteja completamente isolado dos circuitos AC e DC de alimen-

tação do equipamento; particularmente da fonte de alimentação de placa do estágio de saída. Em alguns casos, a antena, linha de transmissão ou dispositivo de carga também deve estar isolada da terra.

A acoplamento de saída capacitivo apresenta a vantagem da simplicidade. Também possibilita o casamento de cargas de impedâncias diferentes, mediante a seleção de um adequado ponto de alimentação sobre a bobina do circuito tanque de placa do estágio de saída. Entretanto, não discrimina os harmônicos encontrados à saída do estágio final, podendo criar sérios riscos para a segurança se ocorrer uma tensão de ruptura no capacitor de acoplamento.

Provavelmente, o mais simples e mais conveniente tipo de acoplamento de saída é o acoplamento indutivo. Este tipo, permite rigoroso casamento de impedância à antenas de alta ou baixa impedância, linhas de transmissão ou à outras cargas; e inerentemente discrimina os harmônicos. Em virtude de não exigir capacitores em série, também reduz a possibilidade de rupturas, permitindo, assim, enviar a tensão de placa do estágio de saída através do terminais RF de saída e da carga.

Quando o enrolamento de carga de um circuito de saída indutivamente acoplado está dessintonizado, a relação de espiras entre os enrolamentos de entrada e de saída poderá ser de tal natureza que a própria impedância de cargas se veja refletida no circuito de placa do amplificador final. Esta relação de espiras (primário à secundário) é igual a Z_p/Z_s ; onde Z_p representa a impedância desejada de carga da placa para o amplificador final e Z_s é a impedância da antena, linha de transmissão ou outro dispositivo de carga. A impedância de carga da placa, Z_p , em ohms, poderá ser determinada, aproximadamente, mediante as seguinte relações:

Para amplificadores em classe C sem modulação ou modulados em placa, $Z_p = E_b/2 I_b$; para amplificadores em classe B e amplificadores em classe C, modulados em grade ou grade supressora, $Z_p = E_b/(4I_b)$; onde E_b é o potencial DC de placa, em volts e I_b é a corrente DC de placa, em amperes. Esses valores atribuídos a Z_p correspondem a circuitos de saída simples e desequilibrados. Para circuitos tanque split ou em push-pull, os valores de Z_p determinados por meio dessas relações, deverão ser multiplicados por 4.

ESTABILIZAÇÃO

Qualquer amplificador é capaz de oscilar, se realimentado do circuito de placa para o de grade com suficiente energia com a mesma frequência e a mesma fase da tensão de grade. A realimentação da própria fase para a oscilação (realimentação regenerativa) pode ter lugar através da capacitância grade-placa da válvula ou através do acoplamento capacitivo ou indutivo entre os circuitos de placa e de grade. A quantidade de realimentação necessária para causar a auto-oscilação é inversamente proporcional à sensibilidade a potência do amplificador; por isso é muito menor para válvulas de potência de feixe eletrônico dirigido e outros tipos multigrades do que para triodos. No entanto, em muitos tipos multigrades, a blindagem interna provida pelo screen (grade 2) é tão eficiente que qualquer tendência para a auto-oscilação é geralmente o resultado de uma realimentação externa do que interna. Para assegurar a estabilidade de um estágio amplificador RF multigrade, é essencial que os circuitos de entrada e de saída mantenham-se completamente blindados entre si. Em alguns casos, também poderá ser necessário blindar esses circuitos da válvula.

Em um triodo, a capacitância relativamente grande grade-placa provê uma baixa impedância para a realimentação negativa que não pode ser eliminada mediante uma blindagem externa. No entanto, o efeito desta capacitância poderá ser anulado tomando a tensão do circuito de placa e retornando-a à grade na mesma fase e amplitude, a fim de cancelar a realimentação regenerativa. Esta técnica, conhecida como **neutralização**, também é adotada com válvulas multigrades para garantir sua estabilidade face às rádio frequências mais altas.

A fig. 42 ilustra o método de neutralização mais freqüentemente usado: **neutralização por placa**. Este método emprega um circuito tanque de placa equilibrado com seu ponto médio efetivamente levado à potencial terra RF, de modo a que sejam desenvolvidas através das duas metades do tanque, tensões RF de igual amplitude e oposição de fase. A tensão de neutralização é conseguida da base extrema do

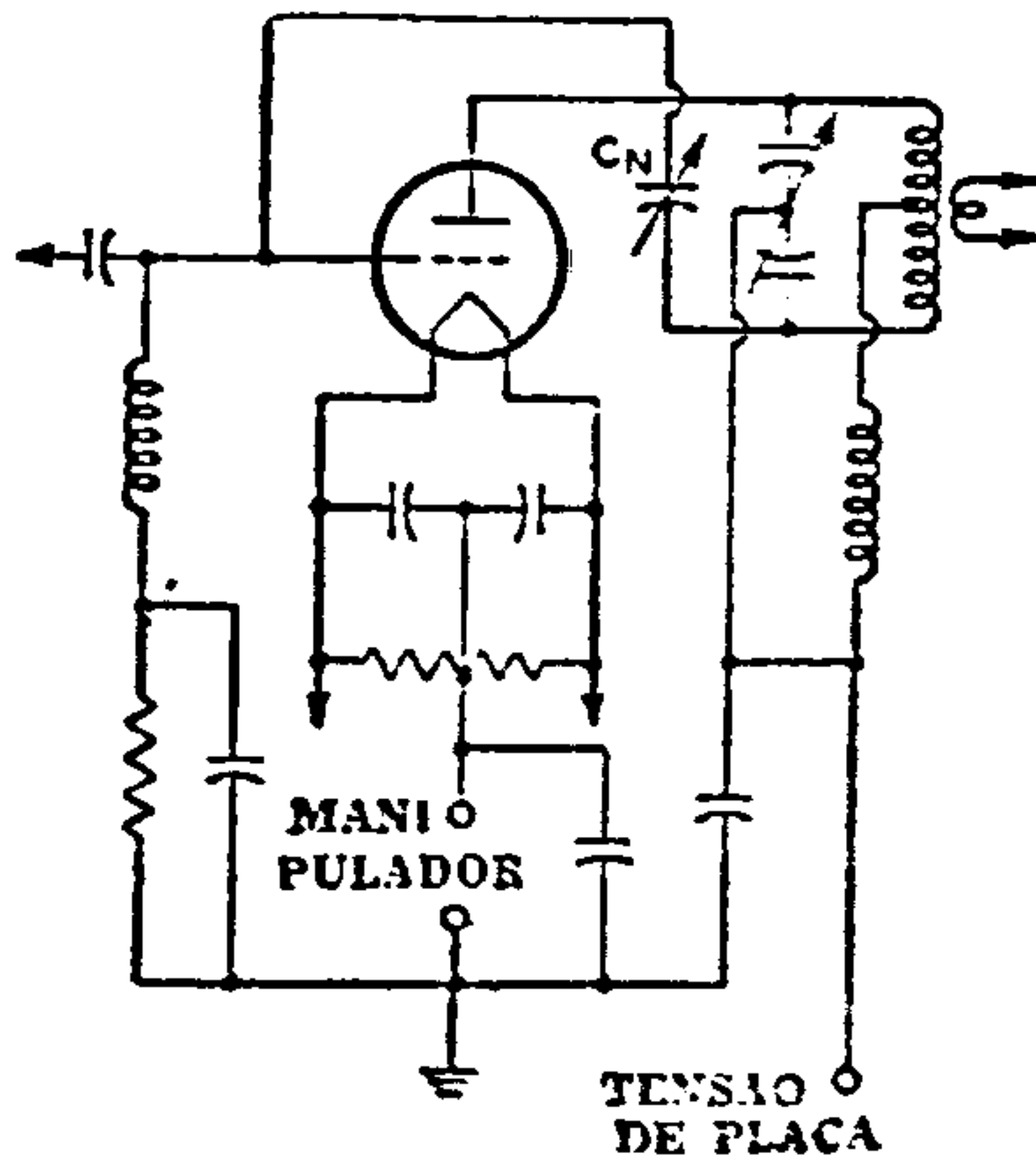


Fig. 42

tanque e aplicada à grade por intermédio do capacitor de neutralização C_n . Embora o valor teórico de C_n seja exatamente igual à capacitância grade-placa da válvula,

o valor verdadeiramente requerido pode variar em virtude das capacitâncias desviadas. Por conseguinte, C_n geralmente é ajustável acima de uma pequena margem de cada lado do valor teórico.

Outro método de neutralização para estágios simples, consiste na **neutralização por grade**, similar à neutralização por placa, exceto no que se refere ao circuito tanque split encarregado de fornecer a tensão de neutralização encontrar-se situado no circuito de grade.

OSCILAÇÕES PARASITAS

As oscilações parasitas, são oscilações que ocorrem num circuito à frequências diferentes da frequência do sinal desejado, seus harmônicos ou de seus sub-harmônicos. Podem ser contínuas ou apenas ocorrerem durante o controle, modulação ou elevação na fonte de alimentação dos circuitos do equipamento.

Como absorvem potência dos circuitos em que têm origem, as oscilações parasitas reduzem a eficiência e o funcionamento da frequência desejada de operação. São também responsáveis pela tensão de ruptura, instabilidades ou defeitos prematuros nas válvulas ou em outros componentes do circuito, criando, com a irradiação de portadoras espúrias e frequências laterais, sérias interferências.

Os parasitas são gerados quando ocorrem, simultaneamente nos circuitos de entrada e de saída de uma válvula, ressonâncias à alguma frequência diferente da frequência de funcionamento normal. Nestas condições, o estágio funciona como um oscilador de placa e grade sintonizados onde a capacitância grade-placa encarrega-se de prover a realimentação. Essas condições simultâneas de ressonância, podem ser criadas nos circuitos de placa e de grade mediante o uso de um circuito de constantes similares (emprego de chokes

idênticos em ambos os circuitos) ou pelas características secundárias das válvulas (quantidades pequenas de capacitância e indutância), componentes do circuito ou condutores do circuito. Os parasitas originados num equipamento multi-estágio devem ser eliminados estágio por estágio. A identificação dos componentes particulares que formam um circuito parasita, requer, amiúde, considerável investigação e acurada experiência. O primeiro passo consiste em distinguir os verdadeiros parasitas da auto-oscilação do estágio em questão, para determinar a frequência ou frequências dos parasitas. Nesse sentido, a excitação do estágio em observação é removida, bem como a do estágio precedente a fim de reduzir a possibilidade de alimentação através da frequência normal de funcionamento ou de um sub-harmônico. O estágio é então operado cerca da metade da tensão de placa e de screen (grade 2) e testada as oscilações.

Uma vez verificada a presença de parasitas e determinada sua frequência ou frequências, os parasitas VHF deverão ser eliminados em primeiro lugar. Geralmente, estes parasitas têm origem em uma ou mais das seguintes fontes:

1) Ligações extensas entre os terminais de grade e placa das válvulas e dos correspondentes circuitos tanque.

2) Circuitos tanque em push-pull empregando capacitores split-stator cujos terminais comuns dos capacitores do tanque não estão com o potencial RF à terra.

3) Ligações extensas ligando capacitores de passagem, particularmente nos circuitos de screen à catodo de válvulas multigrades.

4) Ligações extensas nos circuitos de neutralização.

5) Bobinas do circuito tanque com "taps" (As porções fora de uso dos "taps" das bobinas do tanque, geralmente são causadoras de perturbações nesse sentido devido não estarem carregadas e, em con-

seqüência, constituírem circuitos ressonantes de "Q" muito elevado.

6) Separação inadequada entre os componentes nos circuitos de entrada e de saída do estágio.

Dois métodos poderão ser adotados para reduzir os parasitas nos circuitos ressonantes. No primeiro, as constantes de um dos circuitos envolvidos pelos parasitas são substituídas, a fim de desviar sua freqüência de ressonância. O comprimento das ligações do circuito devem ser reduzidas (ao mínimo, de preferência) ou a posição de uma ligação ou componente, desviada para reduzir sua capacitância. Entretanto, quando se processa tal disposição, a nova freqüência ressonante do circuito deverá ser idêntica a da combinação de elementos do circuito com o resultado da criação de uma nova oscilação parasita.

O segundo método, consiste na inserção de uma carga especial num dos circuitos da válvula (circuito de grade, placa ou catodo), capaz de dissipar, rapidamente, as oscilações parasitas sem afetar apreciavelmente o rendimento do estágio à freqüência desejada. Num circuito com reduzida corrente, esta carga poderá ser um resistor anti-indutivo de valor entre 10 a 100 ohms, insertado diretamente no suporte da válvula. Num circuito com elevada corrente, um pequeno choke de RF (5 a 10 espiras de fio) deverá ser ligado em paralelo com o resistor.

A fig. 43 ilustra uma válvula de potência de feixe eletrônico dirigido num estágio RF devidamente estabilizado com o objetivo de eliminar parasitas. L_g , L_k e L_p representam a indutância distribuída de grade, catodo e placa, respectivamente. C_{gp} e C_{pk} são as capacitâncias grade-placa e placa-catodo da válvula. L_1 , C_1 , L_2 e C_2 constituem os componentes normais do circuito tanque de grade e de placa. As seguintes precauções estabilizadoras estão ilustradas no circuito:

1) O screen (grade 2) é ligado diretamente ao catodo, no suporte da válvula por meio de um capacitor de mica ou cerâmica nunca inferior a 0,002 microfarads mediante ligações externas bem curtas.

2) Como a válvula dispõe de catodo indiretamente aquecido, um resistor anti-indutivo de 25 ohms

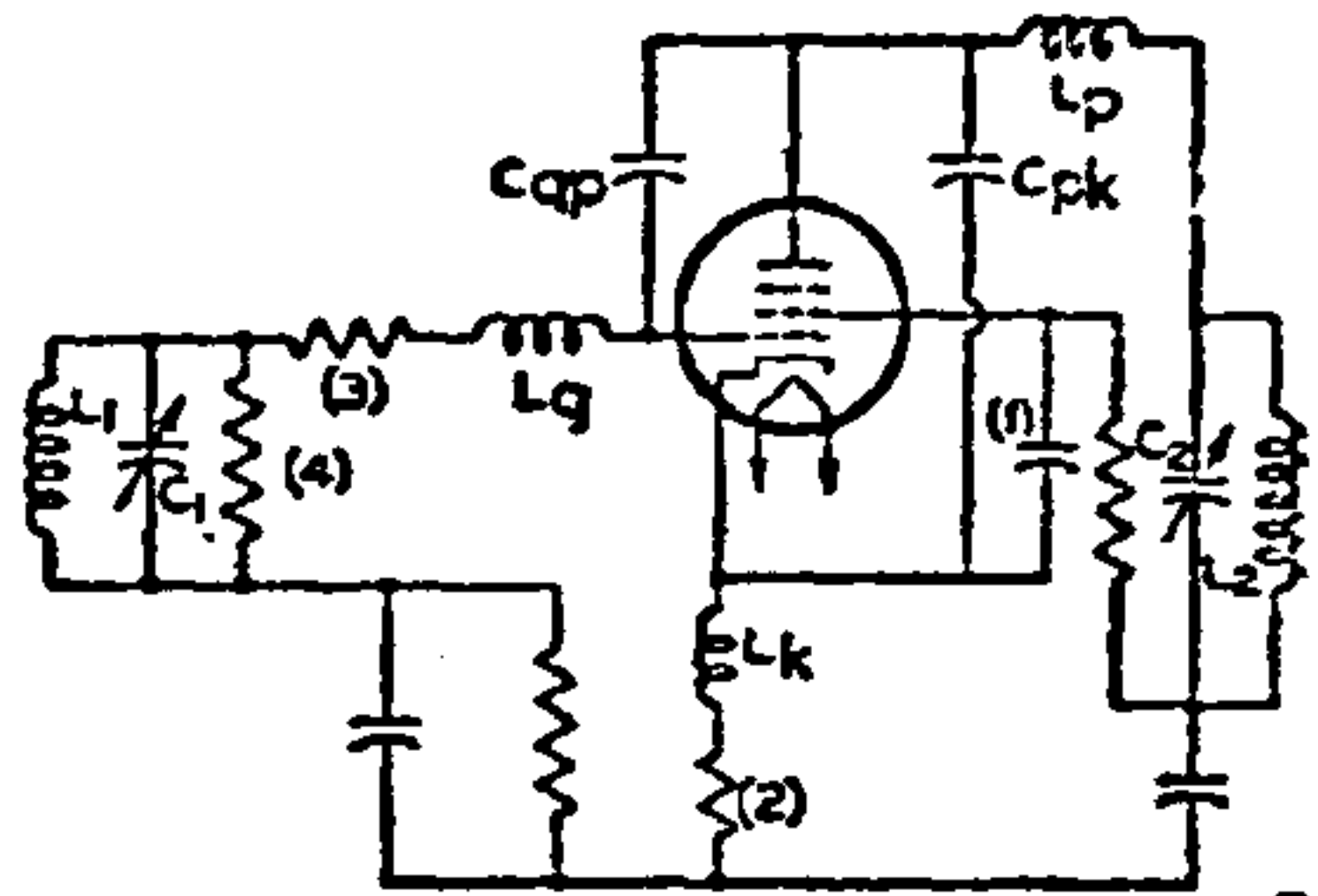


Fig. 43

ou menos é instalado no retorno de catodo, diretamente no suporte da válvula.

3) Um resistor anti-indutivo de 50 ohms ou menos é instalado em série com o circuito tanque de grade, diretamente no terminal do suporte da válvula.

4) O circuito tanque de grade é carregado com um resistor anti-indutivo com um valor entre 5000 e 50000 ohms.

Além das precauções ilustradas no circuito, a tensão de screen é reduzida proporcionalmente, quando a válvula funciona aquém do valor do regime máximo da corrente de placa. Em aditamento, é provida ampla potência de excitação. A corrente e a polarização de grade, se necessário, são aumentadas a fim de prover ampla potência de excitação, sem ultrapassar, porém, os regimes máximos. Uma válvula "saturada" (alimentada com ampla potência de excitação) torna-se imune aos parasitas.

Uma vez eliminados todos os parasitas VHF, a atenção deverá

ser voltada para eliminar os parasitas de frequência baixa. Estes, são geralmente causados por:

1) Uso de chokes de RF em série com ambos os circuitos de grade e placa do amplificador, particularmente quando são adotados chokes idênticos em ambos os circuitos.

2) Condições de ressonância nos circuitos de filtro da fonte de alimentação.

3) Condições de ressonância nos componentes do circuito de modulação.

4) Uso de circuitos de alta impedância RC nos circuitos de alimentação de screen nas válvulas multigrades.

5) Uso de alimentação em paralelo em ambos os circuitos de grade e de placa de uma válvula.

Por outro lado, para a estabilização de estágios individuais em equipamentos com válvulas de potência, também se torna necessário prever acoplamentos indesejáveis e realimentações entre os estágios funcionando à mesma frequência. A estabilização total de equipamentos com multi-estágios, poderá exigir a blindagem individual das válvulas ou de estágios inteiros, uso de filtros e de redes desacopladoras nas ligações da fonte de alimentação de grade e de placa ou outras ligações em circuitos de retorno ou ainda a combinação de ambas as precauções.

CONSIDERAÇÕES SOBRE FONTES DE ALIMENTAÇÃO

Em virtude dos amplificadores RF em classe B ou em classe C funcionarem com tensões, de placa, screen ou polarização (tensões apreciavelmente abaixo do normal) durante certos ajustes de sintonia, deverão ter incorporado em cada estágio meios de reduzir ou remover aquelas tensões independentemente. É também preferível que as tensões de placa, screen e de polarização fixa para os estágios amplificadores indivi-

duais de RF sejam ajustadas até os valores máximos permitidos pelas válvulas de molde ser conseguida a máxima eficiência de funcionamento à uma determinada potência de saída ou frequência.

CÁLCULO DAS CONDIÇÕES DE FUNCIONAMENTO

As únicas restrições sobre os valores de funcionamentos da válvula são aquelas impostas pelos regimes máximos publicados. Quando se tornar necessário ou preferível operar as válvulas com valores diferentes àqueles ilustrados no "Funcionamento Típico" nos dados técnicos publicados, os valores adequados poderão ser encontrados por simples cálculos. Tais valores serão adotados experimentalmente para os devidos ajustes, quando necessário, a fim de assegurar a obtenção da saída desejada e rendimento sem que quaisquer dos regimes máximos sejam excedidos.

Cálculos simples poderão ser efetuados na determinação das condições de funcionamento para qualquer tipo de funcionamento em que a corrente de placa circula aquém do ciclo total do sinal. Poderão ser adotados para triodos e válvulas multigrades em amplificadores classe C (ambos modulados ou sem modulação), para áudio-amplificadores em push-pull classe AB e classe B e para amplificadores lineares em classe B.

Os fatores básicos utilizados nestes cálculos consistem no pico da corrente de placa da válvula e na correspondente tensão de placa instantânea, tensão e correntes de grade. O pico da corrente de placa é determinado pela média da corrente DC de placa e pelo ângulo de condução de placa (fração do ciclo do sinal durante o qual circula a corrente de placa). Para uma determinada corrente DC de placa, o pico da corrente varia inversamente com o ângulo de con-

dução e é igual ao valor DC vezes um fator de conversão, K1, fornecido na Tabela I.

Os correspondentes valores instantâneos das correntes e tensões da outra válvula são obtidos das "Características Médias" encontradas nas curvas da válvula.

los de 90 graus são quase sempre empregados apenas em multiplicadores de frequência, enquanto ângulos de 180 graus, em amplificadores classe AB e B.

A experiência tem mostrado que a maioria das relações satisfatórias entre a potência de saída e o ga-

TABELA I

Angulo de Condução (Graus)	K1	K2	K3	K4	K5
180	3,14	0,785	—	—	0,250
160	3,50	0,825	0,210	1,210	0,224
150	3,75	0,844	0,350	1,350	0,213
140	4,00	0,862	0,520	1,520	0,200
130	4,25	0,880	0,732	1,732	0,187
120	4,60	0,897	1,000	2,000	0,174
110	5,00	0,913	1,345	2,345	0,160
100	5,50	0,927	1,800	2,800	0,145
90	6,10	0,940	2,410	3,410	0,130

A Tabela I também proporciona quatro outros fatores de conversão ou constantes (K2, K3, K4 e K5), usados nesses cálculos. Um sexto fator, K6, que é função da polarização de grade e da tensão de excitação é fornecido na Tabela II. Os valores estabelecidos para as constantes K1, K2, K3 e K4 baseiam-se no uso de sinal com formas de onda senoidais e ângulos de condução entre 90 e 180 graus. Ângulos entre 100 e 160 graus são geralmente adotados em amplificadores classe C "diretos". Ângu-

nho de potência em amplificadores classe C "diretos", consegue-se a um ângulo de condução de 140 graus, aproximadamente. O uso de ângulos de condução maiores, reduz os requisitos da potência de excitação, mas resulta numa apreciável redução na eficiência do circuito de placa. O uso de ângulos de condução menores, tende a aumentar a eficiência do circuito de placa porém torna necessário prover uma potência de excitação apreciavelmente mais alta.

TABELA II

Ec1/Eg1	K6	Ec1/Eg1	K6
0,25	4,67	0,65	6,95
0,30	4,84	0,70	7,52
0,35	5,04	0,75	8,25
0,40	5,26	0,80	9,25
0,45	5,50	0,85	10,70
0,50	5,78	0,90	13,12
0,55	6,10	0,95	18,63
0,60	6,49		

USO DE CURVAS

As características médias das válvulas de potência, usualmente são fornecidas sob a forma de jogos de "famílias" de curvas, como por exemplo aquelas apresentadas na Seção Tipos de Válvulas. As "famílias" separadas de "placas", "grade 1" e "grade 2" fornecidas para a válvula de potência de feixe eletrônico dirigido RCA-6146, são curvas típicas elaboradas para tipos multigrades. As "famílias" combinadas de "placa" e "screen" como aquelas apresentadas na RCA-812-A, geralmente são preparadas para triodos.

As famílias de placa mostram a relação simultânea entre a tensão de placa, tensão de grade e a corrente de placa. Em consequência, usam-se para determinar a tensão efetiva máxima de placa e o pico positivo das correspondentes tensões de grade controle aos valores de pico da corrente de placa, desejados ou calculados. Usam-se também para determinar as tensões de polarização de grade, necessárias à obtenção de valores de-

sejados de silêncio (zero sinal) de corrente de placa, em amplificadores classe A, classe AB e classe B. Além disso, tais valores permitem determinar, graficamente, fatores como a resistência de carga de placa, potência de saída, dissipação de placa e distorção harmônica.

As famílias de grade são adotadas na determinação de corrente nos correspondentes circuitos de grade. À semelhança do pico de corrente de placa, os picos de corrente de grade circulam no instante em que a tensão de grade controle encontra-se a um pico de valor positivo com mínima tensão de placa. Um jogo simples de famílias para uma válvula multigrade, mostra as características da válvula à uma determinada tensão de grade 2 (screen). Caso venha ser usada uma tensão de grade 2 diferente, deverão ser conseguidas curvas de "Características Médias" aproximadas ou os valores consignados nas curvas úteis deverão ser matematicamente convertidos. Um método simples de conversão encontra-se mais adiante.

FUNCIONAMENTO EM TELEGRAFIA, CLASSE C

Válvulas Multigrades

1) Escolher uma tensão de placa (E_b), uma tensão de grade 2 (screen) (E_{c2}) e uma corrente DC de placa (I_b), capaz de prover uma entrada de placa (P_1) no regime máximo da válvula. Selecionar, também, um ângulo de condução inferior a 180 graus (140 graus, de preferência).

2) Usando o valor de K_1 fornecido na Tabela I para o ângulo de condução escolhido, calcular o pico da corrente de placa ($I_{b\text{máx.}}$) como se segue:

$$I_{b\text{máx.}} = K_1 \times I_b$$

3) Determinar a corrente efetiva mínima de placa ($e_{b\text{mín.}}$) e o pico positivo da tensão de grade

1 ($e_{c\text{máx.}}$) da família de curvas de placa para o valor escolhido de E_{c2} e o valor calculado de $I_{b\text{máx.}}$. Para eficiência máxima do circuito de placa e o ganho máximo de potência, ambos $E_{b\text{mín.}}$ e $e_{c\text{máx.}}$, deverão ser tão pequenos quanto possíveis. Entretanto, em virtude de outras considerações, $e_{b\text{mín.}}$ deverá encontrar-se ligeiramente acima e à direita do "joelho" da curva de tensão adequada para a grade 1. O emprego de $e_{b\text{mín.}}$ e $e_{c\text{máx.}}$ abaixo do "joelho" causa excessiva corrente de grade 1 e de grade 2; o uso de valores afastados do lado direito do "joelho", reduz a potência de saída, resul-

tando em excessiva dissipação de placa.

4) Usando o valor de K_2 proporcionado na Tabela I para o ângulo de condução selecionado, calcular a potência de saída (P_o) como se segue:

$$P_o = K_2 \cdot (E_b - E_{b_{\min}}) \cdot I_b$$

5) A dissipação ou perda na placa (P_p) é então fornecida por:

$$P = (E_b \times I_b) - P_o$$

Se este valor exceder o regime máximo de dissipação da válvula, deverá ser necessário recalculá-lo até 5), empregando menor ângulo de condução.

6) Usando os valores de K_3 e K_4 fornecidos na Tabela I, calcular a tensão DC de grade 1 ou polarização (E_{c1}), como se segue:

$$E_{c1} = - (K_3 \times E_{c1\max}) - \frac{K_4 \times E_{c2}}{\mu g_2 g_1}$$

onde $\mu g_2 g_1$ é o fator mu (grade 2 à grade 1) da válvula.

7) O pico RF da tensão de grade 1 (E_{g1}), necessário para excitar a válvula a plena saída é fornecido por:

$$E_{g1} = -E_{c1} + e_{c1\max}$$

8) Determinar o pico da corrente de grade 1 ($i_{c1\max}$) mediante as curvas características de grade para o valor adequado de E_{c2} . (Como o pico da corrente de placa é o pico da corrente de grade 1, circula no instante em que a tensão de placa é igual a $e_{b\min}$. e a tensão de grade 2 é igual a $e_{c1\max}$). Então, utilizando o valor de K_6 fornecido na Tabela II para os valores calculados de E_{c1} e E_{g1} , determinar a corrente DC de grade como se segue:

$$I_{c1} = i_{c1\max} / K_6$$

9) A potência de excitação aproximada (P_d) requerida pelo circui-

to grade-catodo da válvula é então dada por:

$$P_d = 0,9 \times E_{g1} \times I_{c1}$$

(Note-se que o valor de P_d não representa a potência total que deve ser proporcionada pelo estágio excitador, a qual deverá ser suficiente para alimentar as várias válvulas e as perdas nos circuitos, descritas anteriormente).

10) Agora, é necessário calcular a corrente DC da grade 2 (I_{c2}) e a entrada da grade 2 (W_{c2}). Primeiro, determinar o pico da corrente de grade 2 ($i_{c2\max}$) por meio das curvas características da corrente de screen para o valor adequado de E_{c2} . (O valor de $i_{c2\max}$ é determinado pela interseção da coordenada da tensão de placa correspondente a $e_{b\min}$ com a coordenada da tensão de grade

1 correspondente a $e_{c1\max}$). Então, usando o valor de K_5 proporcionado na Tabela I para o ângulo de condução empregado, calcular a corrente DC de grade 2 (I_{c2}) como se segue:

$$I_{c2} = K_5 \times i_{c2\max}$$

A entrada da grade 2 é então dada por:

$$W_{c2} = E_{c2} \times I_{c2}$$

Se este valor de W_{c2} exceder o regime máximo de entrada para a grade 2 fornecido nos dados da válvula, será necessário reduzir E_{c2} ou adotar menor ângulo de condução.

Exemplo

Calcular os valores de funcionamento para a RCA-6146 em Telegrafia, classe C nas condições CCS. Foram selecionados os seguintes valores básicos de funcionamento: $E_b = 600$ volts; $I_b = 112$ miliampères; $E_{c2} = 150$ volts; ângulo de condução de placa = 140 graus.

1) Entrada de placa (P_i) = 600 volts \times 0,112 de amper = 67,2 watts. Este valor está exato no regime máximo CCS de 67,5 watts.

2) Pela Tabela I, K1 para ângulo de condução de 140 graus é 4. Em consequência, o pico da corrente de placa (ibmáx.) = 0,112 de amper \times 4 = 0,448 de amper ou 448 miliamperes.

3) Mediante a família de placa fornecida para a 6146 à figura 44 ($E_{c2} = 150$ volts); o valor adequado para a tensão efetiva mínima de placa (ebmín.) à direita do "joelho" é 70 volts. O correspondente pico positivo da tensão de grade 1 ($E_{c1máx.}$ determinado pelas curvas E_{c1}) para um pico de corrente de placa de 448 miliamperes é aproximadamente + 16 volts.

4) Pela Tabela I, K2 para ângulo de condução de 140 graus é 0,862. Conseqüentemente, a po-

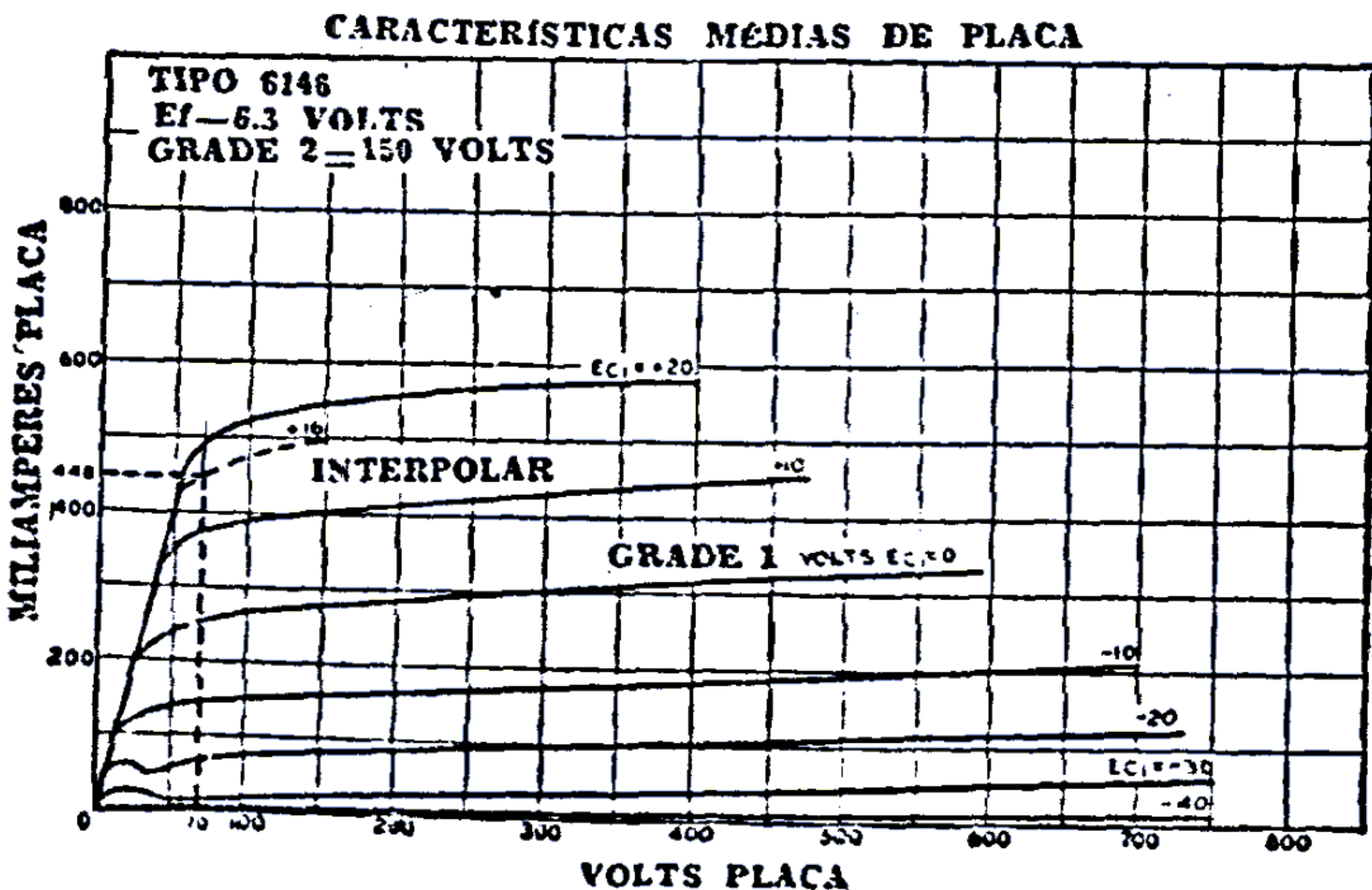
tência de saída (P_o) = 0,862 \times (600 - 70) \times 0,112 = 51 watts.

5) A dissipação de placa (P_p) = (600 \times 0,112) - 51 = 16,2 watts. Este valor está dentro do regime de dissipação máxima de placa da 6146 para Telegrafia, classe C nas condições CCS (20 watts).

6) A tensão contínua de grade 1 ou tensão de polarização (E_{c1}) e o pico RF da tensão de grade 1 (E_{g1}), são calculados em seguida. (Note-se que a tensão de polarização E_{c1} não corresponde à E_{c1} ilustrada nas curvas características, as quais representam a tensão total de grade, isto é, a soma algébrica da polarização E_{c1} e o pico de RF da tensão de grade 1 ($e_{c1máx.}$).) Pela Tabela I, K3 e K4 para ângulo de condução de 140 graus são 0,520 e 1,250, respectivamente. Pelos dados técnicos para a 6146 o fator μ (μ_{g2g1}) é 4,5. Em consequência:

$$E_{c1} = -(0,520 \times 16) - \frac{1,520 \times 150}{4,5} = -8,3 - 50,6 = -58,9 \text{ ou}$$

aproximadamente -59 volts.



7) O pico RF da tensão de grade 1 (E_{g1}) = $-(59)+16 = 75$ volts.

8) Agora, é preciso determinar a corrente DC de grade 1 (I_{c1}). Pelas curvas características médias da grade 1 ilustradas nos dados da válvula ($E_{c2} = 150$ volts) para $e_{b\text{mín.}}$ de 70 volts e $e_{c\text{máx.}}$ de +16 volts, o pico da corrente de grade 1 ($i_{c1\text{máx.}}$) = 28 miliampères.

9) A potência de excitação requerida pela grade (P_d) = \dots
 $0,9 \times 75 \times 0,003 = 0,203$ ou 0,2 aproximadamente.

10) Pelas curvas características da grade 2 ilustradas nos dados da válvula ($E_{c2} = 150$ volts) para $E_b = 70$ volts e $E_{c1} = +16$ volts, o pico da corrente de grade 2 ($i_{c2\text{máx.}}$) = 59 miliampères (aproximadamente).

Pela Tabela I, K5 para ângulo de condução de 140 graus é 0,200. Conseqüentemente, a corrente DC de grade 2 (I_{c2}) = $0,200 \times 0,059 = 0,0118$ de amper ou 11,8 milampères. A entrada de grade 2 (W_{c2}) = $150 \times 0,0118 = 1,77$ ou aproximadamente 1,8 watts. Este valor está compreendido no regime máximo da 6146 (3 watts). Esses valores calculados encontram-se abaixo comparados com os valores para "Funcionamento Típico", fornecidos nos dados técnicos da 6146 em Telegrafia classe C, nas condições CCS como amplificadora até 60 megaciclos.

FUNCIONAMENTO EM TELEGRAFIA, CLASSE C
Triodos

Os cálculos para triodos amplificadores em classe C são idênticos àqueles descritos para válvulas multigrades, exceção à algumas considerações abrangendo a determinação da tensão efetiva mínima de placa ($e_{b\text{mín.}}$) e o pico positivo da tensão de grade ($e_{c\text{máx.}}$), além de se tornar desnecessários os cálculos para entrada de grade 2.

1) Escolher uma tensão de placa (E_b) e uma corrente DC de placa (I_b) capaz de prover uma entrada de placa (P_1) no regime máximo da válvula. Selecionar, também, um ângulo adequado de condução (140 graus, de preferência).

2) Usando o valor de K1 fornecido na Tabela I para o ângulo de condução escolhido, calcular o pico da corrente de placa ($i_{b\text{máx.}}$) como se segue:

$$i_{b\text{máx.}} = I_b \times K1$$

3) Determinar o pico positivo da tensão de grade ($e_{c\text{máx.}}$) e a tensão mínima de placa ($e_{b\text{mín.}}$) para este valor de $e_{b\text{máx.}}$ mediante a família de curvas de placa da válvula. O valor máximo permissível de $e_{c\text{máx.}}$ e o valor mínimo permissível de $e_{b\text{mín.}}$ determinam-se no ponto onde a coordenada horizontal representati-

	Calculado	Publicado
Tensão DC de placa (E_b)	600	600 volts
Tensão DC de grade 2 (E_{c2})	150	150 volts
Tensão DC de grade 1 (E_{c1})	-59	-58 volts
Pico de RF da tensão de grade 1 ($e_{g1\text{máx.}}$)	75	73 volts
Corrente DC de placa (I_b)	112	112 mA
Corrente DC de grade 2 (I_{c2})	11,8	9 mA
Corrente DC de grade 1 (I_{c1})	3	" "
Potência de excitação, aprox. (P_d)	0,2	" "
Potência de saída, aprox. (P_o)	51	" "

va do pico de corrente intercepta a linha "Ec = Eb" (algumas vezes denominada "Linha Diodo"). Geralmente, é preferível que ebmín. seja ligeiramente mais positiva do que ecmáx. Se ebmín. é menor que ecmáx., a grade poderá ser excitada mais positivamente do que a placa, consumindo excessiva corrente e o pico da corrente de placa poderá ser reduzido. Por outro lado, o harmônico de saída do estágio poderá ser grandemente aumentado.

4) Empregando o valor de K2 fornecido na Tabela I, calcular a potência de saída (Po) como se segue:

$$P_o = K_2 \times (E_b - e_{b\text{mín.}}) \times I_b$$

5) A dissipação ou perda de placa (Pp) é então dada por:

$$P_p = (E_b \times I_b) - P_o$$

Se este valor exceder o regime máximo de dissipação de placa da válvula, será necessário recalculá-lo (1) mediante (5) usando ângulo de condução menor.

6) Adotando o valor de K3 proporcionado na Tabela I, calcular a polarização de grade requerida (Ec) como se segue:

$$E_c = - [K_3 \times (E_{c\text{máx.}} + e_{b\text{mín.}}/\mu) + E_b/\mu]$$

onde μ é o fator de amplificação indicado nos dados publicados para a válvula. O pico RF da tensão de grade (Eg) requerido para excitar a grade desde o sinal de polarização até o valor do pico positivo determinado em (3) é dado por:

$$E_g = - E_c + e_{c\text{máx.}}$$

8) Determinar o pico da corrente de grade (icmáx.) mediante as curvas características da corrente de grade. (O valor de icmáx. encontra-se assinalado pela interseção da coordenada da tensão de placa correspondente a ebmín. com a curva da tensão de grade

correspondente a ecmáx.). Então, usando o valor de K6 fornecido pela Tabela II para os valores calculados de Ec e Eg, determinar a corrente DC de grade (Ic) como se segue:

$$I_c = I_{c\text{máx.}}/K_6$$

Se este valor de Ic é maior do que o regime máximo da corrente de grade da válvula, será necessário recalculá-lo empregando valor mais elevado para ebmín.

9) A potência de excitação aproximada (Pd) requerida pela válvula é então dada por:

$$P_d = 0,9 \times E_g \times I_c$$

Exemplo:

Calcular os valores de funcionamento para a RCA-812-A em Telegrafia, classe C nas condições ICAS. A tensão de placa selecionada é 1.500 volts; a entrada de placa é o regime máximo estabelecido para a válvula; e o ângulo de condução de placa é de 140 graus.

1) Pelos dados publicados para a 812-A, 260 watts é a entrada máxima de placa estabelecida. A corrente DC de placa (Ib) a fim de prover essa entrada à uma tensão de placa (Eb) de 1.500 volts é $I_b = 260/1500 = 0,173$ de amper ou 173 miliamperes.

2) Pela Tabela I, K1 para ângulo de condução de 140 graus é 4. Por conseguinte, o pico da corrente de placa (ibmáx.) = $0,173 \times 4,00 = 0,692$ de amper ou 692 miliamperes.

3) As curvas de características médias apresentadas na fig. 45 mostram que um pico de corrente de placa de 692 miliamperes obtém-se a um pico positivo da tensão de grade (ecmáx.) de 118 volts e à uma tensão efetiva mínima de placa (ebmín.) de 140 volts.

4) Pela Tabela I, K2 para ângulo de condução de 140 graus cor-

responde a 0,862. Em consequência, a potência de saída (P_o) = $0,862 \times (1500 - 140) \times 1,73 = 203$ watts (aproximadamente).

5) A dissipação de placa (P_o) = $(1500 \times 0,173) - 203 = 57$ watts (aproximadamente). Este valor está compreendido nos 65 watts do máximo estabelecido para a 812-A em telegrafia, classe C nas condições ICAS.

8) Segundo as curvas das características médias ilustradas na fig. 45, para ecmáx. de +118 volts e ebmín. de 140 volts, o pico da corrente de grade ($i_{c\text{máx}}$) = 195 miliamperes (aproximadamente).

Segundo a Tabela II, K6 para a relação $E_c/E_g=116/234$ ou aproximadamente 0,5 é 5,78. Consequentemente, a corrente DC de grade (I_c) = $0,195/5,78=0,3337$ de

CARACTERÍSTICAS MÉDIAS

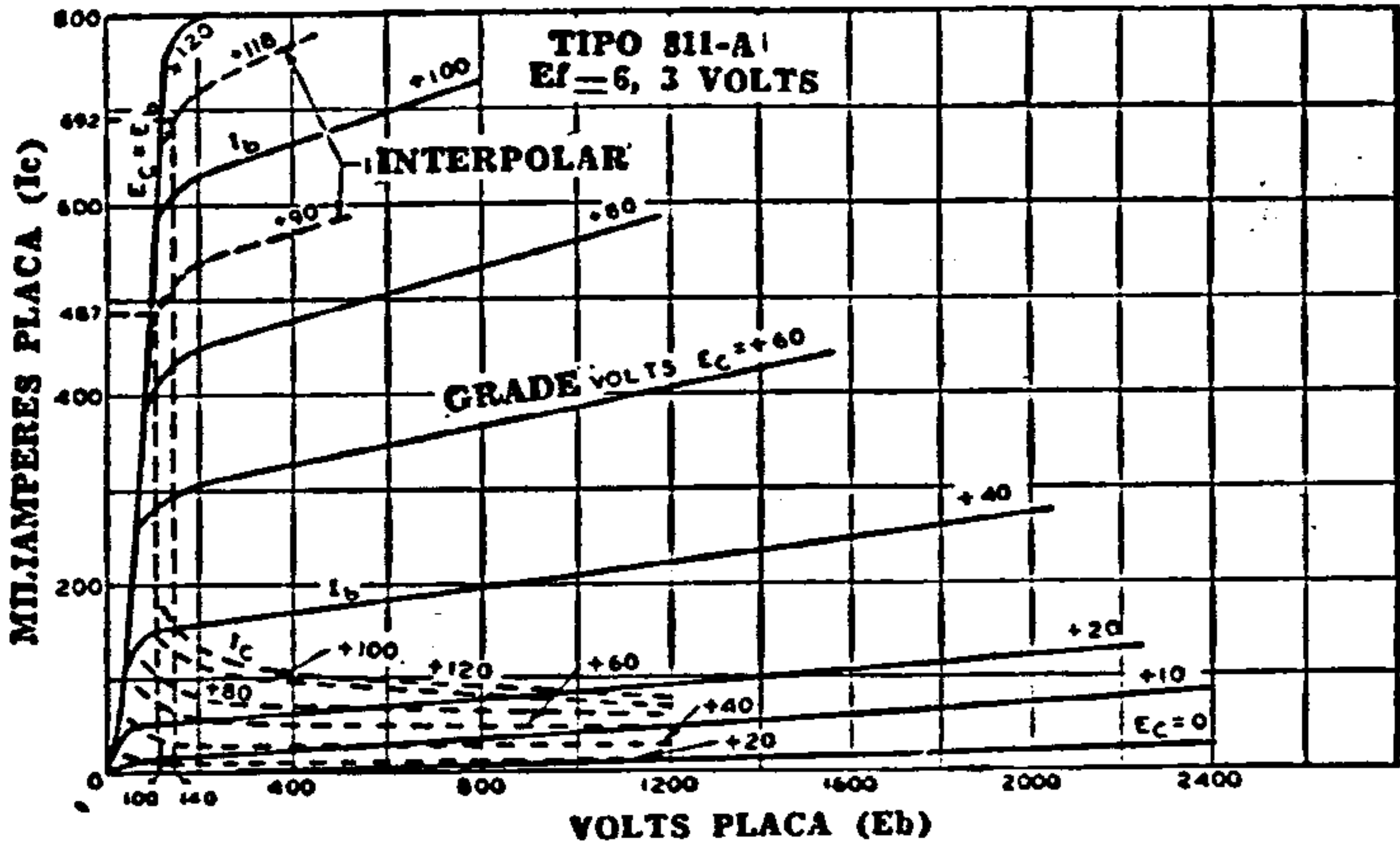


Fig. 45

6) Pela Tabela I, K3 e K4 são 0,250 e 1.520, respectivamente. Pelos dados publicados, o fator de amplificação é 29. Por conseguinte, a tensão DC de grade ou polarização (E_c) = $-[0,250 \times (118 = 140/29) + 1500/29] = -0,520 \times (118 + 4,8) + 52] = -(64+52) = -116$ volts.

7) O pico RF da tensão de grade (E_g) = $-(-116) + 118 = 234$ volts.

amper ou 34 miliamperes aproximadamente.

9) A potência de excitação requerida pela grade (P_d) = $0,9 \times 234 \times 0,034 = 7,2$ watts.

Estes valores calculados encontram-se abaixo comparados com os valores de "Funcionamento Típico" fornecidos nos dados publicados para a RCA-812-A em Telegrafia, classe C sob condições ICAS:

	Calculado	Publicado
Tensão DC de placa (E_b)	1500	1500 volts
Tensão DC de grade (E_c)	-116	-120 volts
Pico RF da tensão de grade (E_g)	234	240 volts
Corrente DC de placa (I_b)	173	173 mA
Corrente DC de grade, aprox. (I_c)	34	30 mA
Potência de excitação, aprox. (P_d)	7,2	6,5 watts
Potência de saída, aprox. (P_o)	203	190 watts

FUNCIONAMENTO EM TELEFONIA, CLASSE C

Placa Modulada

Os valores de funcionamento para os amplificadores em classe C modulados em placa, também podem ser calculados pelo processo descrito acima. Entretanto, como foi anteriormente mencionado, os valores de tensão DC de placa e de entrada DC de placa selecionados para os amplificadores modulados em placa, devem corresponder aos regimes máximos fornecidos nos dados técnicos da válvula para este tipo de funcionamento.

Em geral, consegue-se adequada proteção contra excessiva entrada de placa quando a tensão DC de placa e a corrente de placa não ultrapassam 80% dos valores máximos em telegrafia, classe C. É também preferível adotar ângulo de condução menor do que aquele utilizado em telegrafia, a fim de auxiliar a obtenção de uma modulação linear, como foi anteriormente descrito.

MULTIPLICADORES DE FREQUÊNCIA

Os valores de funcionamento para os multiplicadores de frequência também são calculados obedecendo a descrição acima, com exceção dos valores para as constantes K1, K2, K3, K4 e K5 que são obtidos da Tabela III em vez da Tabela I. Adota-se a seguinte equação para determinar o valor da tensão de polarização de grade para triodos:

$$E_c = -(K_3 \times E_{g\text{máx.}}) + \frac{K_4}{2\mu} (3E_b - e_{b\text{mín.}})$$

TABELA III

	K1	K2	K3	K4	K5
Dobradora	4,60	0,63	1,00	2,00	0,174
Triplícadora	6,90	0,63	3,27	4,27	0,116
Quadruplicadora	9,00	0,63	6,46	7,46	0,089

FUNCIONAMENTO COMO AMPLIFICADOR AF, CLASSE AB E CLASSE B

Os amplificadores de AF em push-pull, classe AB e classe B supõe-se que têm ângulo de condução de 180 graus.

Esta suposição é permissível (mesmo que o verdadeiro ângulo de condução seja ligeiramente superior a 180 graus) devido quaisquer correntes de placa consumidas simultaneamente pelos dois lados do circuito serem efetivamente canceladas no transformador de saída, não aparecendo na forma de onda composta da corrente de placa. Os valores de tensão DC, corrente, entrada e dissipação para os amplificadores AF são calculados por válvula; os valores AC, tais como: potência de saída, tensão de excitação e potência de excitação são calculados para o estágio inteiro.

As cargas do circuito de placa para os amplificadores AF, geralmente são transformadores com núcleo de ferro, os quais não são ajustáveis no mesmo grau como os circuitos tanque ressonantes usados como cargas nos amplificadores RF. Em consequência, a fim de assegurar a carga adequada para um classe AB ou estágio classe B, torna-se necessário calcular a resistência de carga placa-a-placa requerida e dispor de um transformador de saída ou dispositivo de acoplamento capaz de

apresentar esta resistência ao circuito de placa do amplificador, quando ligado à uma carga externa. Como a corrente DC de placa de um amplificador classe AB ou classe B é menor sem sinal e aumenta segundo a amplitude do sinal excitador, também se faz necessário calcular a corrente de

placa (I_{bo} sem sinal e a corrente de placa a máximo sinal ($I_{bmáx.}$). O valor a máximo sinal não deverá ser confundido com o pico da corrente de placa ($i_{bmáx.}$), que é o valor instantâneo mais elevado e igual a $3,14 \times I_{bmáx.}$, no suposto ângulo de condução de 180 graus.

AMPLIFICADORES CLASSE AB2 Válvulas Multigrades

1) Escolher uma tensão de placa (E_b), uma tensão DC de grade 2 (screen) (E_{c2}) e a corrente DC de placa a máximo sinal ($I_{bmáx.}$) capaz de prover um sinal máximo de entrada de placa compreendido nos regimes máximos da válvula. Supõe-se um ângulo de condução de placa de 130 graus.

2) Adotando o valor $K_1 = 3,14$ apresentado na Tabela I para ângulo de condução de 180 graus, calcular o pico da corrente de placa ($i_{bmáx.}$) por válvula, como se segue:

$$i_{bmáx.} = K_1 \times I_{bmáx.} = 3,14 I_{bmáx.}$$

3) Determinar o pico positivo da tensão de grade 1 ($e_{c1máx.}$) e a tensão efetiva mínima de placa ($e_{bmin.}$) mediante as famílias de curvas de placa da válvula para o valor calculado de $i_{bmáx.}$ e o valor escolhido de E_{c2} . Como foi mencionado anteriormente no caso de amplificadores classe C, o melhor compromisso para pontos de posição da eficiência do circuito de placa e sensibilidade a potência, é conseguido quando $i_{bmin.}$ encontra-se ligeiramente à direita do "joelho" da curva adequada da tensão de grade.

4) Adotando o valor de $K_2 = 0,785$ fornecido na Tabela I, calcular a potência de saída (P_o) para o estágio (duas válvulas em push-pull) como se segue:

$$P_o = 2K_2 \times (E_b - e_{bmin.}) \times I_{bmáx.} = 1,57 \times (E_b - e_{bmin.}) \times I_{bmáx.}$$

5) A dissipação de placa (P_p) por válvula é então proporcionada por:

$$P_p = (E_b \times I_{bmáx.}) - P_o/2$$

Se este valor exceder o regime de dissipação máxima de placa por válvula para funcionamento em classe AB2, será necessário recalcular 1) e 5), adotando um pico de corrente de placa menor (e, conseqüentemente, menor corrente DC de placa a máximo sinal) ou menor valor de $e_{bmin.}$

6) A corrente DC de placa sem sinal (I_{bo}) é selecionada por válvula, a fim de prover uma com-

binação de elevada potência de saída com baixa distorção nos harmônicos ímpares. É preferível um baixo valor para I_{bo} para uma elevada potência de saída, mas deverá ser usado um valor acima do "joelho" das características da válvula a fim de reduzir a distorção.

Na maioria dos casos, o valor adequado para I_{bo} é aquele que resulta numa dissipação de placa sem sinal, por válvula, de um terço à metade do valor máximo estabelecido ($P_{pmáx.}$). Para um terço de dissipação máxima, a corrente de placa sem sinal (I_{bo}), por válvula, é proporcionada por:

$$I_{bo} = P_{pmáx.}/(3 \times E_b)$$

7) A tensão DC de polarização de grade 1 (E_{c1}) necessária à ob-

tenção do desejado valor de I_{b0} , poderá, então, ser determinada pela família de curvas de placa a fim de ser encontrado o valor de E_{c2} .

O pico AF da tensão de grade 1 (E_{g1}) (excitadora) requerida para cada válvula é proporcionado por:

$$E_{g1} = -E_{c1} + e_{c1m\acute{a}x.}$$

A tensão excitadora total (E_{g1-g1}) para o estágio, em consequência, é dada por:

$$E_{g1-g1} = 2 \times (E_{g1}) = 2 \times (-E_{c1} + e_{c1m\acute{a}x.})$$

9) A resistência de carga placa-a-placa (R_{1p-p}) requerida para um push-pull classe AB2 ou amplificador AF em classe B é proporcionada por:

$$R_{1p-p} = 1.27 \times (E_b - e_{b\acute{m}n.}) / I_{bm\acute{a}x.}$$

Este valor corresponde a quatro vezes a resistência representada por uma linha de carga consumindo sobre a adequada família de curvas de placa para a válvula desde $i_{bm\acute{a}x.}/e_{b\acute{m}n.}$ até a interseção da tensão de placa (E_b) coordenada com $I_b =$ eixo 0.

10) Determinar o pico da corrente de grade 1 ($i_{c1m\acute{a}x.}$) por válvula, mediante as curvas de corrente de grade 1 fornecidas para a válvula. O valor de $i_{c1m\acute{a}x.}$ está ilustrado na interseção da coordenada $e_{b\acute{m}n.}$ com a curva $e_{c1m\acute{a}x.}$.

11) A potência de excitação requerida a máximo sinal (P_d) pelo estágio push-pull é fornecida por:

$$P_d = i_{c1m\acute{a}x.} \times E_g / 2$$

12) O pico da corrente de grade 2 por válvula ($i_{c2m\acute{a}x.}$) é conseguido das curvas características de grade 2 para a tensão de grade 2 escolhida.

13) Adotando o valor $K_5 = 0,25$ fornecido na Tabela I para ângu-

lo de condução de 180 graus, calcular a corrente de grade 2 a máximo sinal ($i_{c2m\acute{a}x.}$) por válvula como se segue:

$$i_{c2m\acute{a}x.} = K_5 \times i_{c2m\acute{a}x.} = 0,25 i_{c2m\acute{a}x.}$$

14) A entrada máxima do sinal de grade 2 (W_{c2}) por válvula é proporcionada por:

$$W_{c2} = E_{c2} \times i_{c2m\acute{a}x.}$$

Se este valor de W_{c2} exceder o regime máximo estabelecido para a válvula, deverá ser preciso reduzir $e_{b\acute{m}n.}$ ou E_{c2} .

A corrente de grade 2 sem sinal (i_{c20}), geralmente é uma pequena fração da corrente a máximo sinal ($i_{c2m\acute{a}x.}$). Conseqüentemente, apresenta muito pequeno ou mesmo nenhum efeito sobre a entrada máxima de grade 2, deixando de constituir consideração importante.

Exemplo

Calcular os valores de funcionamento para um estágio amplificador AF em push-pull empregando duas válvulas RCA-6146 funcionando em condições ICAS. Os valores básicos de funcionamento são: $E_b = 600$ volts; $E_{c2} = 200$ volts e $I_{bm\acute{a}x.} = 135$ miliampères, por válvula.

1) A entrada de placa, por válvula (P_i) = $600 \times 0,135 = 81$ watts. Este valor está compreendido no regime máximo da 6164 para este tipo de funcionamento (90 watts).

2) Para ângulo de condução de 180 graus, o pico da corrente de placa por válvula ($i_{bm\acute{a}x.}$) = $3.14 \times 0.135 = 0,424$ de amper ou 424 miliampères.

3) Segundo as características médias de placa para $E_{c2} = 200$ volts encontrados nos dados técnicos, o pico positivo da tensão de grade 1, por válvula ($e_{c1m\acute{a}x.}$)

= + 5 volts (aproximadamente) e a tensão de placa efetiva (ebmín.) = 65 watts, aproximadamente).

4) A potência de saída para duas válvulas em push-pull (Po) = $1,57 \times (600 - 65) \times 0,135 = 113,5$ watts.

5) A dissipação de placa, por (Pp) = $(600 \times 0,135) - 113,5/2 = 24,2$ watts.

6) Para um terço do regime de dissipação máxima de placa, a corrente DC de placa sem sinal (Ibo) = $25/(3 \times 600) = 0,0139$ de amper ou 14 miliamperes (aproximadamente), por válvula.

7) Segundo as famílias de curvas de placa para Ec2 = 200 volts, a tensão DC de grade 1 ou polarização (Ec1) requerida para fornecer sem sinal uma corrente de placa de 14 miliamperes, por válvula, a uma tensão de placa de 600 volts, é aproximadamente -51 volts.

8) O pico AF da tensão (excitadora) de grade 1-a-grade 1 (Eg1 - g1) = $2 [-(-51 + 5)] = 112$ volts.

9) A resistência de carga efetiva de placa-a-placa (Rlp-p) =

$$\frac{1,27 \times (600 - 65)}{0,135} = 5033 \text{ ou aproximadamente } 500 \text{ ohms.}$$

10) Segundo as curvas de grade 1 encontradas na Seção Dados Técnicos para Ec2 = 200 volts, o pico da corrente de grade - (ic1máx.) é 8 miliamperes (aproximadamente); para eclmáx. = 5 volts e ebmín. = 65.

11) A potência de excitação requerida para produzir uma potência de saída máxima (Pp) = ... $(0,008 \times 56)/2 = 0,22$ watts.

12) Segundo as curvas de grade 2 para Ec2 = 200 volts encontradas na Seção Dados Técnicos, para eclmáx. + 5 volts e ebmín. = 65 volts, o pico da corrente de grade 2, por válvula (ic2máx.) = 45 miliamperes.

13) A corrente DC de grade 2 a máximo sinal, por válvula, (Ic2máx.) = $0,25 \times 45 = 11,2$ miliamperes.

14) A entrada de grade 2 a máximo sinal, por válvula, (Wc2) = $220 \times 0,0112 = 2,24$ watts. Este valor está compreendido no regime para a 6146 (3 watts por válvula). Esses valores calculados encontram-se comparados abaixo com o mais próximo "Funcionamento Típico" apresentado nos Dados Técnicos da 6146 em classe AB2 e funcionando em condições ICAS.

Valores para duas válvulas

	Calculado	Publicado
Tensão DC de placa(Eb)	600	600 volts
Tensão DC de grade 2(Ec2)	200	190 volts
Tensão DC de grade 1-polar. fixa(Ec1) ..	-51	-48 volts
Pico AF da tensão de grade 1-a-grade 1(Eg1-g1)	112	109 volts
Corrente DC de placa a zero sinal(2Ibo)	27	28 mA
Corrente DC de placa a máximo sinal (2Ibmáx.)	270	270 mA
Corrente DC de grade 2 a zero sinal(2Ic20)	—	1,0 mA
Corrente DC de grade 2 a máximo sinal (2Ic2máx.)	22,4	20 mA
Resistência efetiva de carga(placa-a-placa, Rlp-p)	5000	5000 ohms
Potência excitadora a máx. sinal(aprox., Pd)	0,22	0,3 watt
Potência de saída a máx. sinal(aprox.,Po)	113,5	100 watts

AMPLIFICADORES CLASSE B

Triodos

O cálculo dos valores de funcionamento para estágios em push-pull com triodos em classe B, é substancialmente o mesmo indicado acima para válvulas multigrades em estágios classe AB2, excluídos os cálculos para tensão de grade 2, corrente, entrada ou dissipação.

Exemplo:

Calcular os valores de funcionamento para um estágio modulador em classe B empregando duas RCA-812-A, operando em condições ICAS. A tensão DC de placa (E_b) é 1500 volts e a corrente DC de placa a máximo sinal ($I_{b\text{máx.}}$), por válvula, é 155 miliamperes.

1) Entrada de placa por válvula (P_1) = $1500 \times 0,155 = 232,5$ watts. Este valor é ligeiramente inferior ao do regime máximo de entrada de placa da 812-A, para funcionamento em ICAS (235 watts).

2) Para ângulo de condução de 180 graus, o pico da corrente de placa por válvula ($i_{b\text{máx.}}$) = $3,14 \times 0,155 = 0,487$ de amper ou 487 miliamperes.

3) Segundo as curvas características médias de placa ilustradas na fig. 45, para $i_{b\text{máx.}} = 487$ miliamperes, o pico positivo da tensão de grade ($e_{c\text{máx.}}$) = + 90 volts (aproximadamente) e a tensão efetiva mínima de placa ($e_{b\text{mín.}}$) = 100 volts.

4) A potência de saída para duas válvulas (P_o) = $157 \times (1500 - 100) \times 0,155 = 340$ watts, aproximadamente.

5) A dissipação de placa por válvula (P_p) = $(1500 \times 0,155) - 340/2 = 62,5$ watts. Este valor está compreendido no regime máximo para a 812-A (65 watts).

6) Para um terço do regime máximo de dissipação, a corrente DC de placa sem sinal, por válvula (I_{bo}) = $65/(3 \times 1500) = 0,0145$ de amper — 14,5 miliamperes.

7) Segundo as curvas características de placa ilustradas na fig. 45, a tensão DC de grade ou polarização (E_c) necessária a fim de proporcionar este valor de corrente de placa a uma tensão de placa de 1500 volts, é aproximadamente — 45 volts.

8) O pico AF da tensão de excitação de grade-a-grade requerido para a potência máxima de saída (E_{g-g}) = $2E_g = 2 [(-45) + 90] = 270$ volts.

9) A resistência efetiva de carga de placa-a-placa (R_{lp-p}) =

$$\frac{1,27 \times (1500 - 1000)}{0,155} = 11500$$

ohms(aproximadamente)

10) Segundo as curvas de corrente de grade ilustradas an fig 45, o pico da corrente de grade ($i_{c\text{máx.}}$) para $e_{c\text{máx.}} = +90$ volts e $e_{b\text{mín.}} = 100$ volts é 140 miliamperes, aproximadamente.

11) A potência de excitação necessária para saída máxima (P_d) = $0,140 \times 135)/2 = 9,45$ ou aproximadamente 9,5 watts. Esses valores calculados encontram-se comparados abaixo com os valores de "Funcionamento Típico" para condições ICAS publicados nos Dados Técnicos da RCA-812-A como moduladora em classe B.

Valores para duas válvulas

Calculado

Publicado

Tensão DC de placa(E_b).....	1500	1500 volts
Tensão DC de grade(E_c)	-45	-48 volts
Pico AF da tensão de grade-a-grade(E_{g-g})	270	270 volts
Corrente DC de placa a zero sinal($2I_{bo}$)	29	28 mA

Corrente DC de placa a máximo sinal (2Ibmáx.)	310	310 mA
Resistência efetiva de carga, placa-a-placa (Rlp-p)	11500	13200 ohms
Potência excitadora a máximo sinal, aprox. (Pd)	9,5	6 watts
Potência de saída a máximo sinal, aprox. (Po)	340	340 watts

FATORES DE CONVERSÃO

As condições de funcionamento com valores diferentes daqueles ilustrados nos dados técnicos publicados, são conseguidas mediante o uso do ábaco apresentado na fig. 46, desde que as tensões de to-

dos os eletrodos sejam simultaneamente alteradas na mesma relação. O ábaco inclui fatores de conversão para a corrente (Fi), potência de saída (Fp), resistência de placa ou resistência de carga (Fr) e transcondutância (Fgm) para relações de tensão entre 0,5 e 2,0. Esses va-

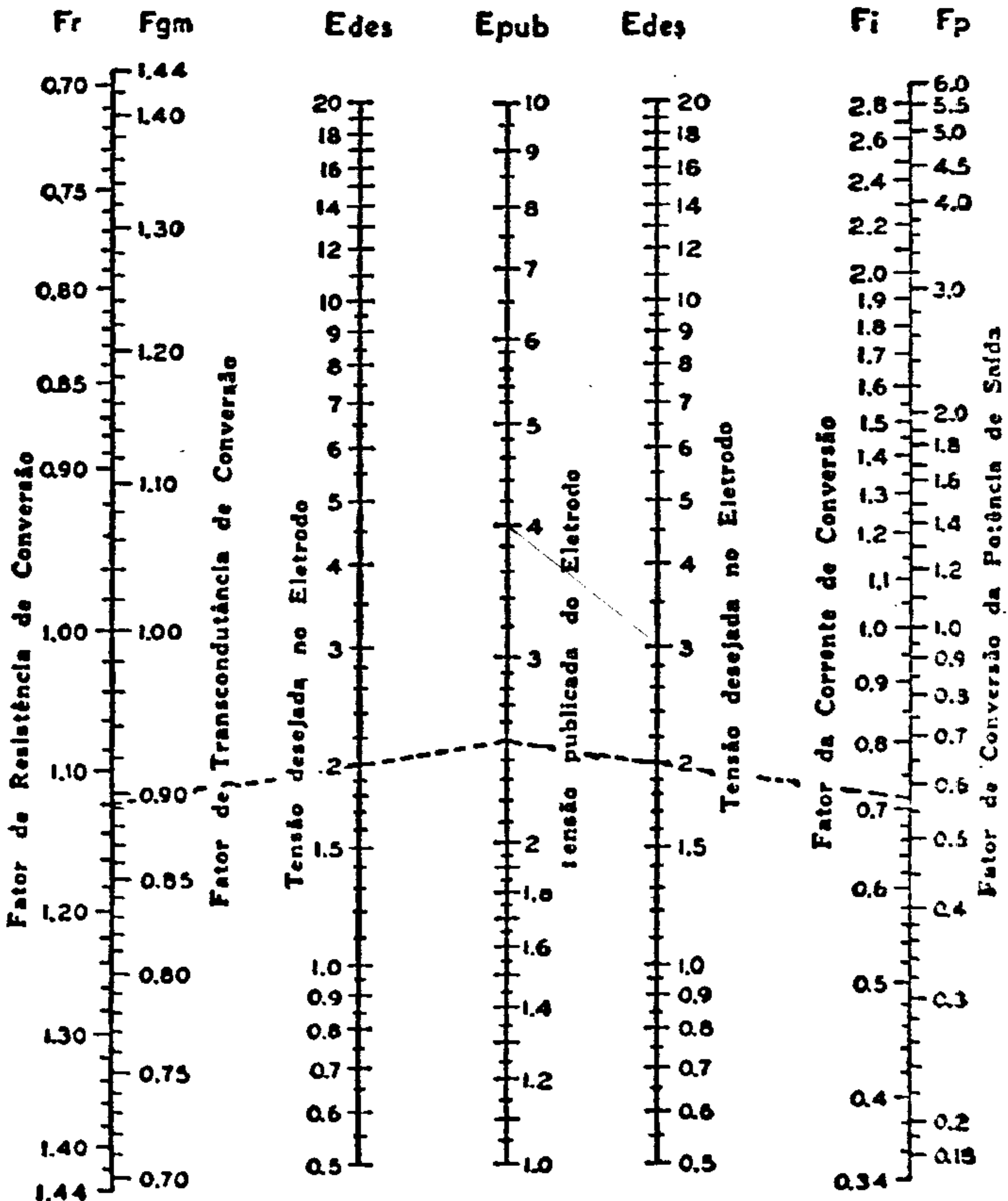


Fig. 46

lores são expressos como funções da relação entre a tensão desejada e a nova tensão para qualquer ~~valor~~ (Edes) e o valor original ou publicado daquela tensão (Epubl.). As relações apresentadas aplicam-se aos triodos e tipos multigrades em tôdas as classe de funcionamento.

Para usar o ábaco, colocãr uma régua intersetando as colunas marcadas Edes e Epubl. nos valores desejados. O fator de conversão desejado deverá, então, ser lido diretamente ou estimado no ponto onde a régua intersetar F_i , F_p , F_r ou F_{gm} , na escala.

Por exemplo: as linhas interrompidas sôbre o ábaco mostram que, para uma relação Edes/Epubl. de 2/2,5 estando todos os catodos com as tensões reduzidas em 20%, F_i é aproximadamente 0,57; F_r é 1,12 e F_{gm} 0,892. Êsses fatores poderão ser aplicados diretamente para os valores de funcionamento ilustrados nos dados técnicos da válvula ou para os valores calculados pelos métodos descritos anteriormente.

Quando é apenas alterada a tensão de um único eletrodo, como por exemplo no cálculo para condições de funcionamento de uma válvula multigrade funcionando com uma tensão de grade 2 não encontrada nas famílias de curvas, o ábaco é utilizado duas vêzes. O processo é apresentado no seguinte exemplo:

Determinar os valores de funcionamento para uma válvula de potência de feixe eletrônico dirigido RCA-6146 em Telegrafia, classe C em seus máximos ICAS estabelecidos: tensão de placa (Eb) e entrada de placa (P1) de 750 volts e 90 watts, respectivamente; e a uma tensão de grade 2 (Ec2) de 160 volts. (A corrente DC de placa Ib da válvulas sob as condições desejadas é de 90 watts/750 volts ou 120 miliamperes).

Como as famílias de curvas não são válidas para um Ec2 de 160

volts, as condições de funcionamento devem primeiro ser calculadas para o valor mais próximo de Ec2, para o qual as curvas encontram aplicação, isto é, 150 volts. Para êste cálculo, os valores escolhidos de Eb e Ib devem ser convertidos nos valores correspondentes para que $Ec2 = 150$. A tensão de placa Eb torna-se 750 x 150

160

ou aproximadamente 703 volts. Empregando os valores dos fatores de conversão conseguidos do ábaco para uma relação de tensão de 150/160, a corrente de placa (Ib) = $F_1 \times Ib = 0,91 \times 120$ ou aproximadamente 109 miliamperes.

Para ângulo de condução de 140 graus, $K_1 = 4$ e o pico da corrente de placa (ibmáx) = $4 \times 109 = 436$ miliamperes.

Segundo a família de curvas de placa da 6146 para $Ec2 = 150$ volts assinalados nos dados da válvula, a tensão efetiva máxima de placa (ebmin.) = 75 volts e o pico positivo da tensão de grade (eclmáx.) = + 15 volts.

Segundo as respectivas famílias de curvas de grade 1 e de grade 2, o pico da corrente de grade 1 (iclmáx.) = 24,5 miliamperes e o pico da corrente de grade 2 (ic2máx.) = 39,5 miliamperes.

Agora, essas tensões e correntes instantâneas devem ser convertidas nos valores correspondentes para o desejado Ec2 de 160 volts. Para a relação de tensão 160/150 ou 1,066, ebmin. = $75 \times 1,066$ ou aproximadamente 80 volts e eclmáx. = $+15 \times 1,066$ ou aproximadamente 16 volts.

Segundo o ábaco, o fator de conversão de corrente F_1 para a relação 160/150 é 1,1. Conseqüentemente, iclmáx. = $24,5 \times 1,1$ ou aproximadamente 27 miliamperes e ic2máx. = $39,5 \times 1,1$ ou aproximadamente 43,5 miliamperes.

Os valores de funcionamento remanescentes poderão, então ser calculados: potência de saída (Po)

$$= K2 \times (Eb - ebmin.) \times Ib = 0,862 (750 - 80) \times 0,120 = 69,3 \text{ watts.}$$

$$\text{A tensão DC de grade 1 ou polarização } (Ec1) = - (K3 \times ec1\text{máx.}) - \frac{K4 \times Ec2}{g2g1} = - (0,52$$

$$\times 16) - 1,52) = - 1,52 (160/4,5 \text{ ou aproximadamente } - 62 \text{ volts.}$$

$$\text{O pico RF da tensão de grade 1 } (Eg1) = -(-62) + 16 = 78 \text{ volts}$$

Segundo a Tabela II, a constante $K6 = 9,15$, aproximadamente, para uma relação $Ec1/Eg1$ de $62/78$ ou $0,95$. Conseqüentemente, a corrente DC de grade 1 ($Ic1$) = $27/9,15$ ou aproximadamente 3 miliamperes.

A corrente DC de grade 2 ($Ic2$) = $K5 \times ic2\text{máx} = 0,2 \times 43,5$ ou $8,7$ miliamperes. A entrada DC de grade 2 ($Wc2$) = $160 \text{ volts} \times 0,0087$ amperes ou aproximadamente $1,4$ watts.

Êsses valores calculados encontram-se comparados abaixo com os valores publicados em "Funcionamento Típico" para a 6146 em Telegrafia, classe C em condições ICAS.

	Calculado	Publicado
Tensão DC de placa (Eb)	750	750 volts
Tensão DC de grade 2 ($Ec2$)	160	160 volts
Tensão DC de grade 1 ($Ec1$)	-62	-62 volts
Pico RF da tensão de grade 1 ($Eg1$)	78	79 volts
Corrente DC de placa (Ib)	120	120 mA
Corrente DC de grade 2 ($Ic2$)	8,7	11 mA
Corrente DC de grade 1 ($Ic1$)	3	3.1 mA
Potência de excitação, aprox. (Pd)	0.21	0.2 watt
Potência de saída, aprox. (Po)	69,3	70 watts
Potência de entrada de placa (Pi)	90	90 watts
Dissipação de placa (Pd)	21	20 watts
Entrada de grade 2 ($Wc2$)	1,39	1,76 watts

Como êste método para conversão de características é aproximativo, a exatidão do ábaco decresce progressivamente à medida que a relação $E_{des}/E_{publ.}$ afasta-se da unidade. Em geral, os resultados são corretos, quando o valor da relação $E_{des}/E_{publ.}$ está entre 0,7

e 1,5. Acima dêsses limites, a exatidão decresce rapidamente e os resultados devem ser considerados aproximados.

O ábaco não considera os efeitos de potencial de contato ou emissão secundária das válvulas. Em virtude dos efeitos de potencial de contato serem perceptíveis apenas à tensões muito pequenas de grade 1 (polarização), tornam-se, geralmente, despercebidos nas válvulas de potência. A emissão secundária poderá ter lugar em tetrodos convencionais, se a tensão de placa flutuar abaixo da tensão de grade 2. Conseqüentemente, os fatores de conversão apresentados no ábaco, aplicam-se a tais válvulas somente quando a tensão de placa é superior à tensão de grade 2. Como a emissão secundária também pode ocorrer em determinadas válvulas de potência de feixe eletrônico dirigido à valores muito inferiores de corrente e de tensão de placa, os fatores de conversão ilustrados no ábaco não se aplicam quando essas válvulas funcionam sob tais condições.

AJUSTE E SINTONIA

Via de regra, os equipamentos de AF não requerem sintonia ou ajustes preliminares, senão aqueles necessários a obtenção do equilíbrio da corrente de placa no push-pull. Os ajustes subsequen-

tes de operação de ganho ou nível do sinal de entrada e de tonalidade ou resposta de frequência, geralmente são efetuados sem auxílio de equipamento auxiliar.

No entanto, a sintonia e o ajuste de funcionamento em equipamentos de RF de potência são numerosos e complexos, requerendo o emprego de instrumentos para esta medição da frequência, corrente DC de grade, tensão e corrente DC de placa e tensão DC de screen (grade 2) e corrente nas válvulas multigrades. Outro equipamento necessário ou de inclusão vantajosa consiste num oscilador grid-dip para sintonia preliminar dos circuitos tanque ressonantes e ajustes de neutralização; uma "carga fictícia" (uma lâmpada incandescente ou resistor anti-indutivo com adequado regime de resistência e wattagem) usada para absorver a potência de saída do estágio final de modo a que as frequências espúrias ou outros sinais inconvenientes que venham a ser gerados durante os ajustes iniciais não sejam irradiados pelo sistema de antena ou carga; simples indicadores de RF como uma pequena lâmpada neon ou uma pequena lâmpada piloto conectada à uma ou duas espiras de fio; e simples dispositivos para medição aproximada da frequência como por exemplo ondamentos do tipo de absorção. Um osciloscópio de raios catódicos é também muito indicado para auxiliar o ajuste adequado de transmissores de radiotelefonia, televisão e fac-simile.

Em virtude de um estágio classe C consumir excessiva corrente de placa, se funcionar, ainda que momentaneamente, com o circuito tanque de placa inadequadamente sintonizado, todos os demais circuitos tanque de placa devem ser sintonizados às suas frequências de oscilação aproximadas (com a ajuda de um oscilador grid-dip), antes de ser iniciado os verdadeiros ajustes. No decorrer deste processo de sintonia preliminar, todas as

alimentações de placa, screen e polarização de grade devem ser desligadas, mas todas as válvulas e componentes dos circuitos devem permanecer nos respectivos lugares as tensões normais de filamento ou calefator deverão ser aplicadas às válvulas, a fim de assegurar que a capacitância e indutância dispersiva de cada estágio seja aquela presente durante o funcionamento.

PROCESSO DE SINTONIA

A sintonia e ajuste de um equipamento de RF principia no oscilador ou estágio de entrada prosseguindo através dos sucessivos estágios de modo acompanhar todo processo seguido pelo sinal de RF. O processo empregado na sintonia de estágios em classe C é geralmente idêntico para todos os tipos de circuito e tipos de válvulas. Conseqüentemente, o processo descrito abaixo para sintonizar um estágio amplificador RF, aplica-se também aos multiplicadores de frequência. Supõe-se que o amplificador tenha sido convenientemente neutralizado, se necessário, pelo método apontado mais adiante; que o estágio precedente ou excitador tenha sido adequadamente sintonizado e em condições de proporcionar plena saída à frequência desejada.

1) Assegurar que toda alimentação do equipamento encontra-se desligada.

2) Desligar todos os terminais de alimentação a partir do amplificador e dos seguintes estágios: placa, screen e grade supressora.

3) Se adotado acoplamento variável entre o excitador e o amplificador, ajustar o acoplamento em cerca de sua metade.

4) Aplicar apenas tensão normal de filamento ou de calefator ao amplificador e todas as tensões normais de funcionamento ao excitador.

5) Sintonizar rapidamente à ressonância, o circuito excitador de placa, assinalado por uma depressão na corrente de placa de exci-

tação, conforme ilustra a fig. 47 e mediante a corrente máxima de grade, no estágio amplificador. Se o amplificador dispõe de um circuito de grade sintonizado, este também deverá ser sintonizado à ressonância (assinalado por um aumento na corrente de grade do amplificador).

6) Aumentar o acoplamento entre o excitador e o amplificador, tendo o cuidado de não exceder a corrente máxima de grade permitida para a válvula ou válvulas amplificadoras. Deverá ser possível obter a integral corrente de grade estabelecida para o estágio amplificador, sem sobrecarregar o excitador (a sobrecarga é assinalada por uma excessiva corrente excitadora de placa, à ressonância).

7) Resintonizar o circuito de placa do excitador (e o circuito de grade do amplificador) à ressonância. Este processo deve ser sem-

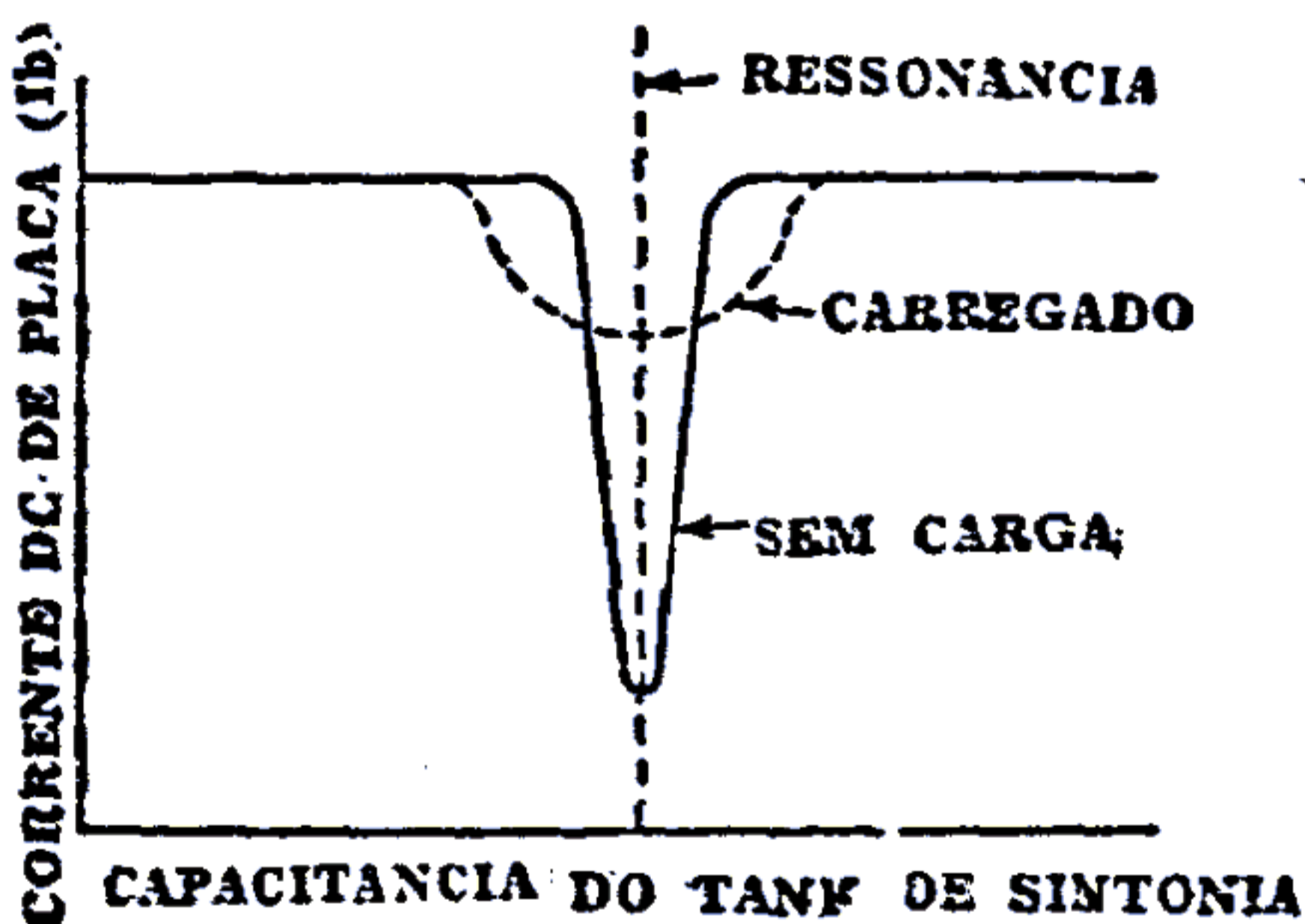


Fig. 47

pre efetuado após qualquer alteração no acoplamento ou carga, a fim de compensar os efeitos normais de dessintonia provocados por tais alterações.

8) Experimentar alguma fonte de polarização fixa no amplificador e efetuar qualquer alteração ou ajustes necessários ao circuito, a fim de assegurar que as tensões de placa, screen e grade supressora do amplificador não ultrapassem 50% de seus valores normais.

quando aplicados. Desligar a carga externa do circuito tanque de placa do amplificador; ou, na impossibilidade desta alteração, reduzir ao mínimo o acoplamento entre o amplificador e a carga externa. Se a carga para o amplificador consiste em outra válvula, removê-la de seus suporte.

9) Aplicar as tensões de placa, screen e grade supressora (50% dos valores normais) ao amplificador mas não a quaisquer estágios seguintes, sintonizando, à ressonância, o circuito de placa do amplificador. Quando um amplificador está funcionando sem uma carga ligada ao seu tanque de placa, geralmente a corrente de placa cai entre 10% a 20% em ressonância do valor normal à plena carga. O valor absoluto da corrente de placa sem carga, depende do "Q" do circuito tanque de placa, tipo de polarização adotada, tensão RF de excitação; não sendo considerada como indicação da eficiência do amplificador.

Se a corrente de placa de um triodo sem carga não cair normalmente, a anomalia pode residir numa excitação de grade inadequada, excessivas perdas no circuito tanque ou neutralização inadequada. Se o circuito tanque de placa de qualquer amplificador em classe C não poder ser sintonizado à ressonância, a indutância ou capacitância do circuito tanque, ou ambas, deverão ter seus valores aumentados ou diminuídos, conforme o circuito estiver estabelecido para sintonizar frequência mais alta ou mais baixa daquela desejada. Um ondamento do tipo absorção é muito indicado para tais ajustes.

Se ocorrer centêlhas no capacitor do tanque de placa durante os ajustes de sintonia, religar a carga ao circuito de saída do amplificador e ou aumentar o acoplamento entre o amplificador e a carga até a tensão RF mostra-se suficientemente reduzida, de molde cessar as centêlhas.

10) Ligar a carga externa ao tanque de placa do amplificador. (Se esta medida foi anteriormente assegurada a fim de evitar centêlhas, aproximar mais o acoplamento de carga). Quando a carga é aplicada ou o acoplamento de carga aumentado, há uma elevação na corrente de carga do amplificador. Resintonizar a ressonância o tanque de placa do amplificador, após cada alteração no acoplamento. A corrente de placa do amplificador deve manter uma inclinação constante à ressonância, porém seu valor mínimo deverá ser consideravelmente mais elevado do que aquele sem carga, conforme ilustra a curva pontilhada da fig. 47.

11) Aplicar ao amplificador as tensões integrais de placa, screen e grade supressora. Aumentar o acoplamento entre o amplificador e a carga, resintonizando à ressonância o tanque de placa do amplificador tantas vezes quantas às necessárias, até que a corrente de placa tenha o valor desejado. Em nenhum caso, deve a entrada de placa (produto da tensão DC de placa pela corrente DC de placa) exceder o valor máximo estabelecido nos regimes da válvula para o tipo de funcionamento em questão.

Devido a corrente DC de grade de um amplificador diminuir quando aumenta a carga no amplificador, a corrente de grade deverá ser medida após cada alteração na carga ou acoplamento de carga até que seja assegurado não haver queda apreciável abaixo do valor normal ou desejado. Caso contrário, a causa reside na excitação de grade insuficiente ou excessiva polarização de grade.

AJUSTES DE NEUTRALIZAÇÃO

O processo usado para a neutralização de amplificadores de RF é o mesmo independente dos circuitos de neutralização ou tipos de válvulas utilizados. As condições

adotadas de funcionamento da válvula são similares àquelas empregadas para a sintonização preliminar dos circuitos tanque de placa, com a diferença que é aplicada ao estágio que está sendo neutralizado, excitação à mais elevada frequência de funcionamento.

1) Assegurar que toda a alimentação do equipamento seja desligada.

2) Desligar todos os terminais positivos de alimentação de placa, screen e grade supressora para o amplificador e para todos os estágios que se seguem. Ajustar, ao máximo, o acoplamento entre o excitador e o amplificador, acoplando à bobina do tanque de placa do amplificador um sensível indicador de RF. Como simples indicador satisfaz plenamente um medidor de RF conetado a uma ou duas espiras de fio ou um voltmetro a válvula equipado com um adequado retificador para proporcionar indicações mais exatas, particularmente no que se refere aos ajustes finais.

3) Aplicar tensão normal de filamento ou calefator no amplificador, todas as tensões para o funcionamento normal do excitador e sintonizar à ressonância o circuito de placa deste.

4) Sintonizar a ressonância o circuito tanque de placa do amplificador (assinalado pelo brilho máximo da lâmpada ou leitura máxima verificada no indicador de RF). Ajustar o capacitor de neutralização até que o indicador de RF apresente o mínimo de brilho.

5) Resintonizar a ressonância, cuidadosamente, o circuito tanque de placa do amplificador. Agora, o indicador de RF deverá assinalar uma nova leitura máxima, porém apreciavelmente menor do que a leitura original. Ajustar outra vez o capacitor de neutralização para uma leitura mínima no indicador de RF. O circuito tanque de placa do excitador deverá ser testado, se necessário, resintonizado a ressonância, durante esses ajustes.

Repetir 5) até ser encontrado para o capacitor de neutralização uma posição capaz de não indicar presença de tensão de RF no circuito de placa do amplificador. Nas proximidades desse ponto, provavelmente deverá ser preciso aumentar o acoplamento entre o indicador de RF e o circuito tanque de placa do amplificador, a fim de obter-se as indicações adequadas. Um estágio considera-se convenientemente neutralizado quando o indicador de RF assinalar, à máximo acoplamento, zero.

Para neutralizar um amplificador push-pull, ambos capacitores poderão ter idêntica posição no ponto de neutralização completa, devido não só ligeiras diferenças encontradas na válvula como também a perdas de capacitância no circuito, além dos circuitos tanque split serem quase sempre simétricos.

Um miliamperímetro ligado ao circuito de retôrno de grade de um amplificador, também poderá ser adotado como indicador muito sensível aos ajustes de neutralização. O amplificador é operado sem tensão de placa, screen ou grade supressora e suficiente excitação de RF é aplicada para produzir um valor normal de corrente de grade. Se o amplificador não estiver convenientemente netralizado, a corrente de grade variará quando sin-

tonizar-se a ressonância o circuito tanque de placa. Então, o capacitor de neutralização deverá ser ajustado suavemente; enquanto é retocada a sintonia do circuito tanque de placa do amplificador. Dada a proximidade do ponto de ressonância, decrescem as variações no circuito de grade. Quando o amplificador encontra-se completamente neutralizado e sintonizado à ressonância, o medidor de corrente de grade não acusa a mínima variação.

Em alguns casos, o ajuste do capacitor de neutralização poderá não eliminar totalmente a RF realimentada. Esta dificuldade, geralmente indica perdas no acoplamento entre o amplificador e os tanques de placa do excitador ou perdas de capacitâncias em várias partes do amplificador com tendência a desequilibrar o circuito de neutralização. Uma blindagem adequada entre o excitador e o amplificador e entre os circuitos de grade e placa do amplificador, geralmente elimina esta dificuldade.

A anomalia também poderá ter origem num estágio com capacitor-tanque split-stator, quando a ligação à massa do capacitor não é efetuada bem curta ao ponto de retôrno de catodo do estágio.