

Calculos para classe B em Audio

Trad. de EDUARDO KURY, PYIKR

Devido a relativamente baixa potência de saída dos amplificadores classe A e também ao fato de que a dissipação de placa nos mesmos é máxima quando não há sinal de excitação, a eficiência destes amplificadores é muito baixa. Quando considerável potência de áudio é necessária, o tamanho das válvulas e custo da fonte de alimentação de placa crescem de tal modo, que estes amplificadores raramente são usados.

A excitação de grade nos amplificadores classe A, é usualmente limitada pela região negativa da polarização da mesma, porque em geral se a região positiva fôr alcançada pelo sinal de excitação, teremos muita distorção na saída.

De acordo com a teoria de funcionamento dos amplificadores classe B, a polarização de grade nestes amplificadores é tal que a corrente de placa é reduzidíssima, em ausência de sinal, tendo por consequência uma dissipação de placa muito pequena. Deste modo o amplificador classe B é o mais eficiente de todos os amplificadores usados em áudio frequência, funcionando com uma eficiência de 65 a 70 % à máxima potência, com a maioria das válvulas. Apesar de serem necessárias duas válvulas em *pushpull* para a operação em classe B, somente uma válvula fornece energia para a carga, de cada vez; desta maneira, a curva de placa de uma só válvula dará para fazer os cálculos relativos a estes amplificadores.

Na fig. 1 temos a curva de placa de uma válvula tipo T-20. A carga normal de placa, destas válvulas, é de 12 000 ohms para uma saída de 70 watts, com 800 volts em placa. Em classe B, a resistência de placa de uma válvula é igual a um quarto da resistência de carga total de placa a placa; no caso acima, será de 3 000 ohms e corresponde à linha AB, na mesma figura. Sendo a

válvula operada a 800 volts, a linha de carga corta a abscissa a 800 volts e o ponto de interseção na ordenada é:

$$\frac{800}{3\ 000} \text{ ou } 0.266 \text{ A (266 mA).}$$

Na realidade esta linha AB é a relação entre a queda através da carga e a queda na válvula. Desde que a queda

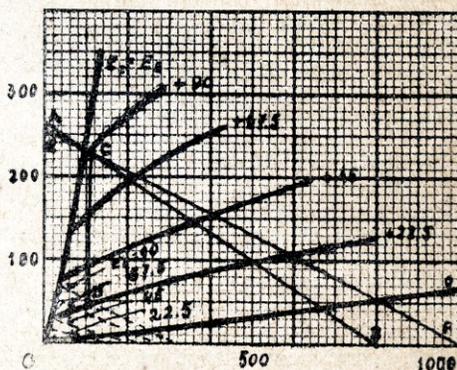


Fig. 1

na válvula seja pouca e, conseqüentemente, a eficiência grande, é necessário operar na região positiva. Desta maneira, no cruzamento da linha de carga e da curva +45, vê-se que a queda na válvula é aproximadamente 350 volts e a queda através da carga é somente de 450 volts. O pico da corrente de placa neste ponto é 150 mA, e pode calcular-se a queda através da carga pela fórmula $E = IR$ ($150 \times 3\ 000$) ou 450 volts. Sendo a tensão nas grades do estágio classe B uma senoide, esta queda de voltagem através da carga é, em realidade, o valor de pico da tensão sinusoidal na carga. Esta tensão, então, deve-

rá ser multiplicada por .707 para ser obtido o valor efetivo, com o qual será possível calcular a potência de saída. Este valor efetivo da tensão é, então, igual a $(.150 \times 3\,000 \times .707)$. Sendo a potência igual a EI, se multiplicarmos esta *voltagem* pelo valor efetivo da corrente que é $(.707 \times .150)$, teremos a potência de saída do estágio classe B. E no nosso caso, teremos então: $(.150 \times 3\,000 \times .707) \times (.707 \times .150)$; e simplificando a operação: $(.150)^2 \times 3\,000 \times (.707)^2$. Se designarmos .150 por I e 3 000 por R teremos

$$I^2R \times (.707)^2 \text{ ou } \frac{I^2R}{2}$$

I é chamado a corrente dinâmica de placa e o seu valor médio em uma senoide, é .636, e a potência média de entrada nestes amplificadores será .636IE; e a eficiência será então:

$$\frac{I^2R}{2 \times .636 IE^2} = \frac{IR}{1.27 2E}$$

A dissipação de placa por válvula é:

$$\frac{.636 IE - \frac{I^2R}{2}}{2}$$

No exemplo numérico acima, a potência de saída é de 33.8 watts, a eficiência 44 %, e a dissipação de placa por válvula 18 watts.

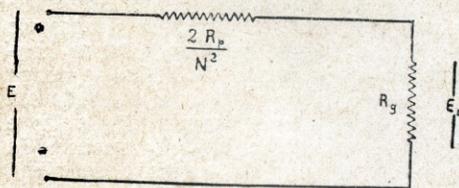


Fig. 2

Se a excitação de grade fôr aumentada para +90 volts, o pico da corrente dinâmica de placa será 230 mA, a potência de saída 80 watts, a eficiência

68 % e a dissipação por válvula 18.5 watts. Pode ver-se, pela curva, que a queda através da válvula é agora somente de 125 volts, e através da carga, 675 volts. Como se vê, o aumento de *voltagem* através da carga dá como consequência o aumento da eficiência. Supondo que toda a *voltagem* existisse efetivamente através da carga, teríamos o máximo de eficiência do estágio classe B que se pode conseguir teoricamente.

Com os mesmos termos das fórmulas anteriores, teremos que a corrente

dinâmica de placa é: $\frac{E}{R}$, e a potência

de saída, $\frac{E^2}{E^2} \times \frac{E}{2}$.

A potência de entrada será .636 I E $\frac{E^2}{R}$

$$E \text{ a eficiência, } \frac{\frac{E^2}{2R}}{.636 E^2} =$$

$$= \frac{1 \times 100}{1.272} = 78.5\%$$

que é, teoricamente, o máximo, conseguido.

EXCITADORES E TRANSFORMADORES PARA CLASSE B

Como se sabe, os amplificadores classe B, requerem um pouco mais de potência de excitação. O circuito de grade, destes amplificadores, pode ser considerado como uma impedância não linear; para uma *voltagem* de grade E, a corrente pode ser 5 mA; se aumentarmos a *voltagem* para 2E, a corrente será 15 ou 20 mA, dependendo do valor atual de E e das condições do circuito de placa. O circuito de grade pode ser comparado com uma impedância variável que diminui em valor quando a *voltagem* de grade aumenta. O excitador, portanto, deverá fornecer potência para uma carga variável, e, para que as grades do estágio classe B sejam convenient-

temente excitadas, esta potência de excitação deverá ser fornecida de modo que haja quedas apreciáveis durante as variações de carga. Em outras palavras, a fonte de excitação deverá ter boa regulação. Na fig. 2 vê-se o circuito equivalente a uma válvula simples em classe B. O estágio excitador pode ser considerado como uma fonte de voltagem E, de perfeita regulação que fornece potên-

cia através $\frac{2R_p}{N^2}$, a resistência equiva-

lente às válvulas excitadoras. Rg é a impedância instantânea do circuito de grade, a qual varia de infinito (caso o amplificador funcione com polarização fixa), para um bem definido valor. Para manter a voltagem E1 constante, embora alterando o valor de Rg, a resistên-

cia $\frac{2R_p}{N^2}$ deverá ser bastante menor

que Rg.

O valor de $\frac{2R_p}{N^2}$ é igual à impedân-

cia da válvula excitadora para metade do secundário, e no caso de um push-pull excitador, é igual a resistência de

placa de ambas válvulas, dividida pela relação de espiras do transformador do excitador, elevada ao quadrado. Esta relação é do total do primário para metade do secundário. Portanto, para reduzir a resistência da fonte de excitação, o transformador da mesma deverá ter uma relação tão alta quanto possível, e a resistência ôhmica, tanto do primário como do secundário, deverá ser bastante reduzida.

E' função do transformador das excitadoras oferecer uma carga tal, na placa das mesmas, que a potência de excitação requerida seja desenvolvida com máximo sinal nas grades das mesmas válvulas excitadoras. Quando isto for conseguido, o transformador estará com uma relação ótima, e, através o mesmo será desenvolvida a voltagem necessária para as grades do estágio classe B.

Na fig. 1, caso a voltagem de grade seja + 90 (ponto C), com uma resistência de carga de placa a placa de 12 000 ohms, a corrente de grade será de 45 mA, como se vê na linha pontilhada (ponto D). A potência de excitação será então: $E I$ ou $.707(90 + \text{pol. grade c.B}) \times (.707 \times 45) = .707(90 + 45) \times (.707 \times 45) = 2.92$ watts. Suponhamos agora que um par de válvulas 2A3 com 250 volts em placa seja usado como excitador. Apesar de que duas 2A3 sejam capazes de dar mais de 10 watts de saída, no nosso caso apenas 2.92 watts são necessários, e as 2A3 deverão operar com uma carga de placa a placa de tal valor que os 2.92 watts sejam produzidos com máximo sinal nas grades das mesmas. A potência de saída de um estágio 2A3, em push-pull é, aproximadamente,

$$\left\{ \frac{\mu E_g}{R_p + R_L} \right\}^2 \times R_L \text{ ou } \left\{ \frac{4,2 \times 43,5}{300 + R_L} \right\}^2 \times R_L$$

onde R_L é igual a metade da resistência de carga de placa a placa, e temos

$$\text{então } \left\{ \frac{183}{300 + R_L} \right\}^2 \times R_L = 2.92 \text{ watts,}$$

o que nos dá 9800 ohms como valor de R_L. A voltagem de pico desenvolvida

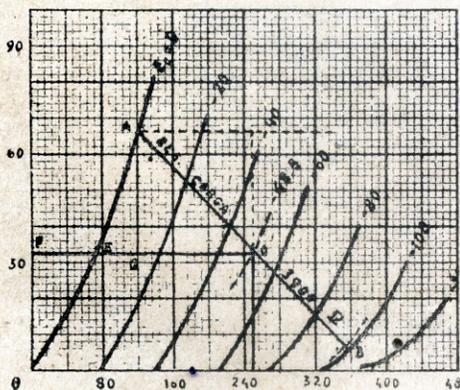


Fig. 3

através do primário do transformador

$$\text{do excitador é igual a } \left(\frac{9800 + 800}{183 \times 9800} \times 2 \right)$$

ou 358 volts. O sinal de excitação de grade é igual a $90 + 40$ ou 130 volts e

$$\text{a relação do transformador será } \frac{358}{130}$$

ou 2.75 para 1. Esta relação deverá ser diminuída de uns 15%, para permitir que a potência desejada seja desenvolvida sem que a grad edas excitadoras chegue a consumir corrente; teremos então 2.2 para 1.

CÁLCULOS PARA CLASSE A

No amplificador classe A a polarização de grade permite um fluxo de corrente de placa de tal valor que a corrente dinâmica da mesma varia diretamente com o sinal de grade, para cada ciclo elétrico completo de 360 graus. A *voltagem* resultante de saída, nestas condições, é uma fiel reprodução do sinal de excitação de grade. É particularmente importante, especialmente em cálculos para excitadores, que se calcule a potência de saída de amplificadores classe A, da resistência de placa.

Na fig. 3 temos as curvas de placa da válvula 45, onde cada uma das curvas marcadas $E_c = 0, -10, -20, \text{ etc.}$, é a linha da resistência de placa da mesma válvula. Supondo que as condições de operação para uma 45 sejam, como segue: placa 250 volts, grade 48.5 volts e a resistência de carga de placa 3900 ohms, o ponto "0" deverá estar localizado na interseção de uma linha vinda verticalmente de 250 até a curva pontuada marcada $E_c = 48.5$. A linha de carga AB corresponde a 3900 ohms, e passa sobre o ponto "0". Esta linha de carga, é precisamente a relação entre a *voltagem* da carga e a corrente de placa. Para determinar a corrente com 3900 ohms, divide-se $\dots 250$ por 3900, o que nos dá 64 mA, o que adicionado à corrente estática de 32 mA, nos dará o ponto da ordenada que é atravessada pela linha de 3900 ohms. A linha OE, é tirada no ponto de operação*O, e corres-

ponde a uma carga de placa infinitamente grande, e, teoricamente, é a máxima *voltagem* que pode ser desenvolvida através da carga de placa. A *voltagem* FE, é a queda na válvula para a corrente estática de 32 mA, e é igual,

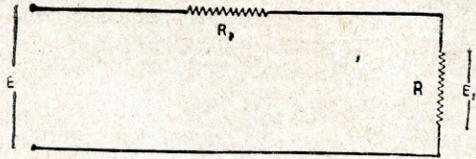


Fig. 4

aproximadamente, a resistência da válvula multiplicada pela corrente estática da placa. A *voltagem* OE é agora a que existe na carga. Se uma linha AG fôr tirada em ângulo reto com a linha OE, OG passará a ser a *voltagem* através da carga, e GF a queda total através da válvula. Sendo OG, a *voltagem* através da carga de 3900 ohms, é possível calcular a potência de saída da válvula. O

$$\text{pico da corrente do sinal é igual a } \frac{OG}{3900}$$

Este pico é também igual a *voltagem* Eg dividida por R_p , a resistência de placa da válvula. Assim o pico da corrente do sinal será:

$$\frac{OE}{R_p + 3900} \text{ ou } \frac{OE}{R_p + R} \text{ se substituirmos } 3900 \text{ por } R.$$

Sendo esta corrente um valor de pico, e sendo a potência figurada em uma onda sinusoidal, I deverá ser multiplicado por .707 para termos um valor efetivo. Portanto, $I = \frac{.707 OE}{R_p + R}$.

Temos que a potência é igual a $I^2 R$, e neste caso

$$\left\{ \frac{.707 OE}{R_p + R} \right\}^2 \times R \left\{ \frac{OE}{R_p + R} \right\}^2 \times \frac{R}{2}$$

Definindo: o fator de amplificação

(Continua na pag. 35)

Calculos para Classe B em Audio

(Cont. da pág. 14)

de uma válvula, é a relação de uma variação da voltagem de placa para uma variação da voltagem de grade, que produz determinada alteração na corrente de placa. Se E_c é a alteração na voltagem de grade e E_p a da voltagem de placa, o fator de amplificação ou mu

$$\text{será igual a } \frac{E_p}{E_c} \text{ ou } E_p = mu E_c.$$

Sendo no caso acima, a alteração da voltagem de grade 48.5 a máxima da voltagem de placa será 48.5 mu , o que é igual a OE.

A potência de saída de um estágio classe A, é então,

$$\left\{ \frac{48.5 mu}{R_p + R} \right\}^2 \times \frac{R}{2}. \text{ Esta é uma fórmula}$$

simplificada, para determinar a potência de saída de um amplificador classe A; caso sejam usadas duas válvulas em push-pull, a potência será o dobro e R será metade da resistência de carga de placa a placa.

REGULAÇÃO NO CIRCUITO DE PLACA

O cálculo correto dos transformadores driver não é o único ponto a ser levado em consideração para se obter boa regulação na excitação. Todo circuito, desde as grades "drivers" até as grades do estágio classe B, é envolvido nestas considerações. A regulação de voltagem contribue para que sejam fornecidas diversas quantidades de corrente para a carga, com um mínimo de variações na tensão. Uma fonte tem regulação pobre se a voltagem cai rapidamente quando o consumo aumenta; e, neste caso teremos uma perda de voltagem na saída, ou no circuito de carga. Se a regulação for pobre nas grades do estágio classe B, há perda no transformador ou nas válvulas do "driver".

Caso o transformador "driver" esteja corretamente projetado, teremos as

válvulas do excitador como fonte de má regulação. Uma válvula pode ser considerada como fonte de uma voltagem E, de perfeita regulação, fornecendo potência para uma carga R, através duma resistência R_p . (fig. 4). Esta resistência R_p , é a resistência de placa da válvula, e o seu valor pode ser determina-

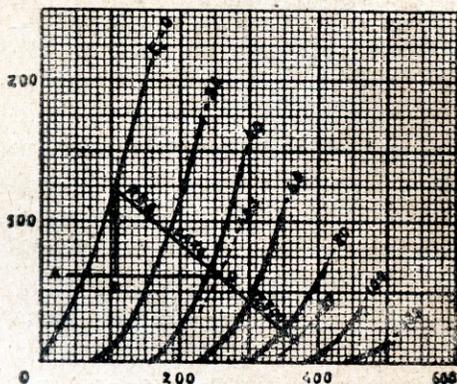


Fig. 5

do de duas maneiras. Caso R seja retirada, não haverá carga, e portanto $E_1 = E$. Se R for recolocada, a voltagem E_1 se reduzirá em proporção à queda de voltagem através R_p , e a corrente total será:

$$\frac{E}{R_p + R}, \text{ e a queda através } R_p \text{ será}$$

$$\frac{E \times R_p}{R_p + R}, \text{ o que é igual a } E - E_1; \text{ por-}$$

$$\text{tanto } E - E_1 = \frac{E \times R_p}{R_p + R}, \text{ onde todos}$$

os valores são conhecidos, exceto R_p , o qual será dado pela fórmula.

Igualmente pode determinar-se o valor desta resistência de placa pelas características da válvula. Na fig. 5 temos as características de placa da válvula 2A3. Baseados em uma operação de 250 volts em placa e 43.5 volts em grade, suponhamos que o pico do sinal

excitador de grade seja de 43.5 volts também, o que nos dirá que teremos de operar entre o ponto "O" e a curva Ec = O. Para uma carga infinita (a linha paralela à abscissa), o pico de *voltagem* será OA, ou 250 — 70 volts, ou 180 volts. Se colocarmos uma carga de 2500 ohms no circuito de placa, a *voltagem* através esta carga será somente OB ou 250 — 110 volts, ou sejam 140 volts. A diferença entre 180 e 140, ou 40 volts, é causada pela resistência de placa da válvula; portanto se na equação $E - E_1 =$

$$\frac{E \times R_p}{R_p + R}, \text{ substituímos os valores que}$$

já conhecemos, o valor da resistência de placa será achado: e então teremos

$$180 - 140 = \frac{180 \times R_p}{R_p + 2500} = 715 \text{ ohms,}$$

que é o valor da resistência de placa R_p . Ainda com referência à fig. 4 o valor de E_1 poderá ser determinado por diferentes valores de R_p , removendo R . É claro que com baixos valores de R_p , a diferença entre E e E_1 diminuirá. Um ligeiro exame das características das válvulas, demonstrará que somente os triodos de poder como a 2A3, 45, etc., têm uma resistência de placa relativamente reduzida, o que muito os indica para serem usados com "drivers".

Pentodos e tetrodos de emissão dirigida, não se prestam para este serviço; pode, entretanto, excetuar-se o tipo 6L6, que poderá ser usado, aliás muito satisfatoriamente, desde que seja empregada realimentação negativa, o que reduz consideravelmente a resistência de placa.

DETERMINAÇÃO DA RELAÇÃO CORRETA DOS TRANSFORMADORES DRIVER

A determinação da relação correta dos transformadores dos excitadores, é de extrema importância para a obtenção de ótimos resultados com os amplificadores classe B. Na fig. 6 vemos curvas, das quais a relação correta pode ser rapidamente conseguida. Os únicos

dados que se torna necessário conhecer, são: a potência média de excitação e o pico de áudio em grade. Como exemplo, temos nos dados fornecidos pelo fabricante que a potência média de excitação para as válvulas 805, é de 6 watts e o pico de áudio em grade, 117.5 volts. As curvas da 2A3 mostram que com 6 watts de saída, um pico de 408 volts é desenvolvido através do primário do transformador driver, e a relação

$$\frac{408}{117.5}$$

nesto transformador será então 3.48 para 1, total do primário para metade do secundário. Mesmo que uma válvula seja capaz de dar grande saída, quando usada como amplificadora, ela não deverá ser usada como excitadora, se a potência de excitação para o estágio classe B é aproximadamente o máximo de potência que a mesma válvula pode dar. Em outras palavras, a potência de saída de um par de válvulas 2A3 sendo de 15 watts, estas só poderão servir como excitadoras, onde tenham que entregar pouco mais de 8 watts.

Duas 2A3 podem dar 3.4 watts com 5 % de regulação, que é o limite para o trabalho em *broadcast*, ou 6.6 watts com 10 % de regulação. Uma porcentagem maior que esta, resultaria em muita distorsão. Frequentemente é necessário conhecer os resultados da variação da relação de espiras do transformador driver, para chegar a um valor ótimo. Se a relação está demasiado grande, não se desenvolverá a *voltagem* necessária para as grades do estágio classe B, resultando que a potência de saída será forçosamente limitada; por outro lado, se a relação for muito baixa, a *voltagem* para a grade será desenvolvida, porem, com péssima regulação, contendo o sinal de saída muita distorsão. Deste modo a relação de espiras deverá ser tal que proporcione a necessária *voltagem* para as grades, sem que haja consumo das mesmas. Nestas condições, a potência de excitação será fornecida através duma alta resistência de carga de placa a placa, e tanto quanto possível com a máxima relação de entrada para saída, pois se essa relação for muito baixa, haverá perigo de sobreexcitar

as grades do estágio classe B. As condições de operação destes estágios devem ser tais que o pico mínimo da tensão de placa, seja comparável, em valor ao *swing* positivo de grade. Dessa maneira, a impedância de grade, muda bruscamente de valor e a característica

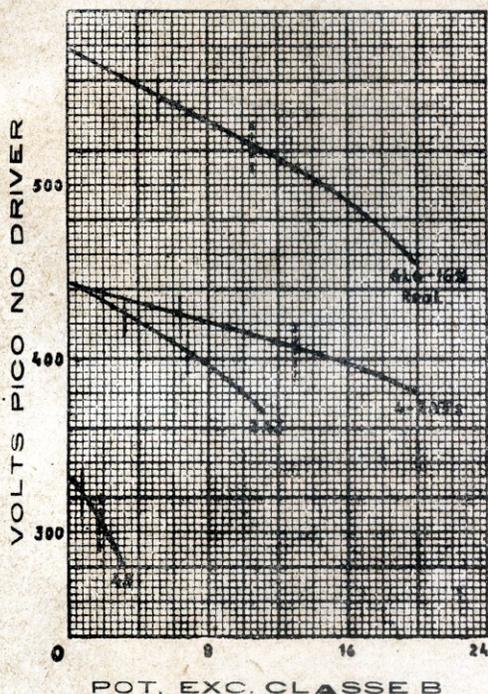


Fig. 6

— 5% regul.

..... 10% "

As válvulas são operadas a polarização fixa.
2A3-300 V. — 6L6-400 V. P-300 V. Sc. — 45-275 V.

dinâmica da válvula curva-se agudamente. Existe ainda a possibilidade de sobreexcitar o estágio classe B, introduzindo excessiva distorção; e isso sem falar na distorsão do excitador.

SOBRECARGA DE VÁLVULAS MODULADORAS

Como se sabe, o pico de uma onda de voz sendo muito agudo, faz com que

a mesma seja consideravelmente menor que uma onda sinusoidal da mesma amplitude. Em outras palavras, para modular 100% uma entrada de 1 KW, é necessária uma potência de voz de 250 a 300 watts. Isto não quer dizer, entretanto, que 250 a 300 watts de audio baseados em uma onda sinusoidal, se excitados por uma onda de voz, sejam capazes de modular 100% uma entrada de 1 KW. Isto, tem dado margem a grande confusão, pois frequentemente encontra-se quem diga que 200 watts de audio podem modular 100% uma entrada de 800 watts, com uma onda de voz como excitadora. Evidentemente isto é um erro, porque se o amplificador estiver corretamente desenhado para 200 watts, de saída média, o pico de potência do mesmo será 400 watts e a máxima entrada que com o mesmo se poderá modular 100%, será de aproximadamente 400 watts, com qualquer formar de onda de entrada. Portanto, é possível obter altos valores de pico de certos tipos de válvulas para classe B, sem exceder muito a dissipação normal de placa, e se o isolamento na válvula for bom. A voltagem e a carga de placa a placa, podem ser aumentadas, sem que aumente o pico da corrente dinâmica de placa. Tomando a válvula T20 como

exemplo, fig. 1, a linha de carga $\frac{12.000}{4}$

é mostrada por AB, e a potência de saída neste caso é de 70 watts. Pela fórmula

$\frac{12R}{2}$, esta potência requer um

pico de corrente de 215 mA, em placa. Desta maneira, apesar da válvula operar com 700 volts, será possível aplicar, sem perigo, 1000 volts em placa, para a operação em classe B, como amplificadora de audio. A queda através da válvula, normalmente, é de 155 volts, e assim a voltagem através da carga, usando 1000 volts, será 1000 — 155 ou 845 volts. Sendo o pico da corrente dinâmi-

"Jogos e Passatempos" será a secção que CHÔ-CHÔ dirigirá, sábiamente, como bom conhecedor que é do assunto, em "O Malho" desta Capital.

Naturalmente quando este número de Q.T.C. estiver em circulação já "O Malho" terá surgido para satisfação de todos os "Pansófilos..." Ao amigo e confrade *Chô-Chô* felicidades.

* * *

Em Santos (S. Paulo), BRÉQUE, na "Brasilidade", como piloto experimentado que é, continua a dar rumo certo ao seu "Recreio". Com os bons marinheiros com que conta, não há perigo de sobrar.

* * *

Por outro lado o bandeirante Raul Petrocelli, em "Charadas" da revista *Garôa*, publicada na Capital do grande Estado, está levando a efeito um grande torneio — Torneio de Aniversário.

Pelos movimentos que antecederam ao mesmo prevemos um retumbante sucesso; aliás o Petricelli bem o merece.

* * *

A *Cigarra-Magazine*, desta Capital, realizou no mês de Junho p.p. um Torneio Especial de Logogrifos em Prosa.

Não poderíamos nós deixar desapercibido o êxito alcançado por Apolo com o lançamento de tal torneio.

Ao confrade e amigo Silvio Alves e aos produtores dos trabalhos apresentados, os nossos parabens.

* * *

Sem estardalhaços e fantazias, lá está, "dominicalmente", no "Diário de Notícias", desta Capital, o veterano e abalizado cruzadista *Almata*. Com uma secção isenta de ferros conta com cerca de mil colaboradores e solucionistas, haja vista a demora na publicação dos problemas que lhe são endereçados.

Ao *Amata* amigo e confrade reforço aqui o abraço de 6-VI-944...

* * *

Tôda a correspondência para a presente secção deve ser dirigida a "Edo Beve" — Secção CQ CQ Charadistas — Revista Q.T.C. — Caixa Postal 2353 — Rio de Janeiro.

Calculos para Classe B em...

(Cont. da pág. 37)

ca de placa 215 mA a resistência de
carga de placa a placa será agora $\frac{845}{215}$

$\times 4$ ou 15,700 ohms que se vê na linha EF.

O pico da potência de saída será então: $845 \times .215$ ou 182 watts. Em outras palavras, duas válvulas T20 operando com 1000 volts e com uma carga de placa a placa de 15 700 ohms, podem modular 100 % uma entrada de 182 watts, com excitação de frequências vocais. Com esta mesma disposição, porém, excitadas por uma onda sinusoidal, são capazes de desenvolver uma potência de saída de 91 watts, sem que seja excedida a dissipação normal de placa.

A entrada média de placa das duas válvulas é: $.215 \times 1000 \times .636$ ou 137 watts; a dissipação de placa por válvula

será então: $\frac{137 - 91}{2} = 23$ w.

Esta sobrecarga entretanto, não chega a ser apreciável, tratando-se de um sinal de entrada sinusoidal, e a voltagem de placa poderá ser elevada até 1100 volts, com o correspondente aumento da resistência de carga, e da potência de saída. A excitação para as grades é praticamente a mesma, entretanto, aumentando-se ligeiramente a polarização de grade para proteger a placa devido ao aumento da voltagem da mesma, deve aumentar-se também, um pouco, a excitação.

(Do Thordarson Transmitter Guide)