

Alo, senhores:

Dado o grande interesse demonstrado, vou descrever um processo de cálculo para transformadores de saída - para válvula ou não...

O que precisamos saber :

- a) Impedância primária -  $Z1$  ( ohms )
- b) Impedância secundária -  $Z2$  ( ohms )
- c) Potência a ser transformada -  $P$  ( watts )
- d) Tipo de amplificador - classe A com 1 válvula ou push-pull, com 2 válvulas

A impedância secundária será a da carga - geralmente um falante de 4 ou 8 ohms. A impedância primária e a potência a ser transformada vêm do projeto do ampli - devem ser dadas no esquema, ou utilizadas as existentes nos datasheets das válvulas de saída...ou ,ainda, determinadas pelo projetista. O tipo do amplificador...é só olhar o esquema.

Ambos os tipos de transformador são calculados da mesma forma - vamos começar pelo tipo de 1 válvula :

- a) Tensão primária  $V1 = \sqrt{P * Z1}$  , em Veff
- b) Corrente primária  $I1 = \sqrt{P / Z1}$
- c) Tensão secundária  $V2 = \sqrt{P * Z2}$
- d) Corrente secundária  $I2 = \sqrt{P / Z2}$

A esta altura, precisamos estabelecer a freqüência mínima de trabalho do amplificador, o valor máximo de indução magnética do núcleo e a seção do núcleo. A freqüência mínima precisa ser cerca de metade ( uma oitava abaixo ) da menor freqüência a ser reproduzida. Um amplificador para contrabaixo deve responder até cerca de 120 Hz; adota-se, neste caso,  $f = 60$  Hz. Para guitarras, pode-se utilizar uma freqüência maior - acredito que algo entre 120 a 180 Hz, não fiz medidas ainda...

É importante notar que existe uma freqüência mínima de resposta para o amplificador, aquém da qual não adianta descer : é a freqüência de ressonância do alto-falante ou da caixa a ser utilizada com o ampli. Abaixo da freqüência de ressonância, o alto-falante não responde mais ( mais ou menos...). É importante determinar criteriosamente a menor freqüência de trabalho do transformador ( e, de quebra, do ampli ) pois quanto menor a freqüência, maior será o transformador...

A indução máxima do núcleo depende do material que vamos utilizar. Transformadores do tipo push-pull devem utilizar não mais de 10000 G, e a metade disso para transformadores SE. Quanto maior a indução magnética, menor o transformador, desde que o núcleo não sature - a saturação do núcleo introduz distorção.

A seção do núcleo é dada multiplicando-se a largura da perna central do E pela altura do empilhamento das lâminas. A grosso modo, é a seção do furo do carretel - mas utilize as medidas do núcleo. Quanto maior a seção utilizada, menos espiras terá o bobinado, mas o transformador será maior e mais caro. Se o núcleo for pequeno demais, a bobina não caberá

no núcleo. O que se faz é escolher uma determinada seção, calcular o bobinado e ver se ele cabe no núcleo. Em caso negativo, recalcula-se o bobinado utilizando uma seção maior.

Uma expressão para estimar a seção necessária é  $S_g = 6,6 * \sqrt{P / f}$ , f em Hz. De posse de  $S_g$ , é só pegar os núcleos da sucata e ir medindo um a um, até achar um cuja perna central possua uma seção igual ou maior ( não muito ) que a calculada. Desmonta-se o núcleo, limpa-se o mesmo, e com um paquímetro faz-se as medidas da perna central e do empilhamento, a fim de determinar a  $S_g$  real do núcleo disponível.

O número de espiras dos enrolamentos é determinado multiplicando-se a tensão de cada bobinado pelo que se chama Espiras por Volt. O valor das espiras por volt, para um dado núcleo, uma dada frequência de trabalho e uma dada indução magnética é dado por :

$$E/V = 10E8 / ( 4,04 * f * B * S_g )$$

onde B = indução em gauss. Cabe avisar que é 4,04 mesmo, pois estou usando  $S_g$  no lugar de  $S_m$ , que é igual a  $S_g / 1,1$  ....

Assim,  $N_1 = V_1 * E/V$  e  $N_2 = V_2 * E/V$

Precisamos determinar a seção dos fios de cada bobina. Para transformadores de saída, utiliza-se uma densidade de corrente de 2,5 A/mm<sup>2</sup> para transformadores comuns. Logo :

- a) Seção do fio primário :  $S_1 = I_1 / 2,5$
- b) Seção do fio secundário :  $S_2 = I_2 / 2,5$

De posse de  $S_1$  e  $S_2$ , que estão em mm<sup>2</sup>, escolhe-se o fio mais adequado em uma [tabela de fios esmaltados](#). Normalmente, escolhe-se a seção imediatamente superior à calculada...

Escolhidos os fios, podemos verificar se o transformador pode ser construído, ou seja, se o núcleo consegue encaixar no enrolamento pronto.

Para isto, calcula-se  $S_{cu}$ , que é a seção de cobre do bobinado :

$S_{cu} = N_1 * S_1 + N_2 * S_2$ . Observar que  $S_1$  e  $S_2$  serão as seções reais dos fios escolhidos, e não, as seções calculadas....

A seção  $S_{cu}$  deve ser pelo menos 3 vezes menor que a área da janela do transformador. A janela é aquele espaço vazio da lâmina E, onde o carretel encaixa...existem duas, uma de cada lado. Com o paquímetro, mede-se as dimensões da janela em milímetros, e determina-se sua área  $S_j$  em mm<sup>2</sup>.

Assim, para que o transformador possa ser construído, deve-se ter  $S_j / S_{cu} > 3,00$ ....preferivelmente, 4,00. Em caso negativo, escolher um núcleo um pouco maior e repetir o cálculo. Em caso positivo, tem-se  $N_1$ ,  $N_2$ ,  $S_1$  e  $S_2$  determinados, é só enrolar o transformador.

Detalhes :

Transformadores para amplificadores de 1 válvula trabalham com a corrente quiescente da válvula circulando pelo primário. Esta corrente magnetiza o núcleo, fazendo-o trabalhar próximo à saturação e gerando uma excessiva distorção. Para eliminar este efeito, o núcleo é montado em dois pacotes, um de Es e outro de Is, ao invés do intercalado convencional. Entre os dois pacotes, coloca-se um separador de cartolina, cuja espessura pode ser calculada por :

$$e = ( N1 * I1 * 1,41 - 5,6 * If ) / ( 1,6 * B ) , \text{ em cm .}$$

A grandeza  $I_f$  é o comprimento médio do percurso magnético. Nas lâminas padronizadas, este percurso é igual a  $( 5,6 * a )$  cm, onde  $a$  é a largura da perna central. A espessura do entreferro, convertida para milímetros, é da ordem de 0,1 mm. Quando este entreferro é muito pequeno mesmo, apenas se faz a montagem do núcleo em dois pacotes, sem espaçador nenhum. Nunca montar o núcleo intercalado !!!!

Transformadores para amplis push-pull precisam ter uma derivação no centro do enrolamento. A fim de deixar as duas metades do enrolamento o mais simétricas possível, pode-se enrolá-las lado a lado, nestes carretéis que possuem divisão central, utilizados largamente pelos chineses e japoneses. Não esquecer o faseamento das bobinas, que precisam estar em série e em fase: o fim da primeira deve ser ligado ao início da segunda, sobrando o início da primeira e o fim da segunda. Estes transformadores devem ser montados com o núcleo intercalado ( como os de força ) a fim de aumentar a indutância primária. As correntes quiescentes das válvulas circulando pelos bobinados, criam campos magnéticos opostos. O campo resultante no núcleo será nulo, dispensando a necessidade do entreferro.

Em ambos os casos, deve-se enrolar primeiro o secundário, depois o(s) primário(s) a fim de minimizar a indutância de fuga. Não descuidar do isolamento entre o princípio e fim de cada bobina primária, nem entre as diversas bobinas, pois as tensões podem chegar a valores tão altos como 500 V ou até 1000 V , dependendo da válvula e da tensão de +B empregada.

Referências e desenhos ??? O livro Transformadores do Alfonso Martignoni. É velho, mas o cálculo funciona....

Se alguém precisar, o A.Sim. pode fornecer transformadores de saída e força, através de um amigo que faz bobinagem profissionalmente.

A.Sim.