

FILTRO DE SAÍDA DO TRANSMISSOR DE 500kHz

Por Luiz Amaral
PY1LL/PY4LC

Introdução

No projeto do transmissor de ondas médias em 500kHz, o circuito de saída, que se encontra após os transistores MOS-FET de potência é constituído por um transformador adaptador de impedâncias e potência seguido de um filtro de sete pólos (quatro capacitores e três indutores) conectado finalmente à antena transmissora. Vamos tratar justamente deste filtro nesse artigo.

Devido às altas indutâncias necessárias à frequência bastante baixa, houve a necessidade de se utilizar núcleos de ferrite de boa qualidade e bem adaptados à esta frequência.

Os núcleos escolhidos foram os de 'yoke' (bobinas defletoras) de TV¹ devido à sugestões de outros autores de que se comportam bastante bem nessas frequências com perdas reduzidas, pelo menos quando operando como baluns.

A Construção

No nosso caso, houve a necessidade de dois indutores de 14,9 μ H enrolados sobre dois núcleos semelhantes e um indutor de 19,7 μ H, enrolado sobre um outro modelo de núcleo².

A Figura 1 mostra um dos núcleos usados desmontado, vendo-se as duas metades de ferrite e os dois grampos de aço de interfixação das mesmas.



FIGURA 1

¹ É provável que 'yokes' de monitores de computador sirvam do mesmo jeito, mas não foram testados pelo autor.

² Não tendo sido encontrados fabricantes de núcleos de 'yoke' no Brasil, foi necessária a utilização de sucatas de TV. No entanto é muito difícil garantir que se obtenha dessa forma núcleos idênticos. Consegui-los foi uma tarefa do Celso, PY2TS, que gentilmente os cedeu para o protótipo.

A Figura 2 mostra o desenho típico de um núcleo de 'yoke' com as diversas dimensões do mesmo. Aqui DSE significa Diâmetro Superior Externo, DSI Diâmetro Superior Interno, A Altura, DIE Diâmetro Inferior Externo e EB a Espessura da Base.

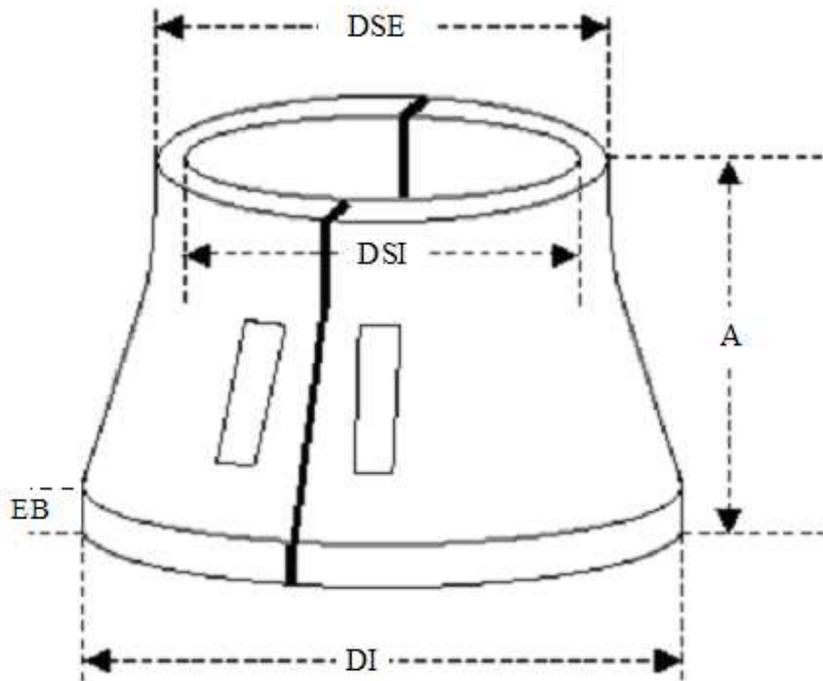


FIGURA 2

Para os indutores de 14,9 μ H, as dimensões são: **DSE = 60mm; DSI = 47mm; A = 43mm; DIE = 91mm e EB = 4,5mm**, com **AL = 414** e **AL = 400**.

Para o indutor de 19,6 μ H, as dimensões são: **DSE = 60,5mm; DSI = 47,5mm; A = 43mm; DIE = 89mm e EB = 5mm**, com **AL = 400**.

O fio utilizado nos três indutores foi de cobre rígido encapado de 2,5mm de diâmetro (do cobre) para instalações elétricas.

Os valores das indutâncias foram medidos com um LRC meter SmartTweezer® modelo ST-AD rev. 3.

Apesar dos núcleos dos dois primeiros indutores serem idênticos em dimensões, seus AL's são um pouco diferentes, o que resultou num indutor de 6 (seis) espiras sem 'gap' no núcleo de AL = 414 e outro de 7 (sete) espiras com 'gap' ajustado com fita de Teflon® (utilizada em vedação de tubulações) no núcleo de AL = 400. O indutor de 19,6 μ H foi enrolado com 7 (sete) espiras sem 'gap'.

Os AL's foram obtidos para cada núcleo através da medição da indutância resultante do enrolamento de três espiras de fio (poderia ser outra quantidade de espiras maior que um; é absolutamente arbitrário, pois o AL independe de n), segundo a expressão:

$AL = L / n^2$, onde L é a indutância medida em nH e n o número de espiras, no caso aqui fixo e igual a 3.

Dessa forma o AL é dado em nH / espira², conforme o convencional da literatura pertinente.

**Por Luiz Amaral
PY1LL/PY4LC**

Para a fixação de cada indutor na caixa metálica do filtro, foram confeccionados dois discos de plástico e utilizado um parafuso com porca também de plástico³. O parafuso original continha uma alça na cabeça que foi retirada, conforma a Figura 3.

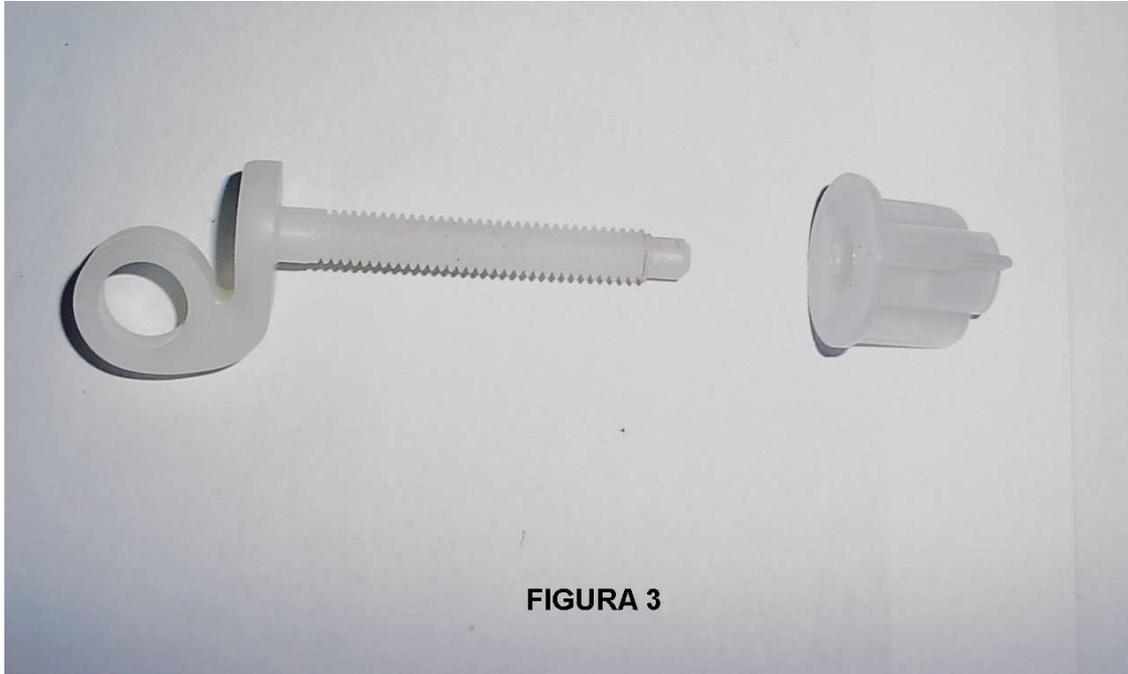


FIGURA 3

A Figura 4 mostra o parafuso já sem a alça com sua porca e os dois discos plásticos. Note-se o chanfro (com ângulo entre 45° e 60° funciona bem) numa das bordas dos discos para se ajustar sobre os fios.

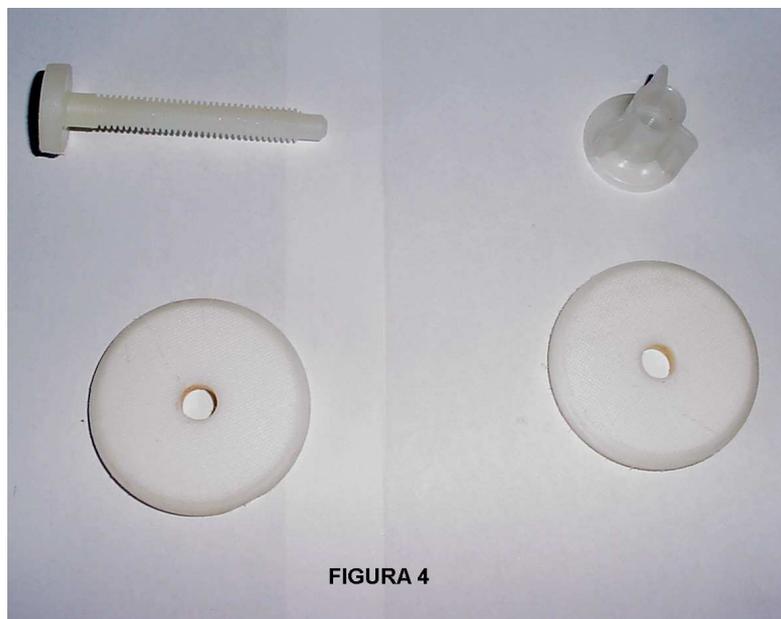


FIGURA 4

³ O parafuso escolhido foi o de fixação de tampas de vasos sanitários, facilmente encontrados no mercado de material de construção. O utilizado foi do tipo TPJ, mas pode ser escolhido outro qualquer com as dimensões adequadas.

Para fixação correta e centralizada dos indutores, foi introduzido um novo enrolamento em aberto com o mesmo fio apenas para equilibrar as pressões e facilitar a centragem do disco, como na Figura 5.

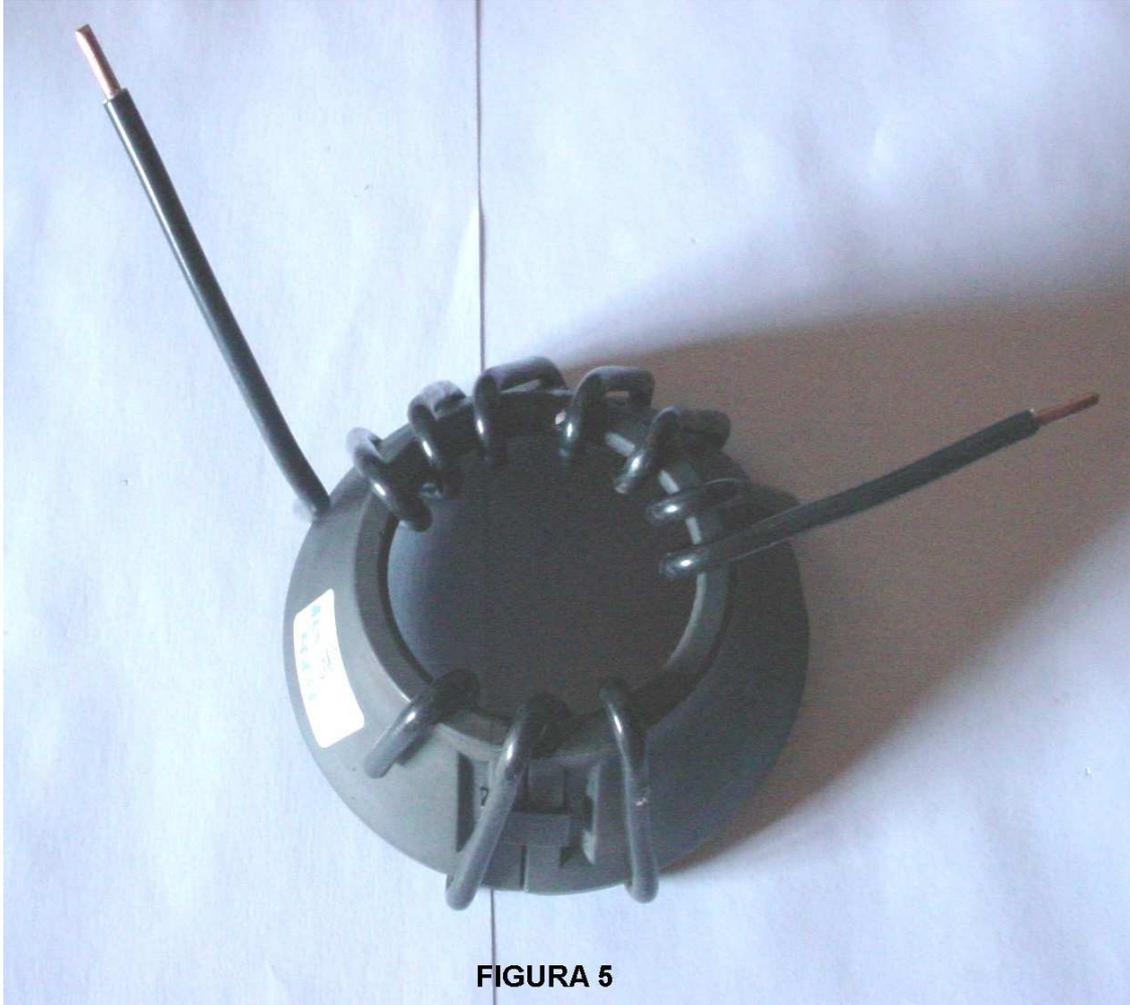


FIGURA 5

O enrolamento superior da figura é o indutor propriamente dito e o inferior o enrolamento aberto, sem conexão alguma, apenas para a centragem dos discos, o exterior e o interior, como nas Figura 6 e 7. Algo importante é que foram efetuadas medidas com os indutores bem próximos a chapas metálicas, incluindo de ferro, e suas indutâncias não tiveram seus valores alterados, o que significa uma dispersão insignificante. Dessa forma, é possível se montar o filtro dentro de caixa metálica mesmo de ferro sem afetar os resultados. Essa insignificância da dispersão também nos permite montar os indutores em qualquer posição relativa sem que haja influência mútua entre eles, o que poderia modificar a resposta do filtro.

Por Luiz Amaral
PY1LL/PY4LC



FIGURA 6

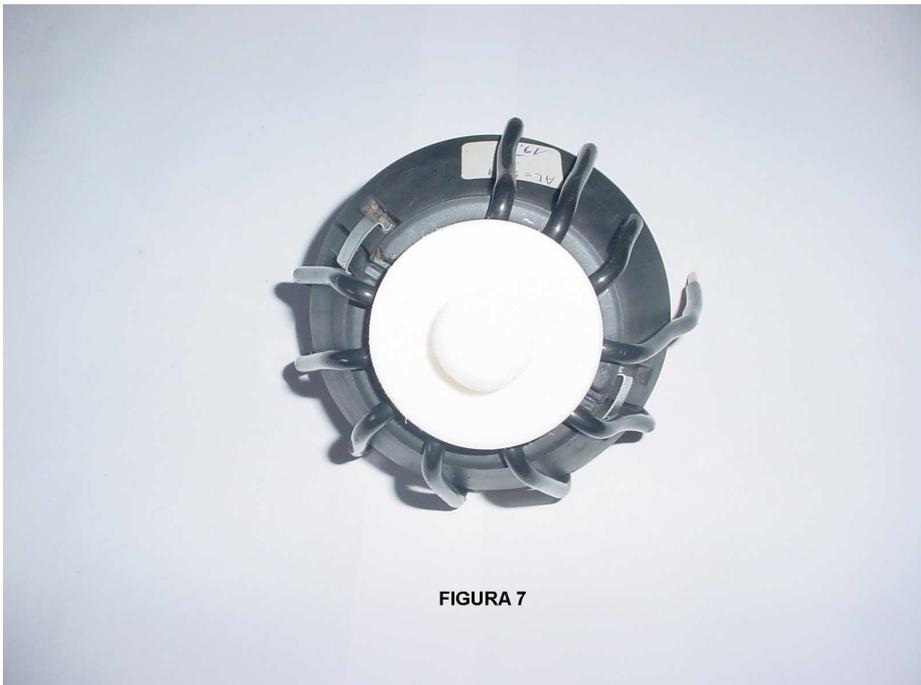


FIGURA 7

Na Figura 6 nota-se a cabeça do parafuso plástico (já sem a alça original) próxima do disco externo. Justamente entre os dois estará uma das faces da caixa metálica do filtro. Vê-se também claramente o mecanismo de centragem funcionando, com o enrolamento extra e o chanfro do disco.

Na Figura 7 vê-se o disco plástico interno, também sendo centrado com o enrolamento extra, além da porca plástica pertencente ao parafuso original.

A Figura 8 mostra os três indutores enrolados, porém sem seus enrolamentos extras de centragem.



FIGURA 8

A caixa do filtro com sua tampa é mostrada na Figura 9, aberta e sem os componentes, vendo-se claramente as cantoneiras em 'L' de fixação dos capacitores, os parafusos plásticos de fixação dos indutores com o disco de centragem inferior e os dois conectores fêmea para PL-259 (UHF) com uma fita de cobre conectando suas terras para melhor condutividade e onde são conectados os terminais de terra dos capacitores.

**Por Luiz Amaral
PY1LL/PY4LC**

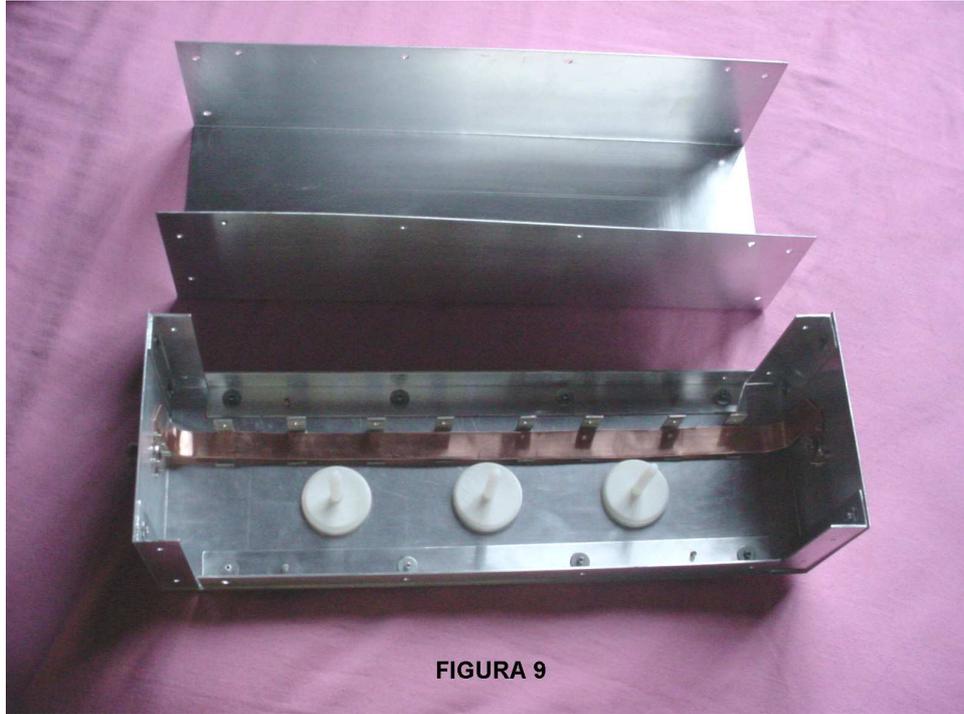


FIGURA 9

Figura 10 mostra a caixa aberta com seus componentes montados.

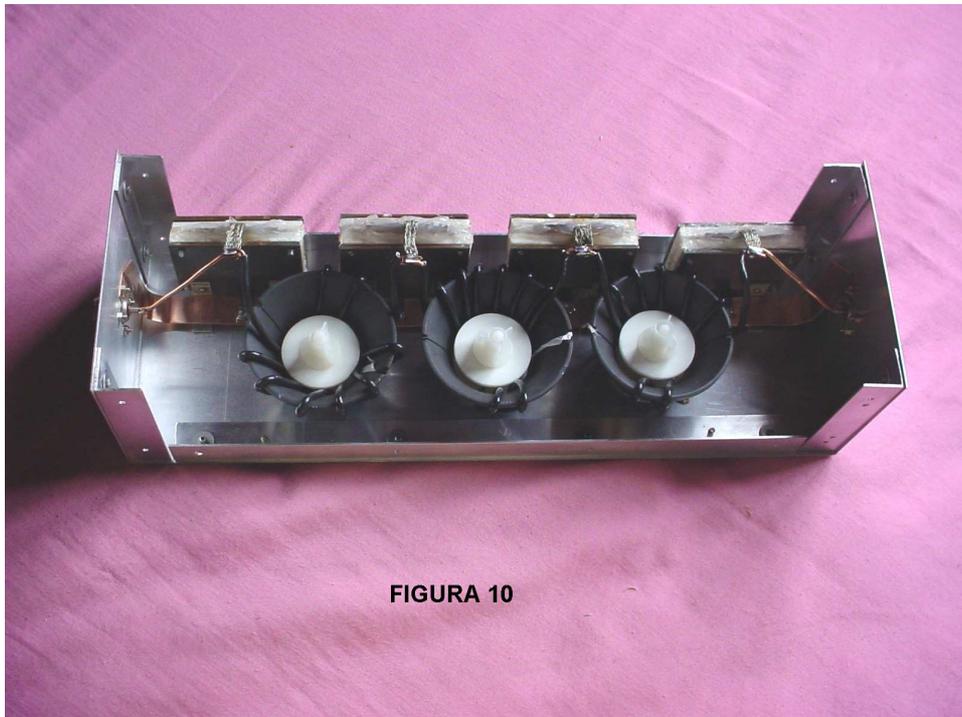


FIGURA 10

**Por Luiz Amaral
PY1LL/PY4LC**

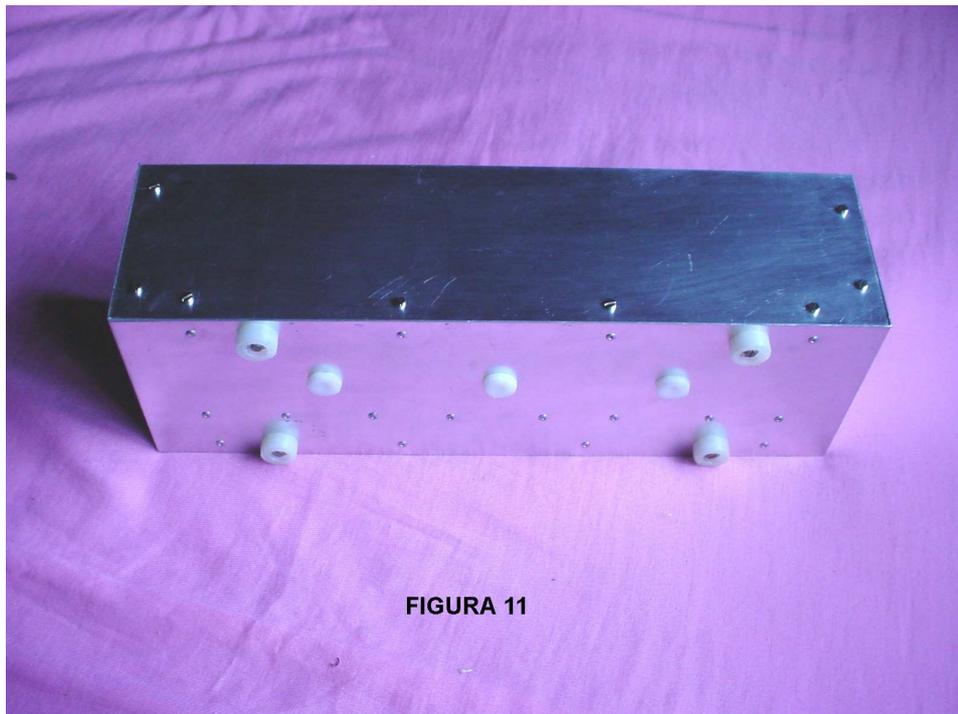


FIGURA 11

Na Figura 11 está a caixa já fechada vista por baixo, vendo-se os pés de plástico (que foram feitos com as sobras da placa plástica usada nos gabaritos dos capacitores). A Figura 12 mostra a caixa fechada em posição normal. Suas dimensões são: 45cm (comprimento) x 15cm (largura) x 12cm (altura) e em alumínio.



FIGURA 12

**Por Luiz Amaral
PY1LL/PY4LC**

A resposta do filtro montada com o diagrama da Figura 13 é mostrada na Figura 14. Para o cálculo do filtro, foi utilizado o programa ELSIE para filtros LC.

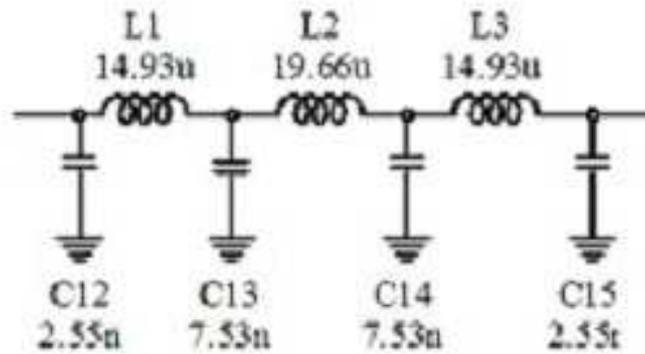


FIGURA 13

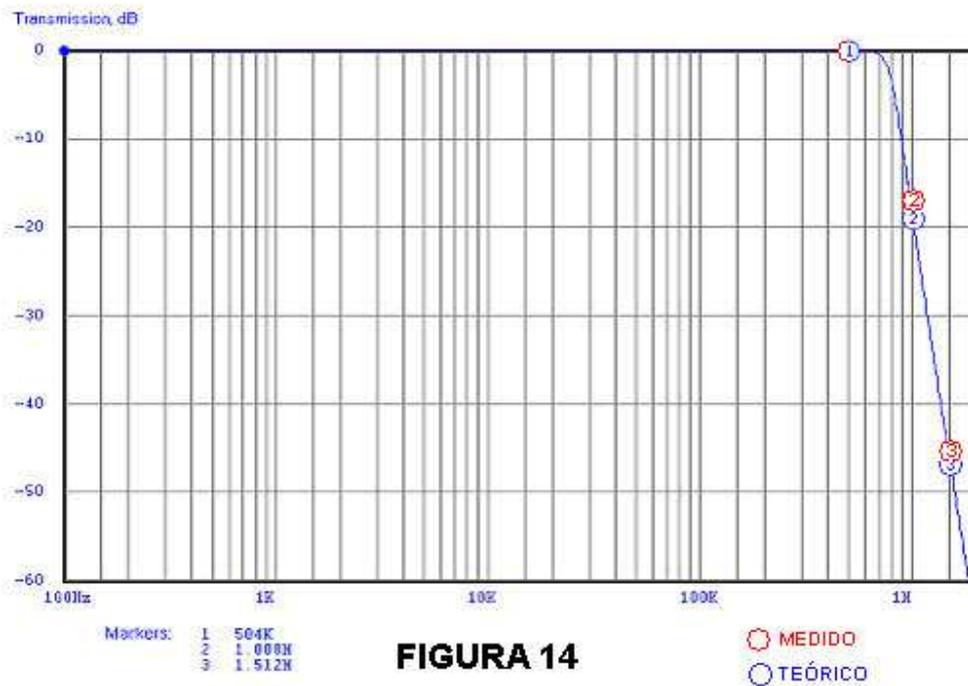


FIGURA 14

A Figura 14 apresenta o resultado teórico junto com o medido, de modo que uma comparação bastante útil pode ser feita. Note-se que o resultado foi medido com fonte e carga ambas de 50Ω e com a caixa metálica do filtro fechada.

**Por Luiz Amaral
PY1LL/PY4LC**

Os valores medidos são: ponto 1, 0dB; ponto 2, -17,9dB; ponto 3, -46dB. Os instrumentos usados foram um gerador de funções MINIPA® modelo MFG-4202 que tem impedância de saída de 50Ω e um osciloscópio HITACHI® modelo V-223. O filtro foi carregado com um resistor de 50Ω .

A impedância refletida na entrada do filtro na banda passante do mesmo é de 50Ω também. A confirmação foi efetuada medindo-se com o osciloscópio a tensão na saída do gerador em aberto e conectada ao filtro carregado. A tensão com o filtro conectado é de exatamente a metade daquela sem o filtro, o que equivale a uma impedância de entrada do filtro igual à do gerador, ou seja, 50Ω .

Os resultados da operação do filtro em alta potência (250W) são mostrados a seguir.

Por Luiz Amaral
PY1LL/PY4LC