

## PROJETO SUPERMOUSE - PARTE 2

Transmissor de AM classe E modulado por fonte chaveada



Aqui vai a segunda parte com a descrição e instruções para a montagem do modelo final.

Tentei manter as premissas originais, só que o item *facilidade de montagem* foi um pouco comprometido pela escolha de componentes SMD. O pessoal sente-se mais a vontade com os componentes tradicionais “trough hole”, mas considerei o seguinte:

- 1- A montagem SMD é muito melhor para circuitos críticos, porque as indutâncias e capacitâncias parasitas dos componentes são menores e as ligações mais curtas. Além disso o espaço ocupado na placa é bem menor e, principalmente, pode-se usar um plano de terra efetivo em placa de dupla face.
- 2- Está ficando difícil encontrar os componentes tradicionais, principalmente circuitos integrados DIP, que já custam mais caro que os correspondentes SMD.
- 3- Limitando-se o SMD aos componentes de baixa potência e evitando-se usar aquelas variantes minúsculas, a montagem é relativamente fácil depois de um pouco de prática e tendo as ferramentas adequadas.
- 4- Na eventual produção de um lote maior, a montagem SMD será feita por robôs o que acaba saindo mais rápido e barato. Pode-se pré-montar a placa com os SMD e deixar para o colega soldar os componentes “normais”, como é feito em alguns kits distribuídos nos EUA.

Foram feitas algumas alterações de valores e nos circuitos em relação ao protótipo aranha, decorrentes de testes feitos depois da publicação da Parte 1. Alguns componentes também foram adicionados mas não devem ser montados, como no circuito de polarização do gate dos FETs de RF. Estes circuitos são previstos para eventual uso no caso de transistores com características diferentes dos recomendados.

Uma única placa de circuito impresso contém todos os componentes. A lista em anexo especifica os valores, sua descrição, identificação no circuito e na placa, mais os possíveis fornecedores.

## VAMOS À MONTAGEM

Procurei descrever os procedimentos com o nível de detalhe suficiente para que os colegas que não tenham muita prática em mecânica e eletrônica possam montar o Supermouse sem problemas. Montadores tarimbados, tenham paciência!

Será necessário um mínimo de ferramentas e instrumentos de medida, que não serão perdidos, é sabido que a contaminação pelo “vírus montador” não tem cura, e elas servirão para montagens futuras. E provavelmente quem se dispõe a encarar um projeto destes já tem boa parte do que irá precisar.

Não é necessário para o funcionamento que os enrolamentos e componentes fiquem perfeitamente alinhados e retos como nas fotos, mas se você gosta de um trabalho caprichado, vale a pena se esforçar!

Uma boa é conseguir todos os componentes, ferramentas e materiais antes de iniciar a montagem, começando por aqueles que têm de ser construídos ou retrabalhados.

### Preparo da caixa de alumínio

A furação da caixa para os conectores deve ser feita conforme mostram as fotos. Se v. não tiver uma oficina bem equipada a disposição, o jeito é usar as ferramentas manuais abaixo e seguir as dicas:

- Furadeira elétrica
- Brocas de 1/8” e 3/8”
- Punção marcador e martelo
- Alicates de corte
- Lima plana de 1/2”
- Lima redonda de 3/8”
- Régua/paquímetro
- Estilete de corte
- Fresadora manual Dremel (desejável mas não obrigatório)
- Fita Durex
- Calços de madeira
- Caneta hidrográfica ponta fina

- 1- Mantenha enquanto possível a cobertura plástica azulada que recobre a caixa, ela irá proteger a chapa contra riscos. Sempre trabalhe sobre uma superfície macia como madeira ou papelão, removendo as rebarbas o mais rápido possível, porque o alumínio risca fácil.
- 2- Marque com a caneta a posição dos 6 furos de 1/8” utilizando o circuito impresso ainda desmontado. Cuidado com a posição!
- 3- Puncione o centro das marcações e fure usando a broca de 1/8”. Remova as rebarbas manualmente usando a broca de 3/8”. Use sempre um calço de madeira diretamente apoiando a superfície a ser puncionada e furada. Uma peça grande de madeira fixada à mesa de trabalho, com a extremidade para fora, ajuda muito nesse processo.

- 4- Desenhe os furos do conector de RF, do microfone e da entrada de força nas laterais da caixa. Puncione e fure vários furos próximos a borda interna do desenho com a broca de 1/8", o mais perto possível um do outro. Com o alicate de corte, una os furos, retirando a sobra de alumínio interna. Remova as rebarbas com a lima ou a Dremel. Os furos redondos tem o tamanho padrão de um vazador de chassi daqueles usados para soquete de válvula, se você possuir uma relíquia dessas no tamanho certo, use-a!

## **Transformadores, bobinas e choques**

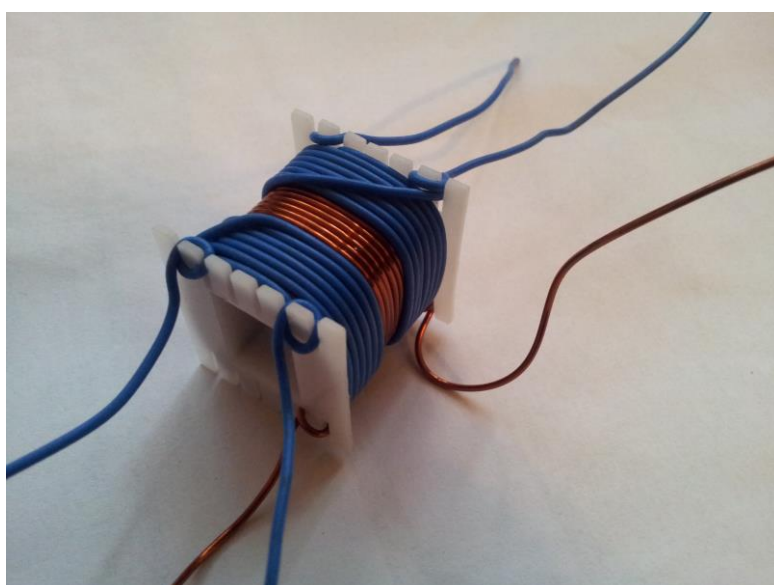
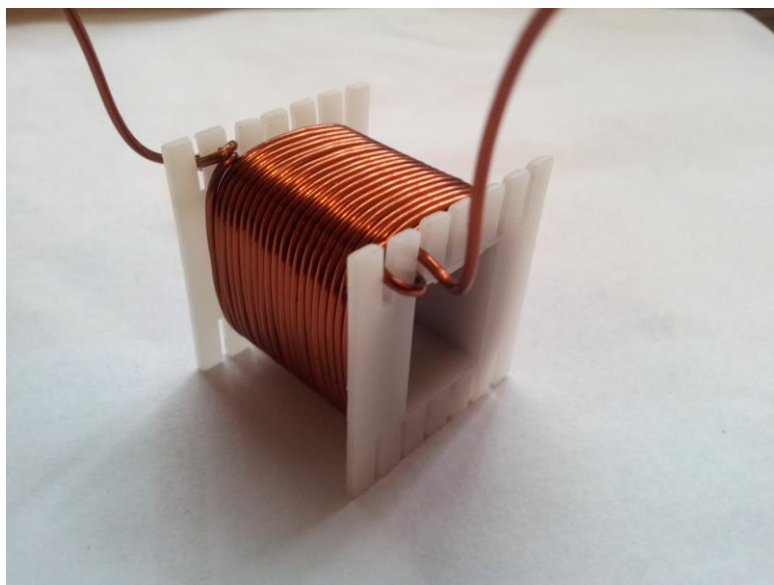
Materiais:

- Núcleo E45 completo com carretel
- Toroide 27/16/12 esmaltado
- 2 núcleos balun de TV
- Barra de antena de 9mm
- Fio esmaltado AWG 12, 18, 22 e 24 – convém tê-los com bastante folga, pelo menos umas 250g de cada, porque você irá provavelmente refazer várias vezes os enrolamentos até chegar no resultado final, e não convém reutilizar um fio já amassado.
- Fio 22 rígido encapado com plástico
- Fio 18 flexível encapado com plástico
- Esparadrapo (!) de 15mm
- Superbonder
- Fita colante dupla face do tipo usado para fixar vidraças
- Barra cilíndrica ou tubo de 22mm de diâmetro, qualquer material
- Barra cilíndrica, broca ou tubo de 11mm de diâmetro
- Abraçadeiras plásticas de 4,5mm
- Abraçadeiras plásticas de 2,5mm

### **Indutor L1:**

Os enrolamentos não tem sentido obrigatório, podem ser enrolados como for mais fácil, mas procure mantê-los como nas fotos.

O enrolamento primário consta de 65 espiras dispostas em 3 camadas de fio esmaltado AWG 18 com isolamento reforçada, de preferência resistente a 180 graus. Encaixe o carretel em um pedaço de madeira ou plástico que entre apertado no furo central, para ter onde segurar. Deixe uns 15cm de fio para fora passando pelo rasgo no carretel, amarre-o no cabo de madeira e enrole bem apertado a primeira camada com o máximo possível de espiras sem “encavalar” ou deixar espaço entre elas, devem caber umas 20 e poucas. Volte enrolando a segunda camada por cima da primeira, tentando não deixar o fio entrar no meio das espiras da primeira camada. Volte enrolando a terceira camada até atingir as 65 espiras. Amarre as pontas nos rasgos do carretel conforme a foto, deixando de sobra uns 15cm.



Sobre o primário, enrole os dois secundários com 7 espiras de fio rígido 22 encapsado em plástico, encostando-os em lados opostos e amarrando as pontas nos rasgos do carretel. Deixe sempre um excesso de 15cm.

### **Indutor L2:**

Isole o toroide de ferrite com esparadrapo de tecido (não serve o de papel!) conforme a foto, e enrole 32 espiras de fio esmaltado AWG 22 começando pela camada inferior e voltando sobre ela como no indutor L1, mas de forma a obter o formato aproximado da foto, com as duas pontas terminando do mesmo lado do enrolamento. Amarre as pontas para mantê-las no lugar provisoriamente e enrole a segunda bobina no lado oposto do núcleo. Atenção, estes enrolamentos devem ter sentidos contrários! As bobinas são imagens espelhadas uma da outra, não são iguais. Fixe os fios no lugar com duas abraçadeiras plásticas, verificando que os fios não se toquem e nem encostem diretamente no núcleo de ferrite, mesmo sendo esmaltado. Esses núcleos são condutores de

eletricidade, e entre esses enrolamentos estará presente a rede elétrica, um curto aí provocará um estrago considerável.

#### **Choques L3 e L4:**

Usando um canto da lima plana ou um disco de corte na Dremel, faça um sulco raso de uns 0,5 mm de profundidade na barra de ferrite, contornando a barra a 55mm da extremidade. Quebre-a com cuidado, ela irá romper exatamente no ponto do sulco.

Deixando livres 7mm até uma extremidade da ferrite, amarre o fio AWG22 à barra com uma abraçadeira plástica de 2.5mm e enrole 50 espiras o mais apertado possível, fixando a saída do fio com outra abraçadeira plástica. Sele com um pingo de Superbonder.

Repita a operação para o outro choque, que é idêntico.

#### **Transformador T1:**

Cole os dois núcleos baluns de TV com Superbonder, mantendo os furos alinhados. Enrole 5 espiras do primário com fio AWG 24 esmaltado, as pontas saindo pelos furos de um mesmo lado. Passe o fio AWG 20 encapado com plástico do secundário, as pontas saindo pelos furos opostos aos do primário.

#### **Bobina L5**

Enrole umas 20 espiras de fio AWG 20 bem juntas e apertadas sobre a fôrma de 11mm. Verifique o sentido correto do enrolamento pelas fotos.

Retire da fôrma, cortando o excesso de fio. Abra um pouco o espaço entre as espiras passando uma broca ou arame de 2mm ao longo da bobina.

Desenrole as pontas até obter 12 espiras, e o formato final, deixando uns 20mm de fio.

Remova o esmalte e solde a bobina na placa observando a posição pela foto.

#### **Bobina L6**

Enrole umas 20 espiras de fio AWG 12 bem juntas e apertadas sobre a fôrma de 22mm. O sentido do enrolamento não importa.

Retire da fôrma, cortando o excesso de fio. Abra um pouco o espaço entre as espiras passando a broca de 1/8" ao longo da bobina.

Desenrole as pontas até obter 12 espiras, e o formato final, deixando uns 50mm de fio.

Dobre as pontas a 90°, uma na direção axial e outra na radial, conforme a foto.

Remova o esmalte nas duas pontas, encaixe uma ponta no poste de ajuste e solde a outra na placa observando o paralelismo.

#### **Montagem da placa**

Os componentes do esquema que não tem o valor anotado não devem ser montados. Certos componentes, como C36 e R42, que tem valor 0R, devem ser entendidos como resistores SMD zero ohms, que funcionam como jumpers.

As fotos são do primeiro lote de placas, onde podem ser vistas algumas gambiarras que não são mais necessárias no 2º lote.

Alguns capacitores de valor alto podem ser eletrolíticos de tântalo ou cerâmicos, o que for mais fácil de obter. Os pads tem formato que permite a instalação dos dois tipos, que

são de tamanhos diferentes. No caso de serem de tântalo, deve ser observada a polaridade.

Os capacitores C39,C40,C43,C44 e C45 devem ser de mica prateada ou cerâmico NPO. Podem ser usados valores dentro de 10% do valor indicado, que podem ser obtidos por associação em série ou paralelo, a placa prevê estes casos. As tensões indicadas são as mínimas.

#### Ferramentas e materiais:

- Ferro de soldar de 20 ou 30 watts, ponta fina, de preferência com temperatura controlada
- Pinça de ponta fina
- Alicates de bico
- Alicates de corte
- Sugador de solda manual
- Lente de aumento
- Multímetro/capacímetro digital
- Chave tipo cachimbo de 5.5mm
- Chave de fenda ou Phillips
- 6 parafusos M3 x 15 com porca
- Estanho 60/40 fino
- Malha de cobre sugadora de solda
- Fita auto-colante dupla face, tipo espuma
- Álcool isopropílico ou etílico anidro

1- Monte todos os SMDs primeiro.

2- Confira os valores antes de cada soldagem com o multímetro/capacímetro porque os capacitores não tem marcação, e os resistores são difíceis de ler.

3- Para soldar capacitores e resistores, dê uma estanhada num dos pads (os retângulos na placa onde o componente vai soldado), posicione o componente usando a pinça e solde observando bem a posição, deve estar centrado nos pads e bem encostado na placa. Solde o outro lado, e se precisar refaça a solda anterior. Se tiver de tirar, tem de ser rápido: esquite um lado, pule pro outro e empurre com o próprio ferro. Depois limpe os pads com a malha e álcool isopropílico.

4- CIs: estanhe um pad da extremidade, com a pinça posicione o CI e solde só esse pino. Reposicione e solde o pino no canto oposto. Confira a posição, CI torto fica feio a beça, e solde os outros com cuidado para não emendar pinos adjacentes. Se a solda emendar entre os pinos, use a malha sugadora, não adianta tentar só com o ferro. Para remover um CI, emende todos os pinos com bastante solda de um lado, e rapidamente faça o mesmo do outro, removendo o CI enquanto o estanho estiver derretido. Limpe com a malha e álcool. Nunca force um pino soldado, porque irá descolar o pad e inutilizar a placa. Procure não demorar nesse processo, porque o contínuo aquecimento pode também soltar o pad.

Lave bem a placa com álcool e inspecione todas as junções (atenção aos CIs!) com a lente de aumento para detectar soldas “frias”, e refaça-as caso desconfie.

#### Montagem dos componentes não-SMD:

Os resistores devem ser montados um pouco acima da placa (uns 2 ou 3mm) para evitar curto-circuitos. Os demais componentes devem ser montados o mais próximo possível da placa. Observe que o lado plástico dos transistores Q3 e Q5 fiquem bem encostados à placa e os furos de fixação perfeitamente alinhados, dobrando corretamente os terminais dos mesmos.

Os transistores Q1 e Q6 são montados sobre isolador de mica ou silicone. Utilize parafuso M3 x 12, sem arruelas, com a porca do lado dos transistores. Certifique-se que as suas partes metálicas não estejam em curto com o plano de terra correspondente. Não é necessário aplicar a pasta térmica nesta montagem.

Corte todas as pontas excedentes de terminais e fios o mais rente possível à solda.

#### Montagem do indutor L1:

Recorte um pedaço de fita auto-colante dupla face (do tipo espuma) do tamanho da lateral do núcleo, e cole uma peça E centrando-a sobre o desenho no silk screen da placa.

Insira a bobina no núcleo na posição indicada na foto.

Corte dois pequenos retângulos de circuito impresso medindo aprox. 15 x 7 x 1,5mm tendo o cuidado de remover todo o cobre.

Encaixe a outra peça E do núcleo inserindo entre elas os retângulos separadores (gap), um de cada lado, e amarre fortemente o conjunto à placa com abraçadeira plástica de 4,5mm conforme a foto.

Corte os fios no tamanho adequado para alcançar os pontos de solda (sem esticar nem sobrar muito), remova o verniz ou a isolação plástica e solde-os. Os pontos de solda estão indicados na placa como P,P, S1,S1,S2 e S2. A ordem dos fios não importa, somente os enrolamentos não podem ser trocados, verifique pelo esquema.

#### Montagem dos choques L3 e L4:

Usando a lima de 3/8, ajuste os furos na placa para que os núcleos de ferrite entrem neles sem folga. Apoie a placa em uma superfície plana e lisa (ela irá se apoiar nos transistores Q3 e Q5).

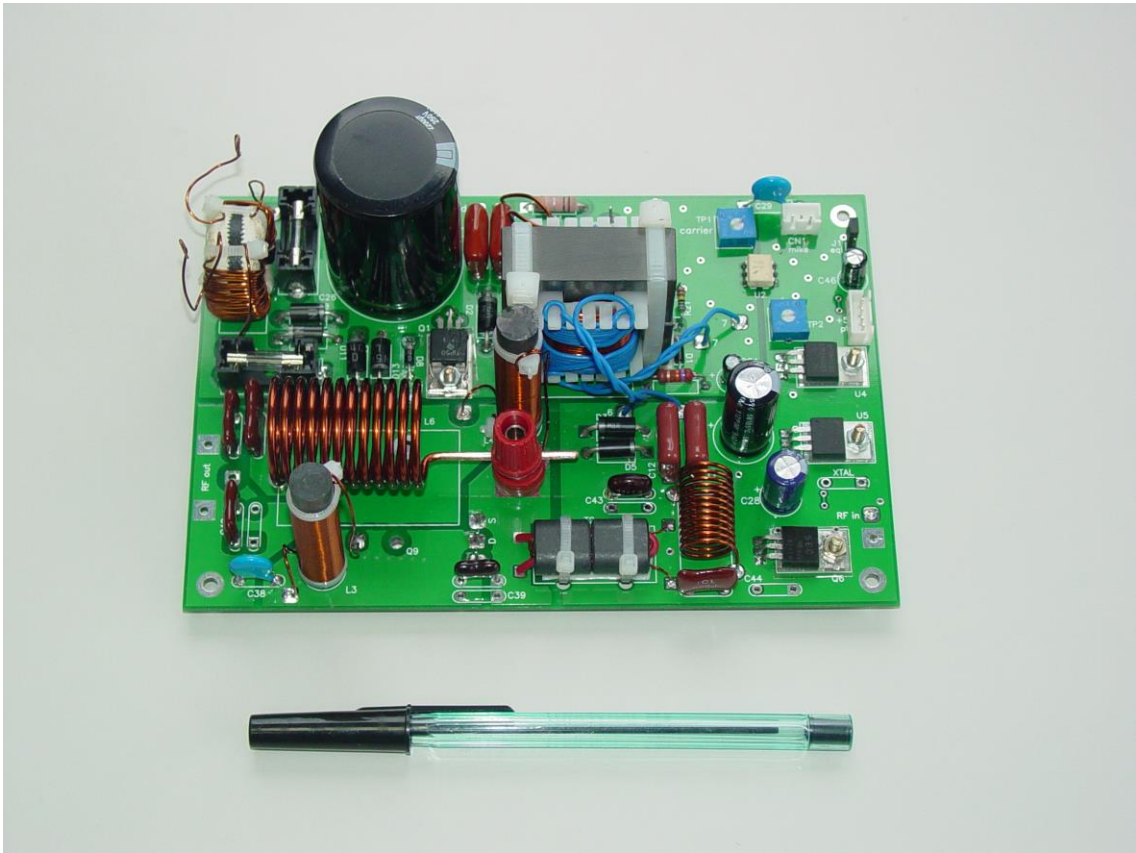
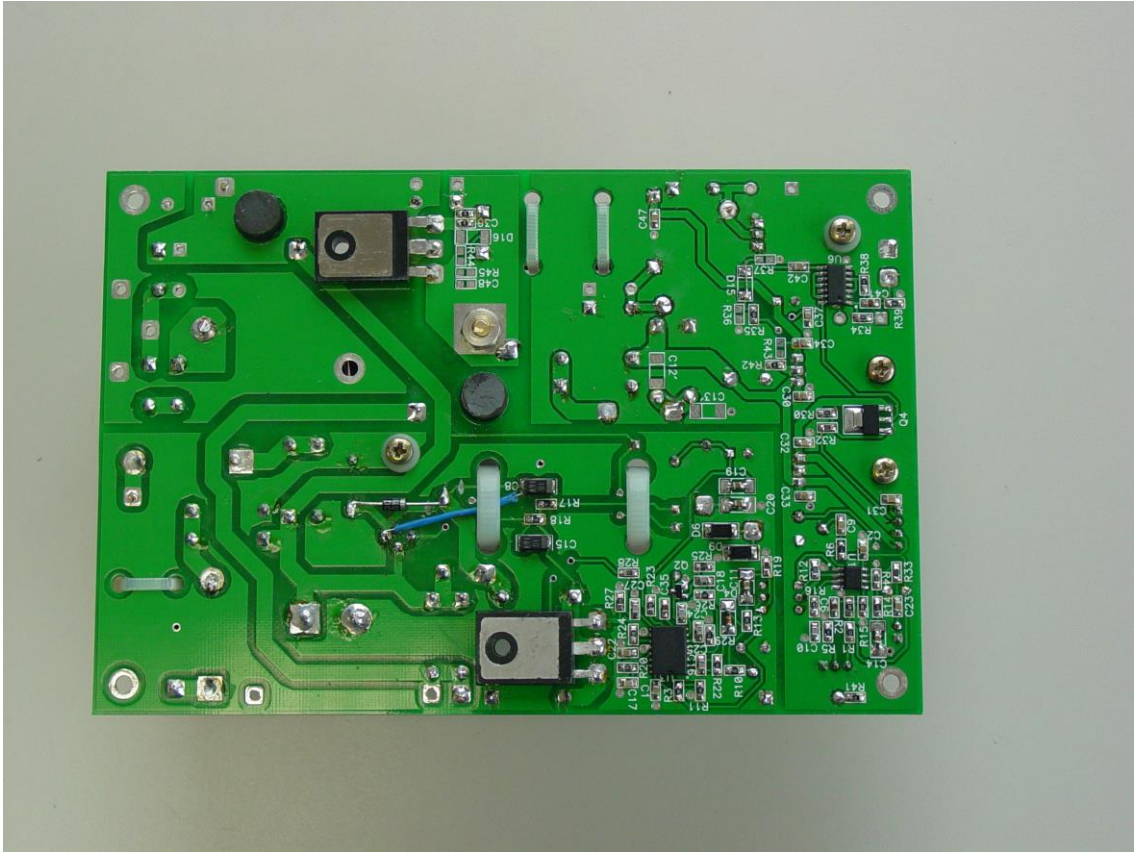
Encaixe os choques nos respectivos furos até encostarem na superfície de apoio, cuidando para que os fios fiquem do lado mais próximo aos pontos de solda e que a ferrite esteja bem perpendicular à placa. Cole as ferrites na placa com Superbonder, remova o verniz dos fios e solde-os à placa, cortando fora o excedente bem rente à solda.

#### Montagem do filtro L2:

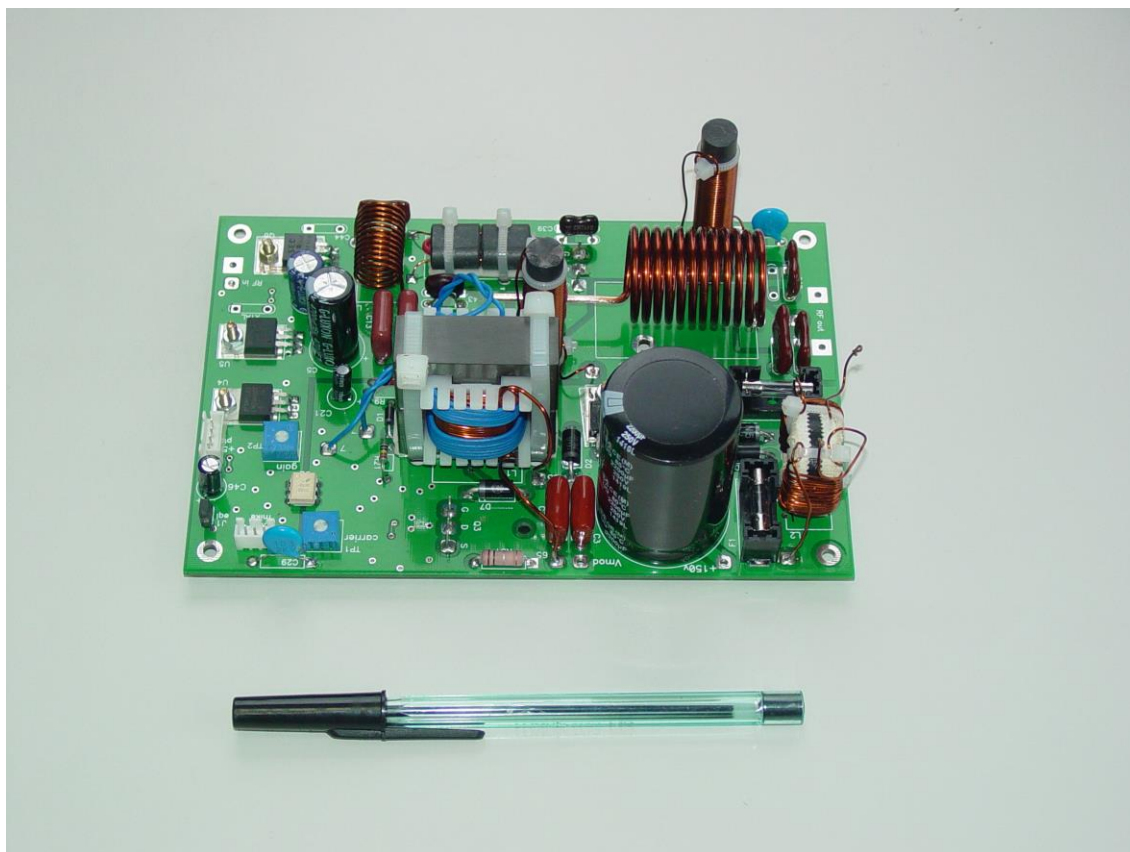
Corte os fios de L2 deixando uns 5cm e remova o verniz nas extremidades.

Recorte um pedaço de fita auto-colante dupla face com 1 x 2cm, e use-a juntamente com uma abraçadeira de 2,5mm para fixar L2 na placa.

Solde os fios na placa nos pontos indicados 1,2,3 e 4 de acordo com o esquema. Verifique bem se não há fios trocados ou tocando-se, o que poderá provocar um piro-técnico curto-circuito, já que os fusíveis estão depois do filtro.







## TESTES PRELIMINARES

### Ferramentas e materiais:

- Fonte DC de 12volts, com limitação de corrente e capacidade mínima de 1,5 amperes
- Lâmpada incandescente de 110Volts/100Watts, com soquete e fios
- Multímetro digital ou analógico

Se você tiver um transformador de isolação 110v para110v, 500watts ou mais, é hora de usá-lo. “Variacs” e reguladores de tensão não servem, porque não isolam.

Um osciloscópio com resposta acima de 10MHz seria de grande utilidade, mas os procedimentos adiante permitem checar o funcionamento do circuito mesmo sem essa ferramenta. Só utilize o osciloscópio com o transformador de isolação.

Pode-se perfeitamente testar e ajustar o Supermouse ligando-o direto à rede elétrica, mas deve-se tomar MUITO cuidado: Não toque com a mão nenhum ponto da placa e nem utilize o ferro de solda, sem desligar antes os dois fios de entrada de rede. Nunca trabalhe descalço, ou sobre superfície úmida. Não use anéis, relógio ou pulseiras metálicas. Quando for intervir na placa ligada, use sempre ferramentas de cabo isolado.

O aparelho, embora pequeno, não é um QRP, trabalha com potências elevadas e tensões altas, inclusive de RF. Trate-o com respeito, como se estivesse trabalhando em um transmissor a válvulas. E ao contrário destas, semicondutores pifam fácil!

Se algum teste não for possível de ser feito conforme descrito, alguma coisa estará errada. Cheque o procedimento, o valor e a posição dos componentes e a continuidade das soldas, e tente novamente. Não prossiga nos testes sem ter o problema resolvido.

### **Teste do controlador PWM:**

Solde temporariamente um resistor de 100k entre o anodo de D1 e o lado do resistor R21 mais afastado de D1. Esta gambiarra irá permitir que você teste o funcionamento do controlador PWM sem ligar a placa na rede elétrica por enquanto.

Conecte a fonte de 12V entre o terra ligado à rede e a alimentação do controlador PWM. O melhor modo de fazer isso é ligar o positivo no catodo de D6 e o negativo no anodo de D9, usando garra jacaré ou soldando fios.

Meça a tensão entre o gate e o source de Q3. Girando o potenciômetro R8 de ajuste de portadora, esta tensão deverá variar entre 0 e 12 volts, aproximadamente. A tensão deverá ficar estável enquanto não mexer o potenciômetro. Deixe-o ajustado em 6 volts.

### **Teste do driver de RF:**

Solde um cristal de 7.2MHz na placa, ou conecte nas ilhas previstas para a conexão de J1, um gerador de RF ou VFO nesta frequência utilizando um cabo coaxial. O gerador/VFO deverá ter potência de saída entre 1 e 100mW.

Ligue o multímetro em série com a fonte de 12 volts, a corrente medida deverá ser de poucos miliampères.

Ligue um jumper entre os pinos 1 e 2 do conector CN2 (acionamento do PTT)

Ajuste a corrente de consumo da fonte para o valor máximo, comprimindo e esticando a bobina L5. No pico, deverá ficar pouco acima de 1A.

Remova o jumper em CN2, o resistor de 100k e a fonte de 12 volts.

Remova o cabo do VFO, caso o tenha utilizado.

## **MONTAGEM FINAL**

### **Ferramentas e materiais:**

- Ferro de soldar
- Estanho 60/40
- Alicates de bico
- Alicates de corte
- Chave tipo cachimbo de 5,5mm
- Chave de fenda ou Phillips
- 6 parafusos M3 x 15 com porca
- 8 parafusos M3 x 8 com porca
- 1 conector de microfone de 8 pinos
- Fio flexível 20 ou 22, encapado c/ plástico
- Fio flexível 24 ou 26, idem

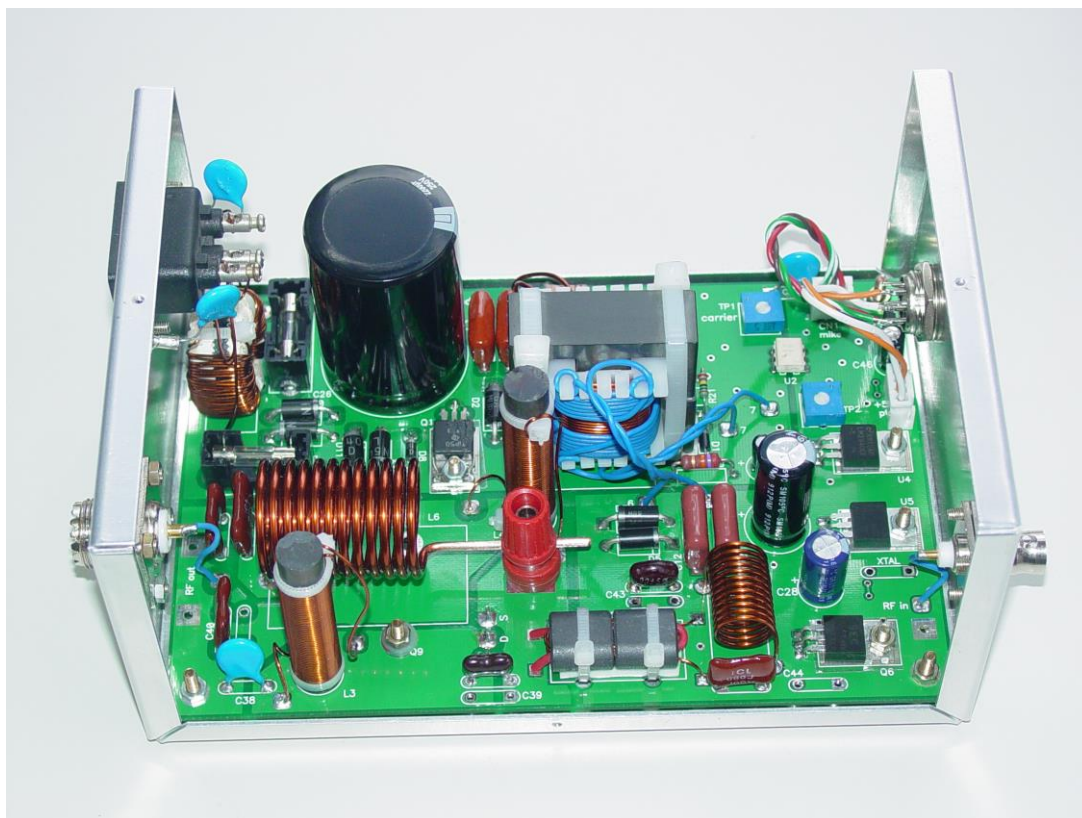
- 2 isoladores de mica para TO247
- Pasta térmica de silicone

### Preparação do cabo interno de microfone:

Os números ao lado de CN1 e CN2 no esquema correspondem aos pinos do conector de microfone do rádio IC746PRO, de forma que os microfones compatíveis com esse rádio possam funcionar diretamente no Supermouse.

Se você pretende usar um microfone a cristal ou dinâmico, não conecte o pino 3 do CN1, e utilize um cabo de áudio blindado ligado aos pinos 1 e 2. Se o microfone for de eletreto, pode-se usar fios trançados, mantendo em curto os pinos 2 e 3.

O pino2 do CN2 deve ser aterrado (ligado ao pino1) para o acionamento da transmissão (PTT), e o pino 3 fornece +5v que pode ser usado para a alimentação de dispositivos externos com consumo inferior a 0,5A, e o pino 4 tem a fonte não regulada de 8V, todos referenciados ao terra da caixa.





## TESTES E AJUSTES FINAIS

### Montagem na caixa:

Não use arruelas em nenhum ponto da montagem. Insira os 6 parafusos M3x16 nos respectivos furos no fundo da caixa, apoie sobre uma superfície plana e posicione o difusor de calor e os 4 espaçadores de latão. A seguir encaixe a placa, usando isoladores de mica e pasta de silicone em Q3 e Q5. Aperte os 6 parafusos. Não use separadores de material isolante, eles são necessários para o contato à terra.

Parafuse o conector UHF por fora da caixa e o BNC por dentro com parafusos M3x8 e ligue os pinos centrais à placa com fio flexível.

Monte o conector de força por fora da caixa e ligue-o à placa com fio flexível previamente estanhado.

Parafuse o conector de microfone e conecte-o à placa.

### Teste da fonte:

Instale os fusíveis de 5A, e ligue a rede elétrica em série com a lâmpada de 100watts na entrada de energia. Se a lâmpada permanecer acesa, algo estará errado, cheque os componentes da parte de potência da fonte.

Meça a tensão entre as ilhas indicadas +150v e Vmod. Girando o potenciômetro R8, essa tensão deverá variar entre 0 e 120 volts aproximadamente.

Conecte a lâmpada entre os pontos +150v e Vmod, e ligue a rede elétrica diretamente à placa.

Girando R8, a lâmpada deverá variar entre apagada e brilho máximo, conforme a posição do potenciômetro.

Ajuste a tensão para 60 volts, a lâmpada ficará a meio brilho.

Deixe ligado uns 5 minutos, desligue a placa da rede elétrica e verifique se algum componente esquentou a ponto de incomodar ao toque. Cuidado, mesmo com a placa desligada o capacitor C26 mantém a tensão DC por um bom tempo, e um curto-circuito pode torrar componentes.

### Teste do amplificador de potência:

Ferramentas:

- Carga resistiva para 100W de RF ou antena com SWR menor que 1,3 em 7,2MHz
- Wattímetro de RF com fundo de escala maior que 100W (este instrumento é indispensável para o ajuste e uso do Supermouse)

Conecte a carga resistiva de RF ou a antena no conector UHF J2, passando pelo wattímetro.

Atenção! Nunca ligue o Supermouse sem antena ou carga, poderá queimar seus componentes.

Conecte o VFO (caso não esteja usando o cristal) ao conector BNC J1

Ligue a rede elétrica, o microfone e acione o PTT. Se não for o caso, ligue um jumper entre os pinos 1 e 2 de CN2.

Ajuste a potência de saída para 100W, esticando L6 para aumentar e comprimindo-a para diminuir. Somente toque a bobina com o transmissor desligado, caso contrário poderá sofrer queimaduras ou tomar choques, lembre-se que o circuito de saída RF está no potencial da rede elétrica.

Para conferir o rendimento, dessolde o jumper e ligue um amperímetro entre os pontos Vmod e P para medir a corrente do estágio final, que multiplicada por 60 volts dará a potência consumida. O rendimento será igual à 100W dividido pela pot. consumida, deve dar cerca de 0,9 ou 90%.

Ligue o microfone, monitore o áudio por um receptor próximo e ajuste o nível de modulação pelo trimpot R7.

A resposta de áudio será plana, que não é muito agradável na recepção. Colocando o jumper JP1 haverá um reforço nas frequências médias/altas, necessário quando o microfone responde de forma plana, como os dinâmicos e eletretos.

Passando neste teste, parabéns, você obteve sucesso!

## **No Ar**

Para iniciar seus comunicados, será conveniente montar um relé de comutação de antena, acionado pelo sinal de PTT, ou pelo menos uma chave manual de comutação de RF.

Sempre ajuste a bobina L6 para a potência 100W de portadora, o ponto de ajuste mudará um pouco com a frequência. Excesso de portadora irá distorcer a modulação e piorar o rendimento, provocando aquecimento excessivo. Potência menor não representa problema. Lembre-se que você estará transmitindo 400Watts PEP, valor respeitável mesmo para AM, via de regra não é necessário mais que isso para fazer bons comunicados.

O Supermouse pode ser ajustado para níveis mais baixos de potência, como quando ligado a amplificadores lineares que geralmente precisam menos de 100W PEP de entrada.

## **Sugestões**

Como já foi dito no artigo inicial, a idéia do projeto Supermouse é obter um “bloco de potência” que possa ser usado na construção de um transmissor de AM completo. Minha sugestão é montar num gabinete o VFO, wattímetro, relé comutador de antena e a chave TX/RX. Pode-se montar a placa diretamente no gabinete, sem a caixa.

O VFO poderá ser analógico com dial ou digital com display alfanumérico, existem vários DDS (direct digital synthesis) vendidos na Internet por menos de 50 dolares.

O único instrumento necessário no painel seria o wattímetro, com o qual pode-se fazer a sintonia correta em qualquer frequência e compensar a SWR da antena. Se for um wattímetro PEP, também servirá para verificar o nível de modulação.

