

O “BURRICO BRANCO” – UM AMPLIFICADOR LINEAR DIFERENTE

Este protótipo foi construído para testar um novo conceito em amplificadores lineares, que pode ser chamado de classe AB/F. Não se trata realmente de uma nova classe de polarização, mas uma sobreposição de características da conhecida classe AB e classe F aplicadas ao mesmo amplificador.

Trata-se de uma combinação de novas e velhas tecnologias, resultando em um amplificador muito pequeno e leve capaz de operar em AM, CW e SSB com potência acima de 2KW.

O objetivo é obter desempenho linear de um amplificador não linear de alta eficiência.

Para chegar a isso foi adotada a técnica de eliminação e restauração de envoltória: O sinal de entrada é demodulado e a envoltória resultante é amplificada por uma fonte chaveada de resposta rápida que modula a alimentação do estágio de saída RF.

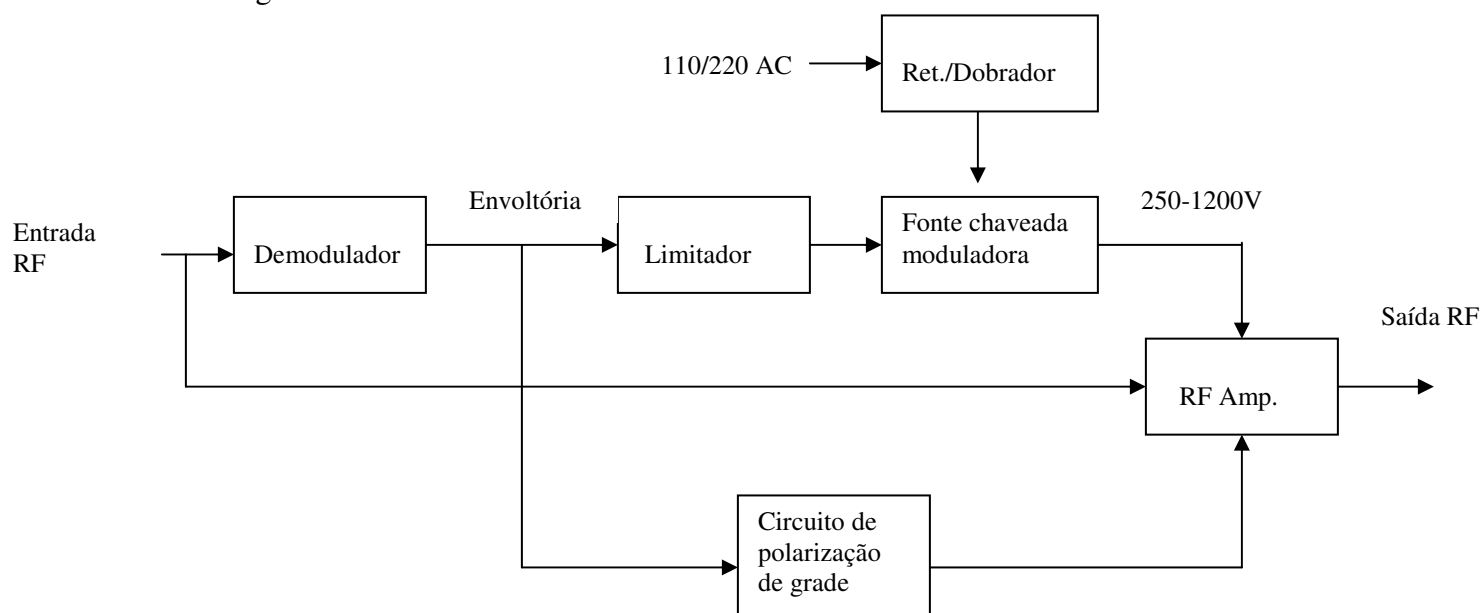
O sinal RF de entrada é também aplicado às grades de controle das válvulas. Com níveis baixos de potência o circuito de polarização de grade mantém o amplificador em classe AB. A medida que a potência aumenta, as válvulas entram em saturação e a potência de saída passa a ser controlada pelo aumento da voltagem da fonte chaveada, que acompanha a envoltória da RF de entrada.

Porque válvulas, e não semicondutores? Eis algumas razões:

- Relativa fragilidade dos transistores em circuitos de alta potência. Válvulas resistem muito mais a falhas de sintonia e condições imprevisíveis que ocorrem durante os testes
- Possibilidade de aplicar este projeto em amplificadores de maior potência
- Menor valor de capacitância nos circuitos sintonizados devido a alta impedância
- É mais divertido! É interessante ver quatro valvulzinhas de TV empurrando sem esforço 2KW para a antena...

As velhas PL509 foram feitas para operar como chaves, por isso funcionam muito bem saturadas, alcançando altos níveis de eficiência.

- Diagrama de blocos:



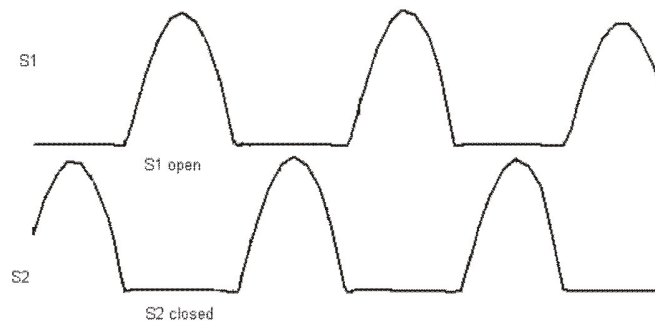
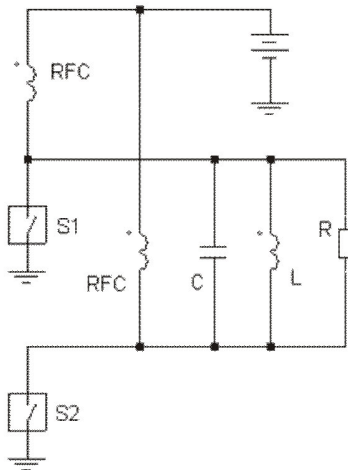
- O amplificador de RF

O amplificador é uma configuração push-pull operando no modo conhecido como classe F inversa. No domínio de frequência, a carga ressonante simétrica apresenta circuito aberto para harmônicos ímpares, curto circuito para harmônicos pares e é resistiva para a frequência fundamental.

Outro modo de explicar como funciona o circuito é considerar as válvulas como chaves aterrando alternadamente os dois lados de uma carga ressonante constituída de um resistor, um capacitor e um indutor em paralelo. Sobre cada chave aparece um pulso de tensão na forma de meia senóide quando a chave está aberta, e tensão zero quando fechada. As duas metades combinam-se na carga formando uma senóide completa.

A corrente é constante através das chaves enquanto fechadas, e zero quando abertas.

Dois choques de RF provêm a alimentação DC para o circuito. Note que a carga deve ser isolada do potencial de terra.



Teoricamente este modo permite eficiência de 100%, uma vez que não há tensão e corrente simultâneas nas chaves, mas devido a capacitâncias parasitas, perdas resistivas e voltagem de saturação de anodo a eficiência real fica em torno de 80%.

Para garantir o acoplamento correto, um circuito PI diferencial reduz a impedância de 1800 ohms nas válvulas para 200 ohms, ao mesmo tempo fornecendo a ressonância necessária. Um transformador “unun” utilizando linha de transmissão acopla o circuito Pi com a saída referenciada à terra, e um balun de 200 para 50 ohms converte de modo diferencial para modo comum.

Um benefício da configuração push-pull é que não existindo a geração de harmônicos pares, um Q de cinco é suficiente para filtrar os 3º e 5º harmônicos, permitindo o uso de capacitores, bobinas e relés menores do que os necessários em circuitos Pi não balanceados.

Dois diplexadores isolam as válvulas em paralelo contra oscilações em VHF. Estas oscilações realmente ocorreram, tornando incandescentes as conexões internas de placa!

A RF de entrada é detectada por um circuito discriminador centrado em 5,4MHz. Este circuito atua dois relés que curto-circuitam as bobinas reduzindo a indutância do Pi quando operando em 40m. Os capacitores variáveis utilizados tem valores um tanto abaixo do ideal sendo necessário a comutação pelos relés de um capacitor adicional no circuito para cobrir a faixa de 80 metros. De qualquer forma isto aumentou a ordem do filtro Pi melhorando a supressão de harmônicos.

Esta configuração permite o funcionamento em classe AB linear push pull para potências até 100 watts. Deste nível para cima as válvulas começam a saturar, e a corrente circulando através das grades de controle força a polarização para um nível mais negativo, afastando-se da classe AB. O amplificador passa suavemente de classe AB para classe F enquanto a tensão de alimentação de placa aumenta acompanhando a envoltória do sinal de entrada.

O circuito de entrada é banda larga e balanceado, operando sem necessidade de sintonia entre 3 e 8MHz com razoável SWR. O transformador de entrada é tipo linha de transmissão 1:4 ligado a um conjunto de resistores paralelo às grades de controle. Não foi notada nenhuma instabilidade apesar da alta capacitância grade-placa das PL509, provavelmente devido ao baixo Q dos circuitos.

- A fonte chaveada

Ligada diretamente à rede elétrica, é um conversor ressonante em ponte controlada por fase, operando a 100KHz, capaz de desenvolver mais de 2500W. Controle por fase significa que cada lado da ponte opera sempre com onda quadrada a 50%, e o circuito de controle muda a fase relativa entre os lados da ponte de zero a 180°, variando a voltagem de saída entre zero e 1200V. A ponte é acionada por 4 transistores IGBT.

O circuito ressonante série no lado primário foi adotado para permitir que o filtro do retificador tenha entrada capacitiva, eliminando a necessidade de amortecedores de oscilações (snubber) devido à indutância de dispersão e capacitância parasita do transformador. Estas oscilações limitam severamente o emprego de filtros convencionais em fontes de alta frequência e voltagem simultâneas.

Outra vantagem da ressonância série é que a fonte comuta em corrente zero, aumentando a eficiência.

Ao contrário das fontes chaveadas convencionais, esta tem resposta ampla de frequência, necessário para acompanhar a envoltória de áudio do sinal de entrada. A compensação para estabilidade limita a banda passante a 6KHz, suficiente para acompanhar a envoltória dos sinais de AM e SSB.

O filtro de saída é um Chebicheff passa-baixos de quinta ordem. O ripple de comutação é atenuado -60dB por este filtro.

É interessante observar que os pequenos capacitores na saída e a limitação rápida de corrente dão um comportamento “civilizado” à fonte: Um curto-circuito a plena potência

somente provoca uma pequena faísca, muito diferente do que acontece em uma fonte convencional de alta tensão!

A entrada de rede 220V é retificada por uma ponte de SCR provida de circuito “soft start” para limitar a corrente inicial e um reator indutivo para melhorar o fator de potência. Os SCRs também atuam como relé interruptor de alimentação.

O retificador em ponte pode funcionar como dobrador para 110V, se você mudar alguns jumpers e tiver uma fiação reforçada no shack.

Não tentei blindar esta fonte contra interferências: quando não está transmitindo ela é mantida totalmente desligada. Foi necessário incluir um pequeno transformador de 60Hz para alimentar os filamentos e circuitos de controle, mas valeu o espaço ocupado: não há nenhuma interferência na recepção. E quando transmite? Bom, se você consegue manter os televisores funcionando por perto enquanto bate um papo a 2KW, interferência vinda da fonte é o de menos.

- Demodulador, limitador e circuitos de controle

O sinal de entrada é amostrado por meio de um acoplador direcional de -20dB. Segue um detector de amplitude diferencial. Depois do filtro de RF do detector, um circuito limitador mantém a fonte acima de 250V para permitir que as válvulas operem em classe AB enquanto a potência for baixa. Também limita a voltagem máxima para proteger o amplificador no caso de surtos na rede elétrica. Sem isso, a potência de pico pode alcançar 3KW, com perigo para as válvulas, capacitores e relés.

Outra função limitadora é manter a voltagem de placa abaixo de 500v durante o procedimento de sintonia, que deste modo pode ser feita sem perigo para os componentes. Depois de trabalhado pelo limitador, o sinal de envoltória é comparado a uma amostra da tensão de saída da fonte. O sinal de erro é amplificado, compensado e aplicado ao controle de fase da ponte via um acoplador óptico.

A comutação de recepção/ transmissão é feita de acordo com a chave seletora de modo, cujas posições são:

- 1- Off: totalmente desligado
- 2- Stand By: filamentos e ventiladores ligados, fonte chaveada desligada, entrada de RF conectada a saída
- 3- Tuning: tensão de placa limitada a 500v, amplificador conectado
- 4- Operating: potência máxima permitida, amplificador conectado

Para sintonizar aumenta-se a potência de entrada até que seja atingida a saturação (a corrente de placa para de aumentar), ao mesmo tempo procurando um dip em 1,2 A ajustando-se alternadamente os capacitores de plate e load como em qualquer amplificador com saída Pi.

O procedimento de sintonia é o mesmo para SSB, AM e CW.

Na operação em AM a potência de entrada deve ser ajustada para aproximadamente 1,2 A (500W de portadora)

A sintonia e operação devem ser cuidadosas devido à pequena capacidade de dissipação das PL509. A eficiência cai rapidamente quando fora de sintonia. Se a potência de excitação for aplicada sem cuidado o circuito de proteção térmica pode ser convocado para salvar as

válvulas, desligando a fonte. Descuidos no procedimento de sintonia e desligamentos acidentais da carga já provocaram arcos apavorantes nos capacitores, mas que até agora só resultaram em um pouco de fuligem, graças à limitação de corrente da fonte.

- Circuito de Polarização de Grade

A fonte chaveada provê 200V para o regulador série de tensão de grade screen. O circuito também aplica polarização negativa mantendo a corrente quiescente das válvulas em 400mA (classe AB).

Quando a potência de entrada atinge o ponto em que as grades começam a conduzir, a polarização fica mais negativa devido ao efeito de retificação de RF. Quando as válvulas estiverem em plena saturação, as grades conduzem meio ciclo de RF, e a forma de onda nelas é uma meia senóide negativa, semelhante ao sinal nas placas com polaridade inversa. Também semelhante ao circuito de saída, estas meia senóides aparecem somadas na entrada como uma onda completa, portanto não há distorção devido a carga mesmo com acoplamento não sintonizado.

- Construção

O amplificador é montado sobre 4 prateleiras verticais de alumínio mantidas juntas por 4 barras roscadas dentro de tubos separadores de inox. Quatro folhas de acrílico dobrado fecham o gabinete. Esta cobertura foi feita para fins de demonstração somente, mas como ficou bonito, foram mantidas. Mas estou consciente que esta não é uma solução definitiva, porque há um campo de RF considerável fluindo através do operador e de aparelhos eletrônicos próximos. Uma cobertura de alumínio no mesmo formato será providenciada.

Dois ventiladores de computador operando a meia tensão (eles são praticamente inaudíveis a este nível de potência) mantem o amplificador frio durante a operação normal. Quando disparado por sobreaquecimento (ou em câmbios espada de AM) o circuito de proteção térmica aplica potência total aos ventiladores.

Somente as placas de circuito mais críticas foram impressas (na verdade, pintadas a mão e corroídas): as placas de bobinas de saída, controle da fonte e acoplador direcional. As outras placas foram montadas com fios estilo wire-wrap mas todas as conexões estanhadas.

O amperímetro do painel frontal é do tipo plano para salvar espaço no deck de RF. Todos os semicondutores de potência da fonte foram montados sobre um dissipador de alumínio localizado na parte traseira. O transformador de filamento também foi montado na traseira ao lado do choque de entrada AC. Ambos são construídos com chapas de ferro-silício orientado para reduzir peso e espaço.

- Especificações

Banda passante: 3,5 a 3,8MHz e 7,0 a 7,4 MHz

SWR saída: 2,5:1 max.

SWR entrada: 1,2:1 max.

Potência de saída:

- SSB: 2000W PEP
- CW: 1000W, 50% duty cycle
- AM: 500W portadora, 2000W pico
- FM, RTTY: 500W continuos

Ganho de potência: 17dB

Rendimento de placa @ 1000W: 83%

Distorção por intermodulação: -35dB @ 2KW PEP

Espúrios e harmônicos: -60dB

Dimensões: 30 x 13 x 45 cm

Peso: 12Kg

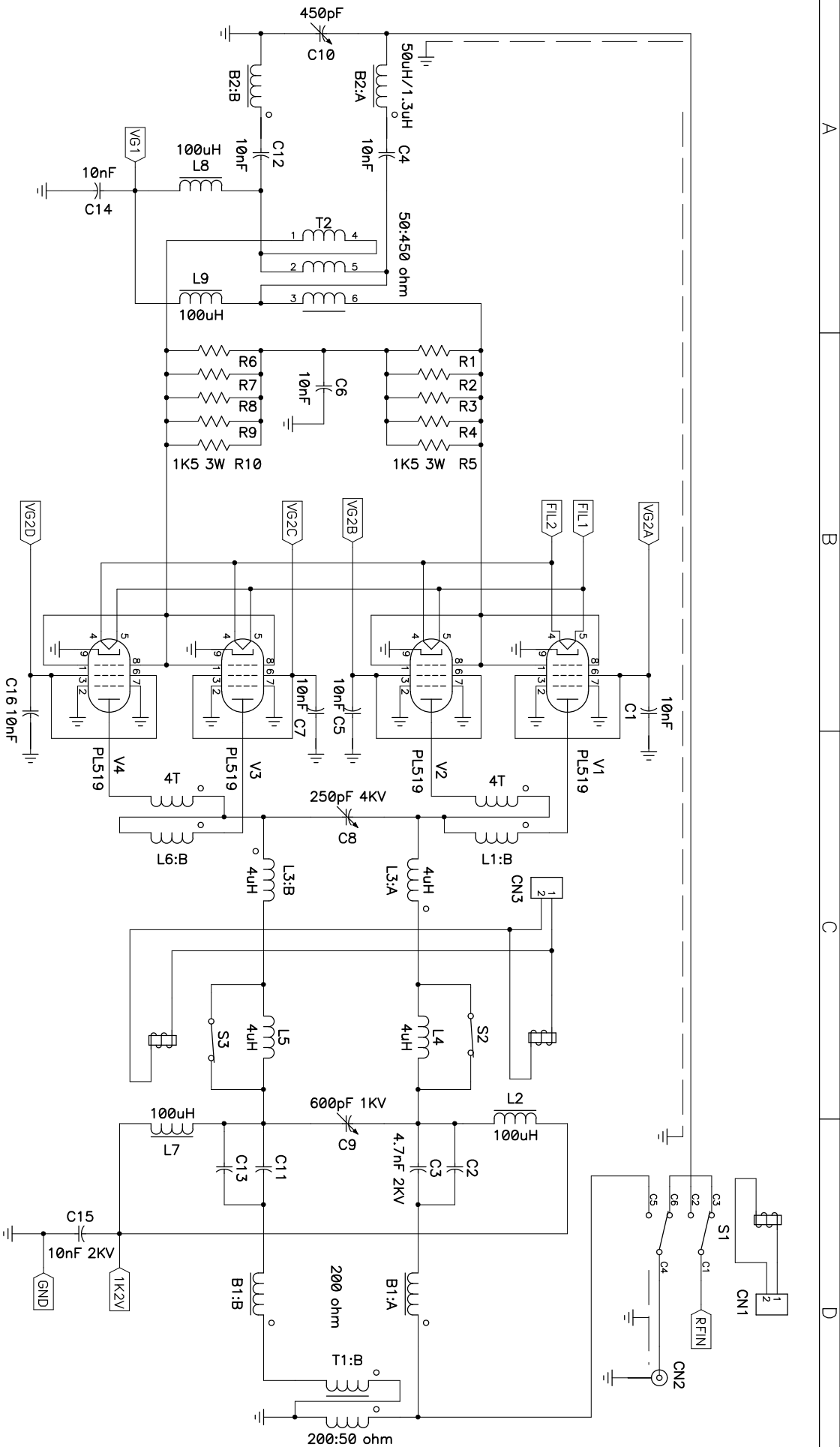
- Conclusão:

Este protótipo é uma boa plataforma para testar alguns conceitos inovadores. Fiquei surpreso pela sua boa linearidade e desempenho. Como você pode ver na foto do osciloscópio, há uma visível descontinuidade na passagem para classe F, devido a limitada frequência de resposta da malha de controle da fonte. Parece que esta distorção somente afeta os produtos mais altos de intermodulação, fazendo-os um pouco piores do que os medidos em amplificadores convencionais, mas os produtos de 3^a ordem são melhores. De qualquer modo, estão dentro dos padrões aceitos para este tipo de equipamento. O amplificador tem excelente desempenho, é muito compacto, incondicionalmente estável e fácil de sintonizar.

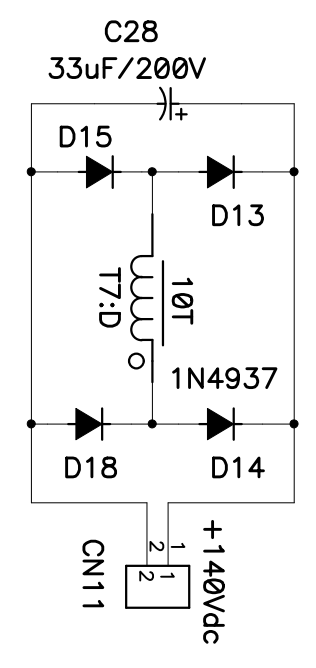
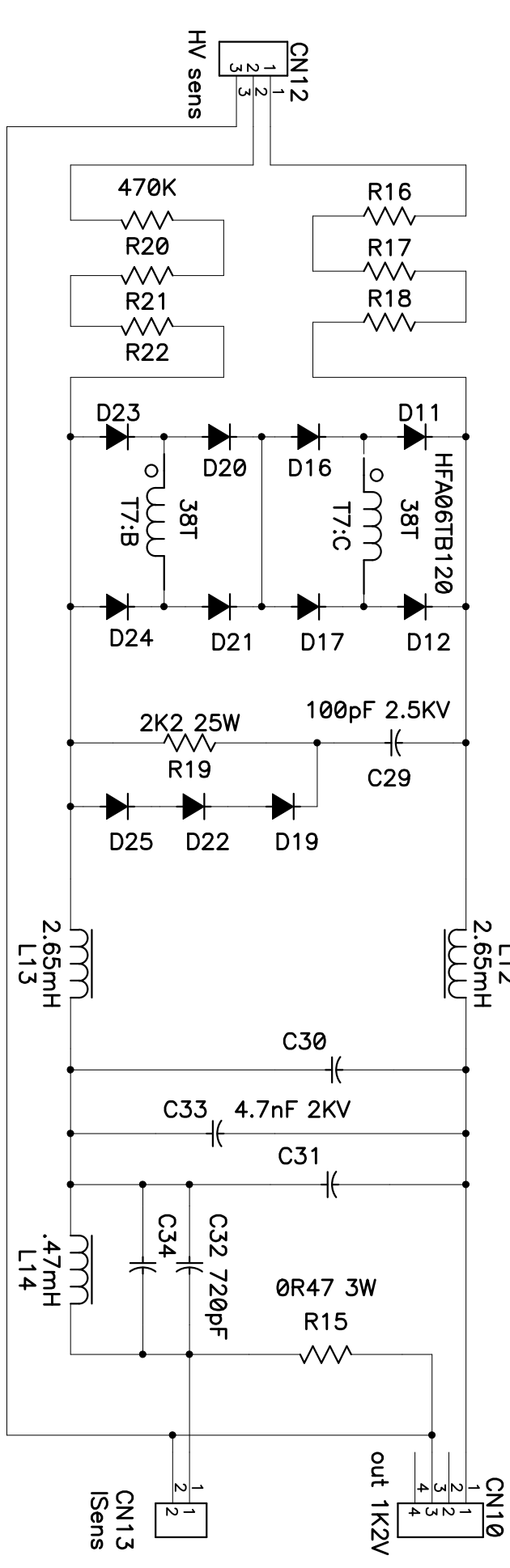
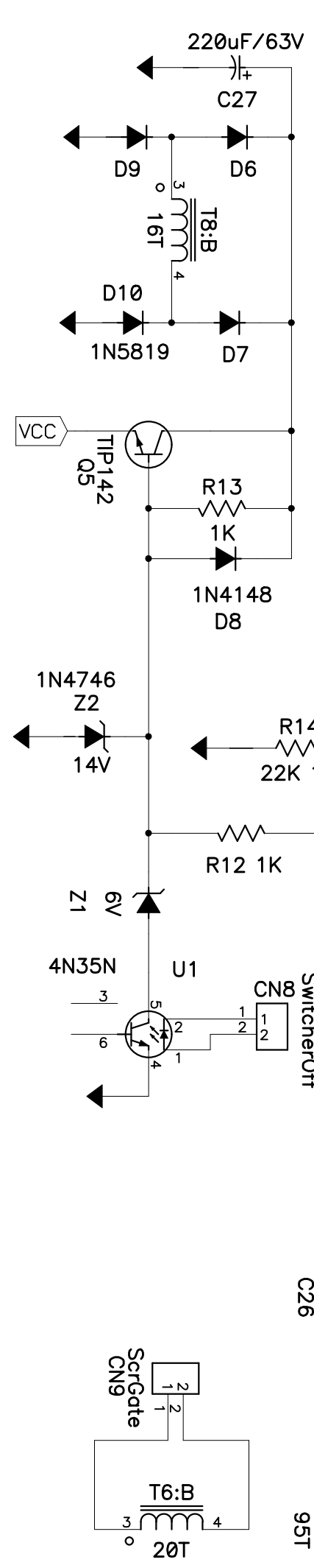
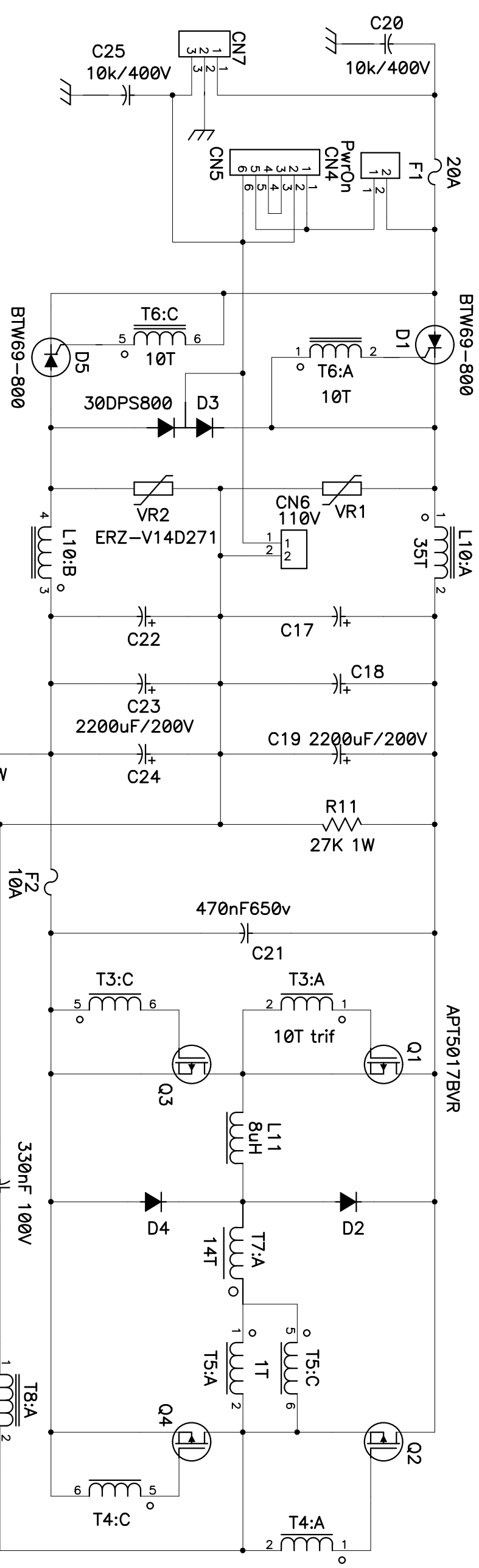
No entanto, este projeto tem suas desvantagens:

- Não é fácil de duplicar devido a alguns componentes raros como válvulas de TV, soquetes antigos, etc., além da complexidade dos circuitos e ajustes
- A capacitância entre eletrodos da PL509 dificulta o funcionamento em frequências mais altas
- A montagem compacta tem um preço a ser pago, é bem amontoada e difícil de testar e consertar
- As válvulas podem ser facilmente destruídas por descuido ou imperícia

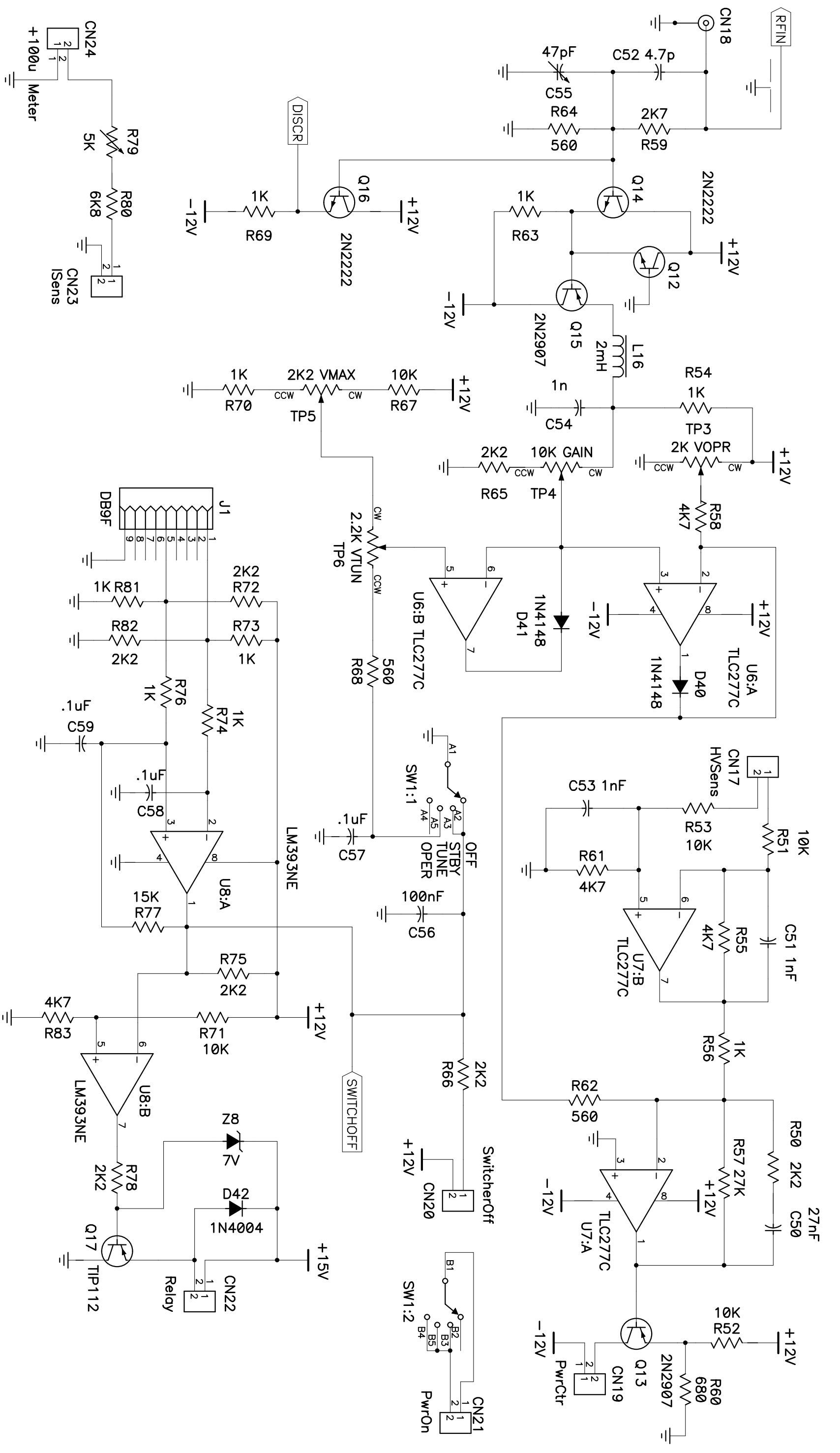
Mas pode ser um bom ponto de partida para o desenvolvimento de uma versão transistorizada para todas as bandas de HF, controlada por microprocessador, capaz de sintonia automática, auto proteção e outras facilidades. Outro projeto interessante poderia usar válvulas mais potentes como duas 4CX800, que poderiam alcançar 6KW ou mais. Tenho feito bons contatos em AM e SSB com o “burrico”, e quando conto aos colegas do que se trata, acham bem estranho: - O quê, linear modulado em placa? Dois kilowatts com válvulas de tevê?



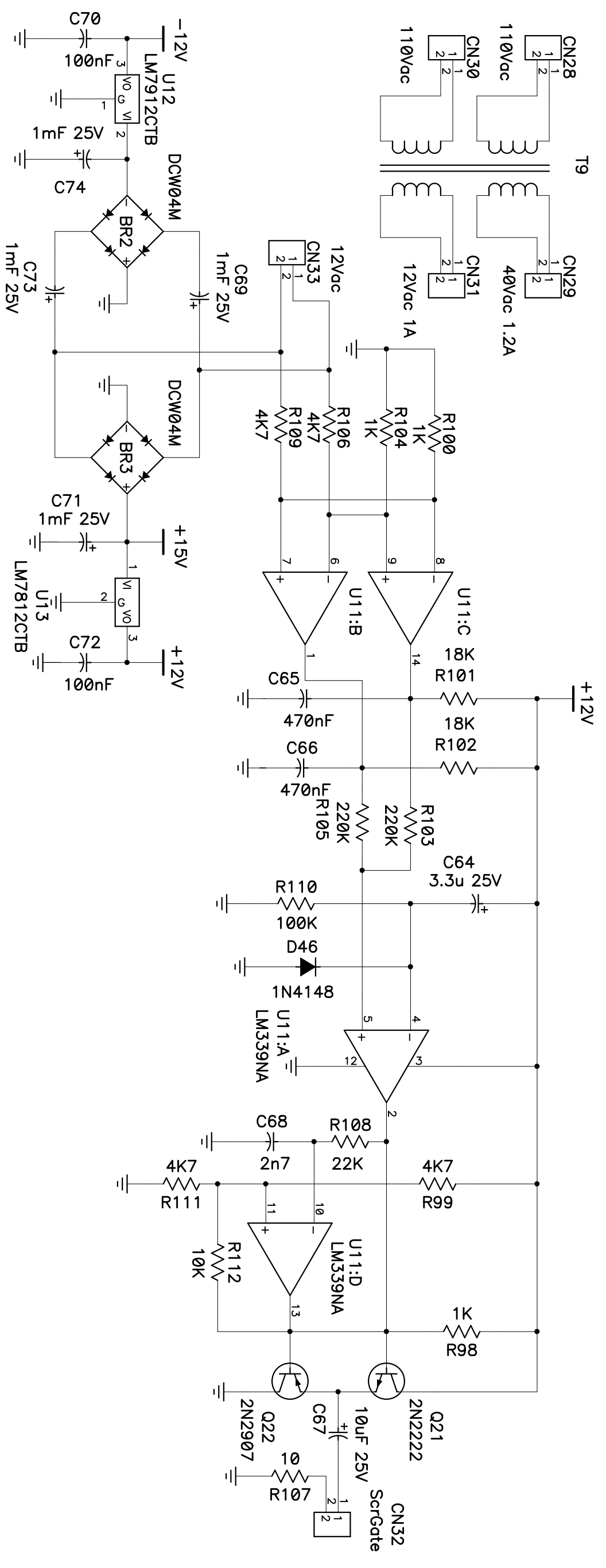
Title		2KWPA - RF Amp	
Size	Number	Rev	
A3			
Date	Drawn by		
Filename	Sheet 1 of 7		



Title		2KWPA - PwSupBoard	
Size	Number	Rev	
A3			
Date	Drawn by		
Filename	Sheet	2 of 7	



Title		2KWPA - Control	
Size	Number	Rev	
A3			
Date	Drawn by	Sheet 5 of 7	
Filename			



Title	2KWPA – Aux sup/soft start		
Size	Number	Rev	
A3			
Date	Drawn by	Sheet 7 of 7	
Filename			