

広帯域（1MHz～50MHz）高周波増幅器 の制作

金野茂男

1. はじめに

10MHz以下～50MHz以上までの正弦波を出力する高周波発振器を、参考文献（1）を手引きに、ほぼ複製の形で、製作することができた。その内容については、参考文献（2）として、著者のホームページで公開している。が、この発振器の出力電力は小さい。参考文献（2）の「1. はじめに」の項で記述しているとおり、出力電力の大きい正弦波が欲しい。そのため、表題のような増幅器を製作することにした。具合が良いことに、参考文献（1）中に、手頃な高周波増幅器が紹介されていた。その増幅器の仕様は大凡次のようである。

電源電圧	+12V
入力インピーダンス	50Ω
出力インピーダンス	50Ω
周波数帯域	1MHz～50MHz
電力利得	10dB
動作モード	AB級（A級と異なって、正弦波の片端部に歪みが出る）
出力電力	1W

この増幅器も、前回の発振器と同じく、参考文献（1）を手引きに殆ど複製の形で製作した。そして、ほぼ仕様通りの増幅器を作り上げることができた。写真1がその外観である。参考文献（1）で紹介されている増幅器と瓜二つであることが分かる。以下で本増幅器の製作過程について報告をする。なを、本増幅器の回路などの詳細解説は参考文献（1）が詳しいのでそれに譲る。

実は、著者としては歪みの無い正弦波出力が欲しい。AB級動作する本回路を複製したことに自信を持って、本回路に若干の変更をすることにより、歪みの少ないA級動作をする増幅器も製作した。著者の目的にかなった、このA級型増幅器についても報告をする。

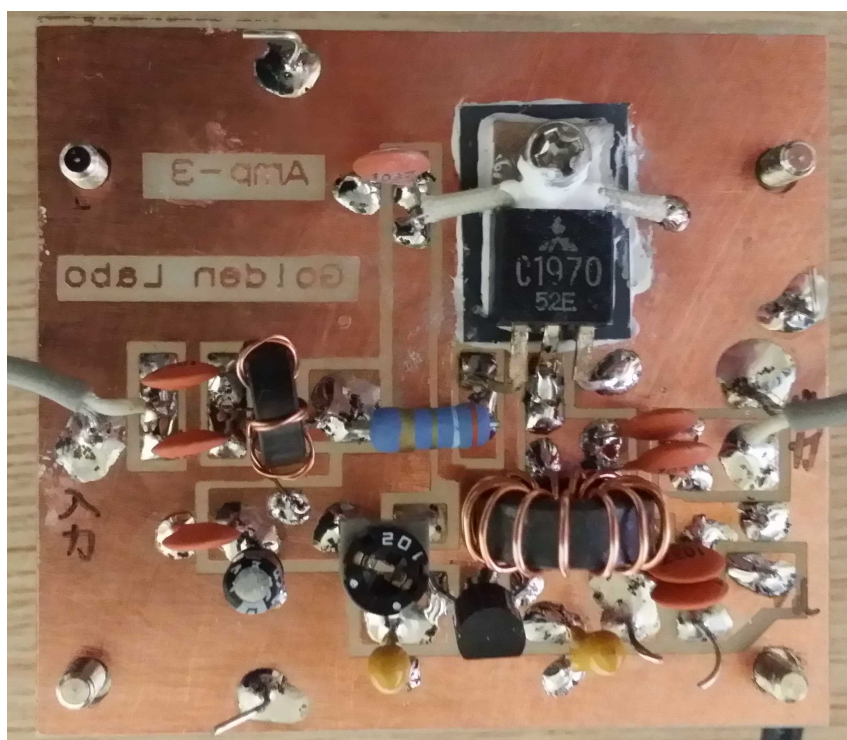
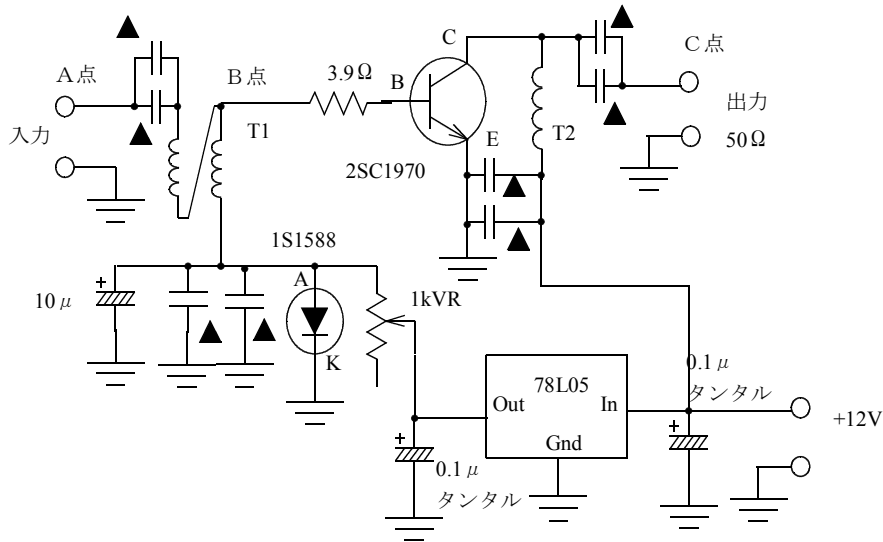


写真1 製作したAB級型広帯域高周波増幅器の外観。外観は参考文献（1）とほぼ同じ。

高周波増幅器

帯域 1MHz ~ 50MHz
出力波形 AB級

参考文献 「高周波回路の設計・製作」、鈴木憲次、CQ出版社



T1 アミドン社 FT37-43 φ0.3 バイファイラ巻き5回 Amp-3での特性

T2 アミドン社 FT50-61 φ0.6 15回

▲ 0.01μ セラミック・コンデンサ

トランジスタ互換表より、2SC1970の互換品を検索
C1001, C2991, C2131, C2283-KA,
C3020, C2762, C3107, C2559-KA

2SC1970 高周波用パワー・トランジスタ (179MHz用)
ポントン ¥1620円

フェライトコア アミドン社
東京ラジオデパート3階斉藤電気

1S1588 汎用小信号高速スイッチングダイオード
相当品 1N4148
秋月電子 50本入り250円

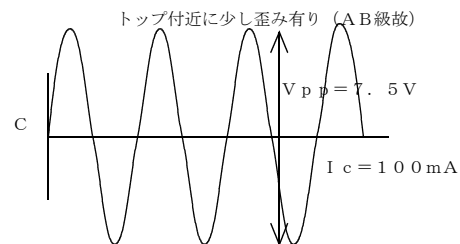
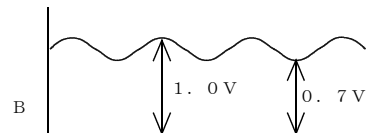
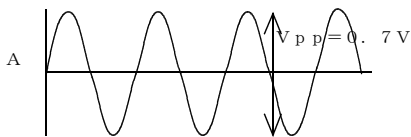
初期設定 設定箇所は1カ所のみ

- (1) 入力信号なし、1kVRを中間位置とし、電源オン
- (2) コレクタ電流が50mA~70mAとなるように、1kVRを調整。→65mAとする。

動作例

入力信号 9MHz正弦波、1Vpp
出力負荷 60Ωとして、
出力信号 15Vpp、
この時のコレクタ電流 直流で170mA

電源+12V, 無入力時 $I_c = 70\text{mA}$ に設定、入力信号 8MHz



その他

入力大とすると、出力大。
出力 $V_{pp} = 14\text{V}$ でも、 $I_c = 140\text{mA}$ 、かつ発熱小。

Amp-1でのほぼ同じ特性を示す。が、
Amp-2は、A、B点での電圧は同じだが、
何故かC点での電圧が極めて小さい。Icも
初期設定値とほぼ変わらない???

図1 回路図、素子の説明及び若干のメモ

2. 設計・製作

図1に、回路図を示す。参考文献(1)の回路図そのものである。今回素子を手入手するに当たって、少し手間がかかったのは、高周波パワートランジスタ2SC1970だけであつた。既に、廃品となつていた。が、発振器の素子と同じく、ネット販売で入手することができた。原価は1個1600円程度。その他の素子類は、秋葉原で簡単に入手できた。

この増幅器は参考文献(1)でも記されているが、AB級動作である。即ち、歪みのない正弦波が入力しても、増幅された出力波形には片端部に若干の歪みが残る。後掲の写真3を参照。著者としては、歪みのない、綺麗な正弦波が欲しい。が、まず、本回路で正常動作をする増幅器を複製することが第一である。正弦波に歪みのないA級動作をする回路の製作は、次の課題である。

採用したこの高周波増幅回路は非常に巧妙な回路であり、素子数も少ない優れた回路でもあると思う。著者の理解した所では、パワートランジスタの熱暴走を防ぐために、ダイオード1S1588をトランジスタに熱接触させ、「コレクタ電流 I_c の増加→トランジスタの加熱→ダイオードの加熱→ベース電流の低下→コレクタ電流の低下→トランジスタの加熱減少→ダイオードの加熱減少→ベース電流の増加→コレクタ電流の増加→」の閉サイクルで、パワートランジスタの悪特性である熱暴走を防いでいる。パワートランジスタにダイオードを熱接触させ、トランジスタの熱暴走を防ぐ典型的な回路である。しかし、このダイオードには、もう1つの重要な役割を持たせている。トランジスタのベース電圧 V_{BE} のバイアス電圧分も供給させているのである。シリコンダイオードの順方向電圧降下分約0.8Vがトランジスタのベースのバイアス電圧となっている。つまり、ベース電圧に付加されている。これにより、トランジスタはB級動作ではなく、AB級動作するようになっている。うまい方法である。回路の動作時に、回路図のB点をオシロスコープでモニターしてみた。中間電圧は直流約0.8V、それに入力の正弦波交流がのっていた。

図2に、プリントパターン図を示している。参考文献(1)に掲載されていたパターン図をなぞるようにして作成した。素子類は「表面」実装となる。製作は参考文献(1)を手引きにしていれば、何の困難も無く作り上げられる。ただ、ダイオードとトランジスタの熱接触を確実にし、トランジスタの放熱に留意すること。

特記として記述しておく点がある。1kVRの可変抵抗を回しすぎないことである。回しすぎると、回路図から読み取れようが、可変抵抗の抵抗値が極端に小さくなり、ダイオードに過電流が流れてしまう。当然、この電流は小さな抵抗値となっている可変抵抗中も流れる。可変抵抗が焼き付く。実際、著者は不注意にも、可変抵抗1個を焼いてしまった。

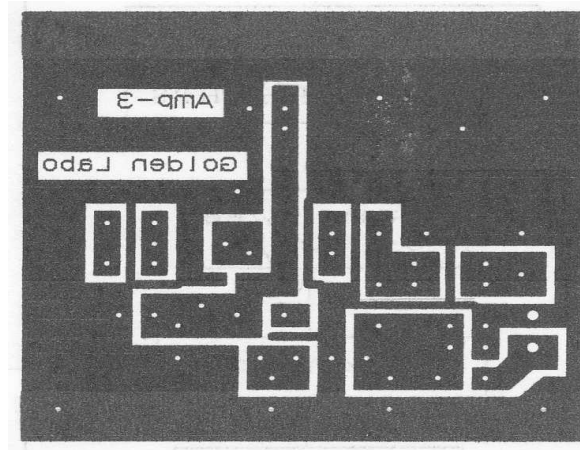


図2 プリントパターン図。素子は「表面」実装とする。

3. 調整・特性

回路が組み上がったら、調整箇所はただ1カ所である。但し、ダイオードとトランジスタの間の熱接触及び絶縁が確実であることが前提である。調整・特性については、参考文献(1)が詳しい。詳細は文献に譲るが、少し記述をしておこう。

電源を入れる前に、1kVRは最大抵抗値としておく。試験・調整時には、+12Vの電源線は電流モードとしたテスターを経由して供給すること。大凡のコレクタ電流 I_c (これは電源の電流値と程同じ)を常時モニターしておくためである。コレクタ電流をモニタ

一し、無入力信号時、 I_c が50mA～70mAとなるように、1kVRを調整する。これだけである。が、くれぐれもこの可変抵抗を回しきることが無いように留意すること。 I_c が200mA以上となると、トランジスタの発熱が目立って来るのが解る。十分に許容以内ではあるが。負荷を60Ωとした時、入力信号電圧振幅に対して、10倍以上の出力信号電圧振幅が得られる。

試験測定例の1例

入力	9MHz 正弦波、1V p p
ダミー負荷	60Ω
出力	15V p p
電源電流	170mA (≒ I_c)

4. 本増幅器のA級動作への変更

以上で紹介した本増幅器は、参考文献(1)で明記しているとおりAB級動作である。回路図1を理解すれば、この増幅器をAB級動作から、A級動作へ変更するのは、至って簡単であることが分かる。トランジスタの V_{BE} 電圧中の直流バイアス電圧分を少しプラス側に増大すれば良い。そのために、回路で幾つかの試行を行った。最終的に、図3で示している回路変更とした。ダイオードのカソード側に抵抗を接続して、アースするだけである。この抵抗により、かつ1kVRの設定値にもよるが、 V_{BE} のバイアス電圧を少し大きくすることができるようになる。もし、A級動作を要求しなければ、抵抗を取り付けず、カソードを直接アースにすれば、AB級動作をする図1の回路そのものとなる。

調整においては、前と同じようにテスターで I_c をモニターしておくこと。電源を入れる前に、1kVRを最大値としておく。電源を入れてから、テスターを観察しながら、可変抵抗値をゆっくり回し続けていく。増幅器は途中からAB級動作(写真3を参照)をし、更に可変抵抗を回すとA級動作(写真4を参照)となる。当然A級動作時の I_c は大きくなる。

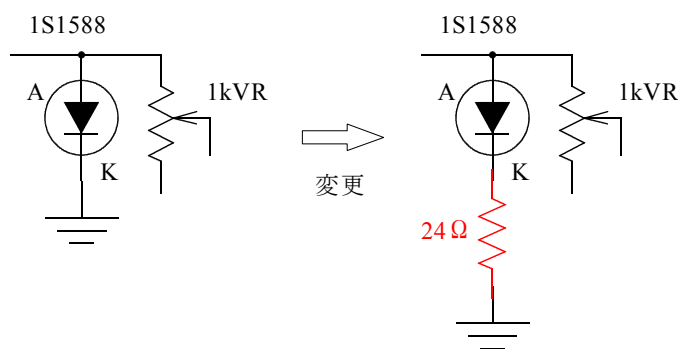


図3 AB級動作からA級動作のための回路の変更部

AB級動作と比較すると、A級動作では大きな直流コレクタ電流が流れ続けるので、トランジスタでの消費電力が増大する。従って、発熱も大きくなる。トランジスタの放熱を確実にしておく必要がある。前述したAB級動作をする増幅器は、素子を「表面」実装していた。トランジスタの放熱は、トランジスタの放熱板(コレクタに接続)を、基板の銅薄板にシリコンシート板を挟んで取り付けていた。写真1を参照。最初、試しに、この増幅器をAB級動作からA級動作にさせてみた。図3の変更から分かるように、2つの回路の間の変更は極簡単に行える。A級動作時には、結構トランジスタが発熱をする。やはり、放熱をもっと効率的に行っておくべきであろうと考えた。

素子を「表面」実装ではなく、通常プリント基板の使用方法である、「裏面」実装としてみることにした。ここで、「裏面」とは、「表面」の反語として用いただけである。要は、「素子を通常通りプリント基板に実装する」ことを意味している。高周波回路なので、動作不調を来すのでは無いかと危惧したが、何らの問題も無かった。これにより、パワートランジスタには、大きめのヒートシンクを取り付けることができた。放熱はより効果的となったはずである。写真2がA級動作もする増幅器の外観である。トランジスタ部の配置形状が写真1と異なっているだけである。最終的のプリントパターン図は図4に示している。

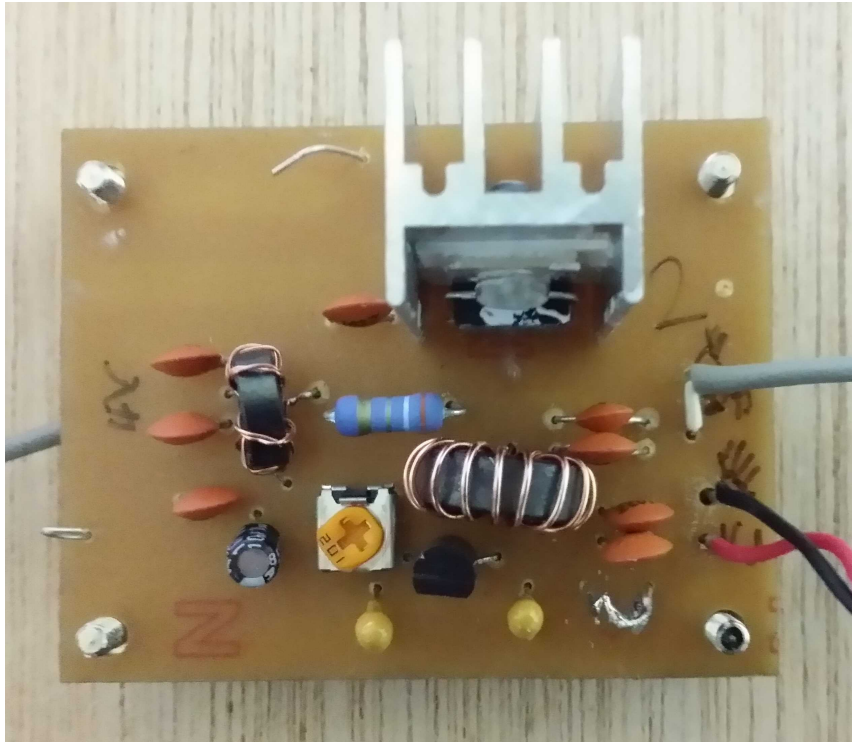


写真2 修正した増幅器。この基板では、追加の抵抗は基板の下に借り止めをしているので、表面上には見えていない。

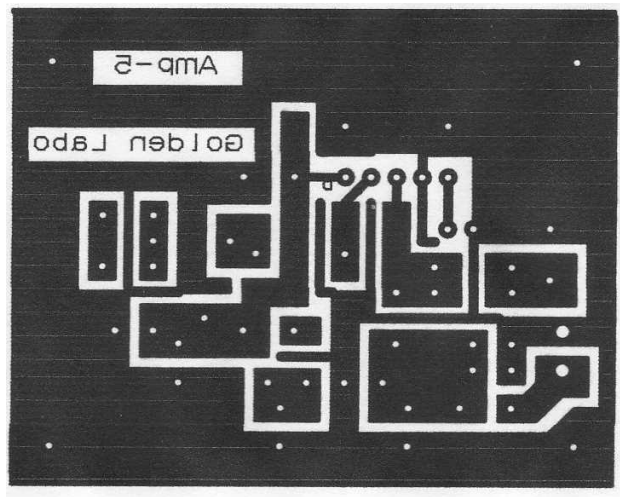


図4 最終の「裏面」実装のプリントパターン図

回路に変更を加えた増幅器では、1 k VRの可変抵抗器の調整で、A B級としても、A級としても動作させることができる。試験中の入力正弦波と出力正弦波をオシロスコープでモニターした画面を、写真3, 4に示しておく。

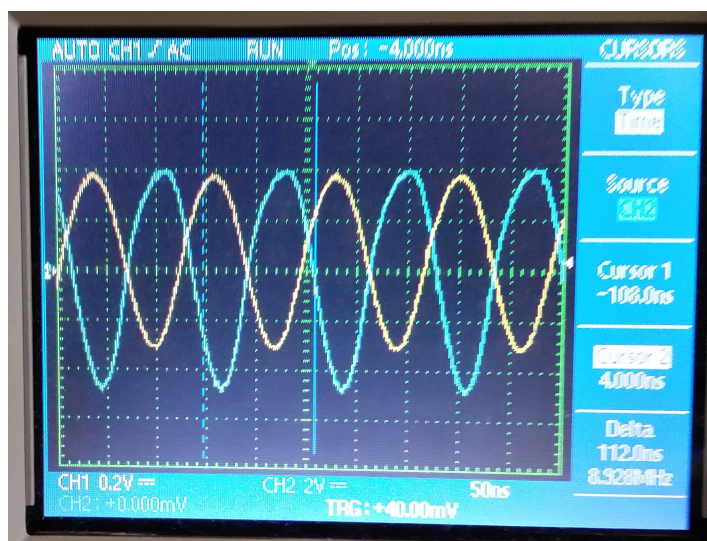


写真3 AB級動作の時の8MHz入力信号（橙色）と出力信号（青色）。出力信号の上端部に歪みが見える。

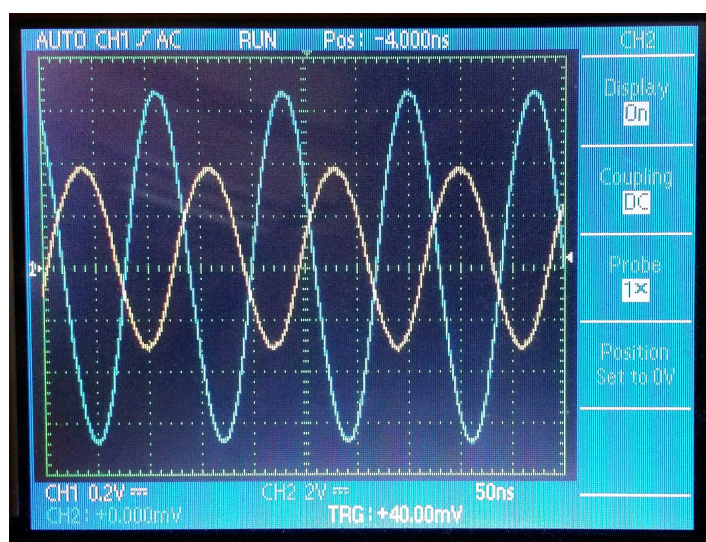


写真4 A級動作の時の8MHz入力信号（橙色）と出力信号（青色）。出力信号の上端部に歪みは見えない。

5. 終わりに

製作過程において気がついた点について、列記する。

(1) 当初、参考文献(1)に従い、素子を「表面」実装にしたが、「裏面」実装としても動作に何ら問題はなかった。複製するならば、「裏面」実装の方が良いであろう。

(2) ダイオードのカソード側に抵抗を付けることを勧める。この抵抗のない図1に示している回路の最初の製作・調整において、1kVRの可変抵抗を焼いてしまった。回路図1を見れば分かることである。可変抵抗を回しすぎると、5Vの直流電圧がそのままダイオードにかかることになる。過電流が流れ、可変抵抗が焼かれた。注意することに越したことは無いが、修正した回路のように、ダイオードのカソード端に数十オーム程度の抵抗を付けておけば、1kVRの可変抵抗を回しきってもそのような事にはならない。可変抵抗を回しすぎると、 I_c が増大過ぎるので、テスターで I_c をモニターしていれば、容易にチェックはできるが。

(3) 参考文献(2)で紹介している自作した高周波発振器の電源電圧は+15Vである。今回の回路の電源電圧は+12Vである。この直流電圧を+15Vに変更しても心配なく動作するであろう。電源電圧が同じ方が装置としては至便であるから。

(4) 高周波パワートランジスタ2SC1970は廃品種である。入手し難いかもしれない。CQ出版社の「トランジスタ互換表」を参考にした、2SC1970の互換品を、図1中に記しておいた。が、それらのトランジスタが容易に入手できるか定かでは無い。参考にした「トランジスタ互換表」は結構古いものでもあったので。聞く所によると、この「トランジスタ互換表」は、大分前に絶版・廃刊となつたらしい。今後は、最新の「トランジスタ規格表」の特性一覧を読み込み、2SC1970の互換品を自ら探す必要がある。著者がそれをやるかどうかは、未だ決めていない。2SC1970、及びその互換品を少し多めに在庫しているからである。

参考文献

- (1) 「高周波回路の設計・製作」、鈴木憲次、CQ出版社、1992年。
- (2) 「PLL-VCO方式の50MHz帯域正弦波発振器の製作」、金野茂男、2014年11月、著者のホームページ (URL <http://kinno-homepage.sakura.ne.jp>) で公開。

2015年 1月