

PLL-VCO方式の50MHz帯域 正弦波発振器の製作

金野茂男

1. はじめに

新システムの研究・開発過程で、10MHz以下～50MHz以上までの、正弦波出力で、且つ出力周波数精度が極めて安定しつつ、50Ωの負荷で数ワット以上の高周波発振装置を準備する必要が出てきた。メーカー品をネット検索すると、数十万円以上である。いや数十万円では無理かもしれない。そのような費用は出せない。自作することにした。

高周波装置の自作文献を検索し、参考文献(1)を見つけた。

文献の「PLL-VCO設計・製作」の項で紹介している高周波発振回路の仕様は以下の通りであった。

発振周波数	40MHz～60MHzのうちの10MHz幅
周波数ステップ	10kHz
周波数安定度	水晶発振器と同程度
発振波形	正弦波
温度範囲	0℃～50℃
電源電圧	12V～15V
出力電圧	470Ω負荷で0.4V～1.2V

発振周波数帯域は希望帯域全体を満たしてはならず、かつ、出力電力は低い。が、回路図を見ると、素子などの入れ替えで10MHz当たりの発振器の回路にもすることができそうであった。それ故、使用帯域ごとに回路を切り替え、次段に高周波増幅器(これも自作する予定である)を接続すれば、一応希望帯域全体を網羅する発振器となるであろうと考え、この回路を製作することとした。が、肝心の参考文献の出版年は1992年である。20年以上も昔の回路である。使用するべき回路素子などが未だ販売されているのか？入手できるのだろうか？と、一抹の不安を持ちながら、製作に着手した。結果、ほぼ仕様通りの高周波発振器を自作することができた。素子などの購入原価は5000円当たりで済んだ。第一段階は乗り越えた。写真1にその外観を示している。参考文献(1)に掲載されている写真と比較すれば、ほぼ同じ形状で仕上がっているのは確認できる。以下で本発振器の製作過程などについて報告をする。

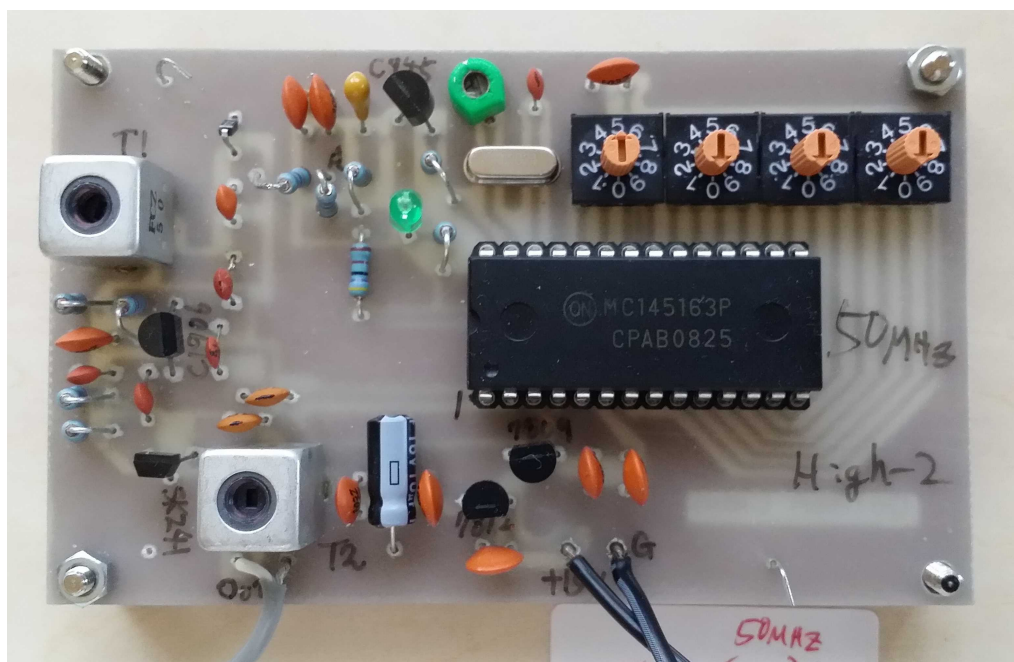


写真1 製作したPLL-VCO方式50MHz帯域高周波発振器

2. 設計・製作

製作した装置の回路図を図1に示している。ほぼ文献(1)の回路図と同じなので、この回路図の説明詳細は参考文献(1)に譲る。また、PLL-VCO方式の詳細な解説についても、文献(1)、或いはその他に譲る。が、少し概説をしよう。

PLLはPhase Locked Loopの略語であり、日本語では「位相同期ループ」。VCOはVoltage Controlled Oscillatorの略語であり、日本語では「電圧制御発振器」。高精度・高安定の水晶発振器を付加したPLL回路からの発振信号は、VCO回路を経由して出力される。と同時に、VCO回路からPLLにその信号はフィードバックされ、PLL回路で位相比較される。設定周波数からのズレ成分がVCOに出力され、出力信号の周波数は微調整され続ける。出力信号の周波数は常時比較調整されるので、その出力信号の周波数安定度は極めて高くなる。出力周波数は、使用する水晶発振素子の周波数に限定されず、PLL-VCO方式では、極めて容易に出力周波数を幅広く設定することもできる。

製作を開始するにおいて、まず使用する素子を調達する必要がある。各種抵抗やコンデンサ、3端子レギュレータ78L09、78L12、サムホイールスイッチ等は秋葉原のパーツショップで入手可能であった。が、PLL素子のMC145163P、コイルのFCZ50-10S、バリキャップの1SV161、FETの2SK241GR、トランジスタの2SC945、2SC1906は現在では全て廃品種となっており、秋葉原のパーツショップで入手することはできなかつた。廃品種となり、入手できない素子を、回路図を読み込んで、入手が容易な最近の素子で代替する方法がある。この方法は、回路に十分な知見を有する場合には賢明な方法である。が、そのようにして、製作した装置が動作不調となった時は、代替素子が1個か2個程度ならばどうにか解決はするであろうが、そうでない時には、当分頭を抱えることになる。フィードバックがかかっている場合の回路においては尚更である。回路図を見ると、2SC945は単に発光ダイオードを点滅させているらしいので、適当な2SCはいくらでもありそうである。別の2SC型でも問題なく動作し、他の部分の動作に影響を与えないであろう。

が、他の素子の交換を考える前に、どうにかして廃品種を探し出すことにした。近年、ネット検索は非常に有能である。「幸運?にも」、廃品種のネット販売先を、それほど困難なく探し出し、購入することができた。図1の右側に、購入したネット販売先、価格などを書き込んでいる。希望する素子自体の価格はそれほど高くはなかつた。が、送料及び手数料が結構高かつた。しかし、現品を入手することができたので満足ではある。

VCO部における高周波の発振には、変形クラップ型発振回路が採用されている。参考文献(1)には、この部分については殆ど解説が行われていない。バリキャップとコイルでLC共振回路を形成している。バリキャップにかかる電圧で、バリキャップの容量Cが変化し、その結果、発振周波数 f_0 が変化をする。実際には、近傍のコンデンサ類の容量も寄与をしている。が、共振周波数 f_0 の主たる変化はバリキャップの容量Cに依存する。この f_0 の詳細、及び変形クラップ型発振回路については、ここでその詳細は記述しない。参考文献(2)が詳しい。それに譲る。

文献(1)には、基板のパターン図、及び実物の写真も掲載されていた。実は、著者は基板パターン作成ソフトPCBEを使用して、最初、自前で基板パターンを作成した。素子を実装し、動作試験に取りかかった。一応良好に動作するのであるが、時折、不安定な動作を引き起こすこともあった。何故、不安定となるのか? 少し頭を悩ました。格言を思い出した。高周波回路においては「素子・部品の配置、基板のパターン線の太さ、アースパターンの配置等にノウハウがある。」そして、素直に、文献(1)に掲載されているパターン図をなぞり、回路パターンをPCBEソフトで再作成した。図2がそれである。

両回路パターンで異なっている点は次の点である。参考文献(1)ではサムホイールスイッチを外付けとし、配線コードで結んでいたが、本回路では、サムホイールスイッチを基板上に配置することとした。この点だけが、相違点である。図2のパターン図で作成した回路は、初回の基板の場合と異なって、不安定動作を起こすことなく、良好な動作を行った。

文献(1)の回路パラメータとの違いは1カ所ある。2SC1906のエミッタ抵抗の値である。文献では、この抵抗値は1k Ω であったが、この値を小さくすると、動作が良好となった。本回路では230 Ω とした。トランジスタの電流増幅率 h_{fe} のばらつきによつたのであろうか?

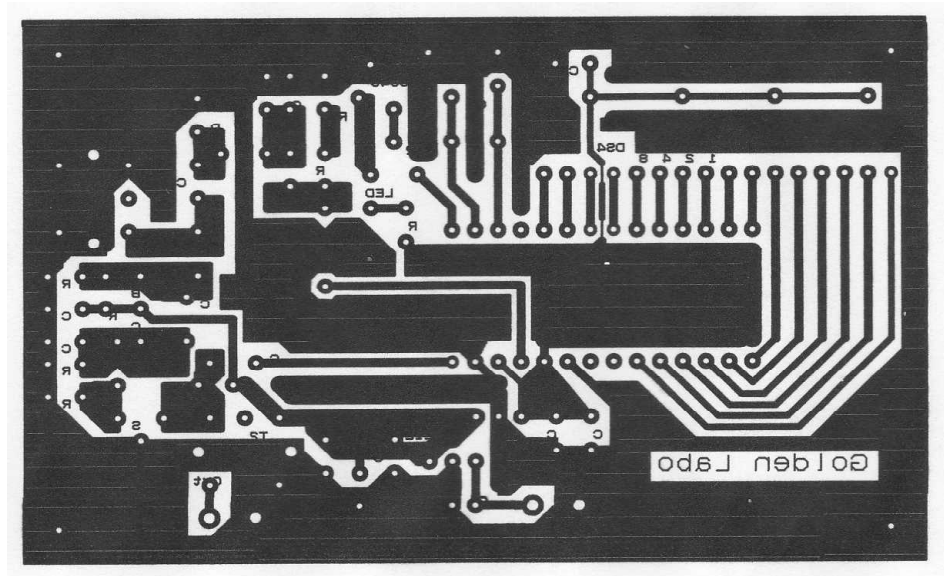


図2 片面基板のパターン図

3. 調整・特性

回路の調整方法は文献(1)の通りである。それを参考にするのも良いが、以下に手順を記述する。調整においては、高周波帯域まで測定可能なオシロスコープと周波数カウンタが使用できるならば、確実である。

(1) FCZコイルのコアの位置はノーマルとしておくこと。電源を入れる。PLLに正常にロックがかかっている場合は、LEDは明るく点灯し続ける。点滅が目につくような場合、或いは点灯しない場合には、T1とT2のコアを少し回して、ロックがかかるようにする。周波数カウンタがあれば、出力をモニターしておくことと便利である。LEDが明るく点灯し続けるようにならないならば、回路製作においてどこかに不良がある。真っ先に、直す必要がある。

(2) サムホイールスイッチを「5000 (= 50.00 MHz)」に設定し、出力をオシロスコープでモニターしながら、出力電圧振幅が最大になるように、T2のコアを回す。

(3) サムホイールスイッチを「4500 (= 45.00 MHz)」に設定し、回路図中のA点をオシロスコープでモニターしながら、その直流電圧値が約2Vとなるように、T1のコアを回す。

(4) サムホイールスイッチを「5500 (= 55.00 MHz)」に設定し、A点の電圧値が4V~6V当たりになっていることを確認する。

図3に、完成した回路の特性グラフを示している。グラフを整理整頓していない生グラフなので、少し見難いかもしれない。回路には幾つかの調整箇所がある。大雑把の調整ではあるが、45 MHz以下~55 MHz以上まで良好な出力特性を示している。著者の主眼とする周波数帯域はこのあたりなので、十分な動作特性を示してくれている。

必要に応じて、より微細な調整、或いは、素子パラメータの変更などをすれば、40 MHz以下、或いは60 KHz以上での発振も可能であろうと考えている。

4. 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) ネット販売で購入した各素子自体の価格はそれほどではなかったが、手数料及び搬送費が比較的高くついた。それらの経費分を除けば、部品代は5000円以下である。非常に安価に高周波発振器を準備することができた。

この高周波発振器を今後製作するにしても、生産終了となった部品の調達は次第に困難となろう。使用する部品の代替品を見つける必要がある。規格表などを参考にすれば、バリキャップ、トランジスタ、FET等は見つけられよう。が、FCZコイルは？ FCZ研究所のホームページは生きていた。読んでみると10年以上も前にFCZコイルの生産を中止したとのこと。が、FCZコイルの解説文があるので、それを参考にして自前でコイルを巻き上げる方法もある。トライ&エラーでどうにかなるかもしれない。これらを著者がやるかどうかは未だ決めていない。実は必要な素子は複数個入手していることと、高周波回路に関する知見が未だ未だ未熟でもあることで。

(2) 本回路では、発振周波数の設定は主にバリキャップ1SV161の容量変化、即ち、印加電圧の変化で行われる。従って、より大きな容量のバリキャップを使用すれば、発振周波数をより低周波側に移動させることができよう。逆に、小さな容量のバリキャップを使用すれば、発振周波数をより高周波側に移動させることができよう。希望するようなバリキャップは「ダイオード規格表」で探し出せよう。が、必要であったとしても、個人的に、簡単に入手できるかは定かではない。

(3) 特性測定グラフから分かるように、発振出力は、周波数に対して平坦ではなく、ピークを持っている。FCZコイルのコアを回すことによって、共振ピークを移動させることができる。希望する波長でピークを得ることができよう。

(4) 50MHz帯域での発振器の製作に成功した。それを基に、21MHz帯域での発振器も製作した。一応良好な動作結果が得られた。微調整をしてはいないが、付録として、21MHz帯域制限は発振器について追記しておく。

(5) 当面必要な周波数帯域は、50MHz帯域と21MHz帯域である。高周波発振器の製作は一応ここで終了することとした。

(6) FCZコイルは、アマチュアハムバンド帯域に対応して、各種が提供されていた。本回路は、各帯域に対応したFCZコイルを使用すれば、各帯域での高周波発振器として動作しそうである。

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) 「トランジスタ回路の実用設計」、渡辺明禎、CQ出版社、2005年。

2014年11月末日

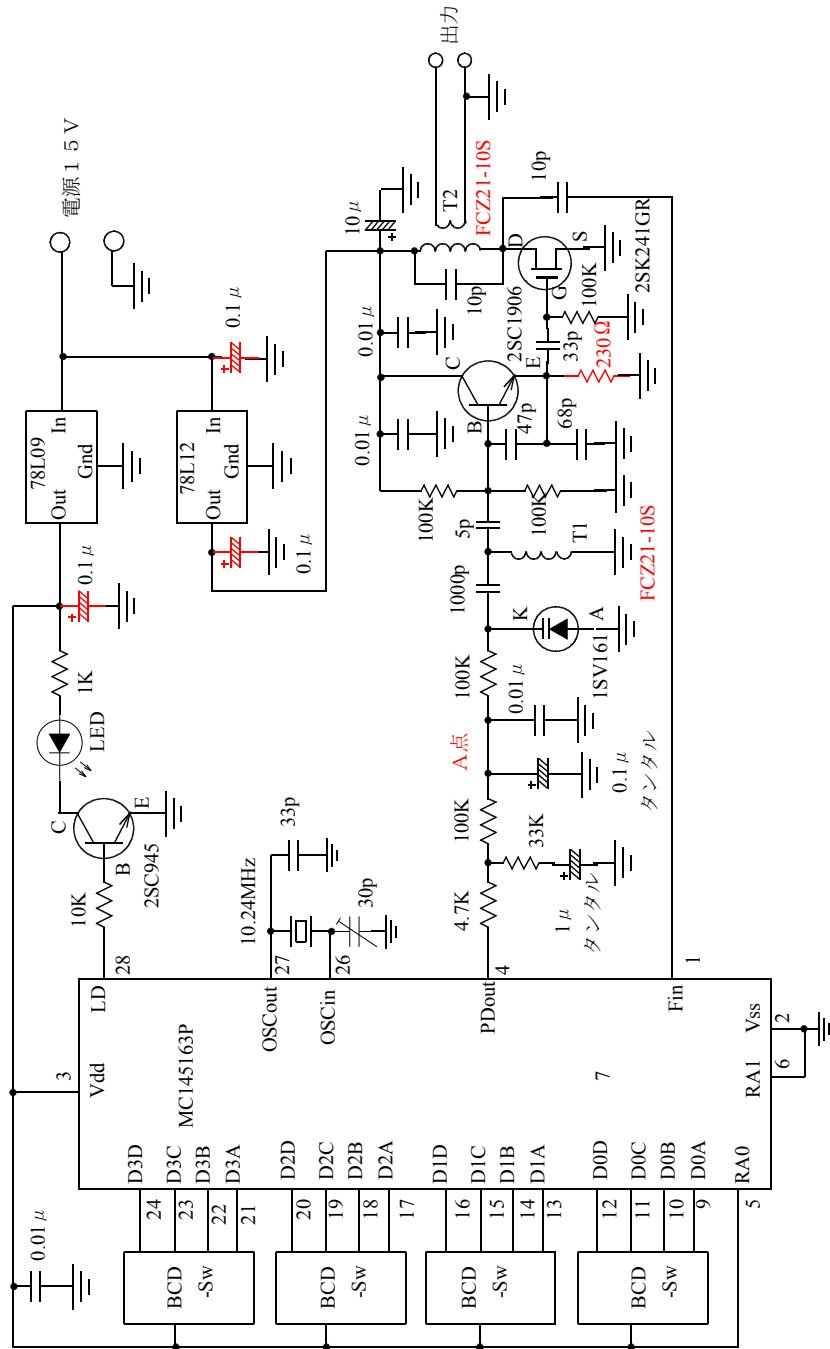
付録 21MHz帯域高周波発振器の製作

50MHz帯域高周波発振器は、大凡仕様通りにできあがった。回路図を見ると、50MHz対応のFCZコイルを、21MHz対応のFCZコイルに変更することで、21MHz帯域での高周波発振器として動作するのではないかと考えた。結果、現時点では、発振周波数帯域幅が少し狭いが、21MHz帯域で正常に動作する発振器も作り上げることができた。付図1が、その回路図である。回路パターンは50MHzの時の回路パターンと全く同じである。

T1, T2のコイルは、図1ではFCZ50-10S、付図2では、FCZ21-10Sとなっている。図1でのT2コイルの並列コンデンサは10p。付図1でのそれは36pとなっている。FCZコイルのデータシートで指定されている値とただけである。ただ、2SC1906のエミッタ抵抗は付図1では1kΩとしている。230Ωでは動作が芳しくなかったからである。今のところ他の箇所の変更はしていない。が、バリキャップ、その傍の1000pの値などをトライ&エラーで変更をしてみるのも良いのかもしれない。

PLL-VCO方式の高周波発振器 21MHz帯域

50MHz帯域の回路とほぼ同じ。当面、FCZコイルを50MHz用から21MHz用に変更
基板パターンは全く同じ。



付図1 PLL-VCO方式21MHz帯域高周波発振器の回路図

2014年12月5日