

はじめに

思いがけずローカルの OM から、NEC の μ PG506 という 5~14GHz までを 8 分周するプリスケラ IC を QSY していただくことができました (ちょっと高かった! ...), これを使って現用のカウンタ (2.5GHz) で 10GHz 帯が測定できるプリスケラ・ユニットをつくることにしました。この IC を載せる基板は幸いにもこの種の IC 用のプリント基板がマキ電機から発売されていたので、新しく作る手間がはぶけました。ケースもちょうど手元にあったデュープレクサ用につくっておいた、アルミくり抜きのケースがあったので基板の周囲をカットして押し込みました (写真 1)。

プリント基板には IC を除くすべての部品がついていますから、組み立てといっても IC とコネクタを取り付けるだけですみました。電源は 6V が必要ですが 6V という電圧はあまり使わないので、間違えて高い電圧を加えて虎の子のプリスケラをパーにしないように 7806 をケース内の空きスペースに組み込みました。

さっそく灯を入れてみると (この言葉は真空管時代のものですネ)、予定どおり 10GHz を快適にカウントしてくれます。そこでどの周波数まで測れるかと調べてみたのが、第 1 図の 印です。参考のためにメーカー発表の周波数特性をデータ・シートから移したのが第 1 図の点線 (印) です。これから見ると私のつくった物は規格内に納まっているとはいうものの、どういうわけか全体として 2GHz ほど低いほうへズレています。OM の話によるとこの種の IC は個々のバラツキが大きいとのことで、とくに高い周波数では急激に感度が落ちるためバラツキの傾向が大きくなるようです。また温度による変化もあって限界周波数の近辺ではカウントが不確実になります。

こうした傾向は他の周波数の IC でも同様で、5GHz 用の μ PG501 を使ったプリスケラの実測値を第 2 図に示しました。これから見てもちょうど 5GHz 付近は μ PG501 でも -506 でもカウントのできないスポットになっているようです。

この他にも入力レベルの小さいところでは 1/8 ではなく、1/4 または 1/2 の周波数が出てくることもあり、この場合入力を増やしていくと一度カウントしなくなりますが、さらに入力を入れていくと正規の 1/8 分周をしてくれます。

新しいプリスケラ IC を使う

このように NEC のプリスケラは対応する周波数範囲が比較的狭く、2GHz くらいから 10GHz までをカバーするには 2~3 個の IC が必要になってきます。これではちょっと痛い出費なので、何とか 1 個でカバーできる IC はないかと各社の規格表をひっくり返して探してみました。なかなか適当な物が見つかりません。

ところがドイツのマイクロウェーブ・アマチュア向けの季刊誌「DUBUS」の 1993 年 #2 に 1GHz から 12GHz までカウントするプリスケラの記事があるのを見つけました。使用されている IC はなんと高土通の FMM110FG で、規格では 600MHz から 12GHz をカバーし、分周比は 1/8 です。

私の持っている高土通の 93 年度版通信機用 IC の規格表には載っていませんでしたから、見つからなかったわけですが、さっそく代理店へ問い合わせると、価格は 25K 円だったので NEC の IC よりも高価ですが、1 個ですむことを考えるとこちらのはうに單配が上がります。それに電圧も 5V 動作なので他の IC と同じに使えるのもうれしいところです (NEC のプリスケラは周波数によって違い -506 が 6V、-501 が 10V と分かれています)。第 3 図にこの IC の規格を示します。

そして今回はこの IC の前に感度上昇とプリスケラの保護を兼ねて HP 社の MGA-86576 というガリウムひ素の MMIC のプリアンプをつけてみました。第 4 図にこの IC の規格を載せておきました。これからわかるように 1~10GHz 以上まで 10dB 以上のゲインを持っていて、飽和出力も最大 7dBm なのでプリスケラをオーバ・ドライブで破壊することはありません (このことは誤って強電界にさらしてもプリアンプは壊れても高価なプリスケラは無事なようにと考えました)。しかも 5V の単一電源と抵抗 1 本で動作するので回路も簡単になります。

今回もこれらをアルミくり抜きのケースに収めました。第 5 図にこのパターンを、第 6 図に組立図と回路図を示します (写真 2)。電滞はポータブル使用と固定での使用を考えてコネクタからと外部端子からのいずれからでも供給できるようになっています (後述)。第 7 図にこのアンプ付きプリスケラと単体との感度特性の比較結果を示しました。5 個の測定結果では十分に感度の改善が認められました。

ゲート時間の変更について

プリスケラができて親になるカウンタのゲート時間がそのままでは正しい表示をしてくれません。プ

リスケーラが 1/8 なのでゲート時間は今までの 8 倍にする必要があります。その改造はそれほどむずかしいことではありませんが、改造箇所や使用する IC はそれぞれの親カウンタによって違うので、各自で回路図を見て考えてください。一例を示すと第 8 図のようにゲート時間回路の中に 1/8 分周の IC と 1 回路 2 接点のスイッチを追加する必要があります(この場合、親カウンタは 1.3GHz までカウントできるものが必要です)。

いまひとつの方法は DL6WA が 1983 年に「CQ - DL」誌に発表したレート・マルチプライヤを使って全体として 1/1000 分周するものです(参考文献 2,6)。これならカウンタ本体には手をつけず、表示値を MHz を GHz に読み替えるだけですみます。この回路については当時「CQ」誌で紹介したのでご記憶の人もいらっしゃると思いますが、第 9 図に FMM110HG に対応する回路を示します。ただ残念なことにここで使う 74167 が廃品種になったのか、入手しにくいようです。

しかし、この 1/1000 分周する方法は親カウンタに手をつけずにすむという魅力があるので、何とか他の IC で代用できないかとなし知恵を絞って考えだしたのが第 10 図の回路です。この回路は 2NAND ゲートとそれのコントロール用の 1/5 分周のカウンタから成り立っています。

ここで回路の動作を簡単に説明すれば、第 11 図のようにゲートに入るパルスのうち 4 パルスを通し 5 パルス目をカットすれば、結果として 4/5 分周になるという考えです。入力パルスは HC00 のゲート 1 と HC390 の B 入力にバラに加えられ、HC00 のゲート 2 は HC390 の D 出力を反転して与えられていますから、4 パルスまでは H となって出力は入力パルスを反転したものが出てきます。

4 パルス目が L になるとカウンタの D 出力は H となり、HC00 のゲート #2 は L に落ちて出力は H となり、5 パルス目が終わるまで続きます。HC390 の B 入力は 1/5 分周カウンタですから、以上のサイクルを繰り返します。したがって第 10 図のようにこの回路を 3 段通すことにより 64/125 分周回路となり、74167 を使った回路と同等の動作をさせることができます。

この回路のパターンを第 12 図に示します。

親カウンタの基準発振周波数の安定度について

これらのいずれの方法をとるにしても、親カウンタの基準発振周波数の安定度をチェックしておいてください。とはいっても安定度の測定には一段と精度のよい高級なカウンタがあれば最適ですが、なければ HF 帯の受信機で JJY とビートを取って確かめる方法や TV の 3.58MHz のカラー・バースト信号から正確な 10 MHz を作り出すキットなどがあるので、なんらかの方法で確かめておいてください。いずれにしても基準発振が裸の水晶にトリマの組み合わせというのは、マイクロ波カウンタとしてはいただけません(この手のカウンタが多いのです)。

そこでこの際できれば基準発振器を精度の高い OCXO か、せめて TCXO に交換することを考えてください(基準周波数はそれぞれカウンタの設計によって違います)。

ハンディ・カウンタの製作

プリスケアラができて 10GHz までの測定が簡単にできるようになると欲が出てくるもので、高価なプリスケアラを室内実験用だけで使用するのはいらないと感じるようになりました。そこでこれと組み合わせて移動運用時に自局の周波数の監視用に使えるようなハンディ・カウンタをつくってみようと思立ちました。

それというのも 2.4GHz から上のリグはほとんどがトランスバータ構成のため、局発 ± 親機の周波数が目的周波数になります。したがって局発の周波数が正確にわからないと親機をどこにセットしてよいのが困ることになります。

またトランスバータが何台もある場合は、互いの親機が干渉しないよう局発周波数をズラしておかなければならないので、ますます混乱します。このためトランスバータ本体に親機や局発の周波数を表示しておくのですが、表示場所が悪いと移動現場では他の機器の影に隠れてしまったり、温度の変化でドリフトしていたりして、周波数の確定に苦労するものです。まして借り物のリグだったりすると、まったくお手上げになる事態はよく経験するところです。

そんなときに手軽に自局の周波数を確認できるものがあれば便利だろう...と考えたのがこのカウンタをつくる動機でした。このような目的のためか数社から電地式のポータブル・カウンタが発売されていますし、アメリカでも Optoelectronics 社から最高周波数が 2.5GHz のハンディ・カウンタが数種類発売されており、日本にも輸入されています。

しかしこれらにプリスケアラを付けるとなると、上述したようにゲート時間を切り替える必要があり、しかもハンディ用として切り詰めた設計なので改造はちょっとやっかいです。それに屋外での使用を考えてい

ない製品も多く、屋外では表示が見えにくいのも大きな欠点です。

そこで既製品を使うのはあらかじめ単体で 2.5GHz まで、プリスケアラを付けて 12GHz までが測定できるハンディ・カウンタをつくることにしました。

回路構成について

このカウンタの回路は第 13 図のとおりです。メインになる IC は C-MOS IC の TC5032P (東芝) を使いました。かつてカウンタ用 IC が数多く発表されていましたが、いつの間にか淘汰され市場に見当たらなくなってしまったのは残念なことです。この IC も製造中止になったとのことですが、まだ市場には多少在庫があるようです。

この他に入手できる IC としてはハリス社(旧インターシル社)の ICM7216B などがありますが、ゲート時間の切り替えが自由にならないので、プリスケアラとともに使うのはちょっと不向きです。

ディスプレイには HP 社の HDSP - 3603 という縞色 7 セグメント LED を使い 6 桁表示にしています。はじめは屋外使用を考えて LCD 表示を計画していたのですが、液晶はほとんどがカスタム・メイドで、ここで使えるような小型の物は見当たりません。なれば高輝度 LED をと探したのですが、これも規格表にはあっても市場に出ていなかったり製造中止であったりして入手できる種類が限られてしまいます。

やむをえず入手できる物を気長に探すこととしてとりあえずジャンク箱にあった手持ちの HP 社の上記の物に落ち着いたのです。この LED はかなり明るいほうですが、直射日光の下での読み取りは無理です。それでもちょっとした日陰をつくってやれば日中でも読み取ることができるので、一応ポータブルの目的は果たせます。

LED ドライバはありふれた C-MOS の 4511B、ゲート回路に HC00、ラッチ/リセット制御回路には私の好きな 4017B を使いました。本体内のプリスケアラには 2.5GHz まで使える MB506 (富士通) を、続くプリカウンタ(?)には 1/2HC390 を使っています。これらの IC や回路はこれが絶対というわけではなく、同等の動作をしてしかも消費電流の少ない回路であればそのほうがベターです。

回路の動作について

プリスケアラやカウンタの回路については、これまで多くの方がた書いているので、とくに説明の必要もないと思いますので省略します。詳しくお知りになりたい方は参考文献 3, 4, 5, 6 をご覧ください。ただ、さきに“プリカウンタ”という用語が出てきましたので、それについて説明しておきます。

この用語は正式なものではなく私が勝手に付けた名前ですが、これがこのカウンタのミソと自負している部分です。というのも通常カウンタは最下位桁の表示に ± 1 カウントの誤差があることはよく知られています。そのためふつうはゲート時間を切り替えて確度を上げるようにしていますが、ゲート時間を延ばせばそれだけカウント時間は長くなります。

本機では屋外でのポータブル使用を考えて電源も内臓バッテリーから供給していますから、1 回のカウント時間が長くなるのは電池の消耗を考えるとできるだけ避けたいのです。ここではゲート時間を約 0.5 秒、したがってカウント時間を約 1 秒に設定しました。

FMM110HG の分周比が 1/8 で、これをさらに MB506 で 1/64 にすると合計 1/512 になります、いま 10.24GHz を 512 分周すると 20MHz になり、これを 512ms のゲートでカウントすると表示は“10240000”の 8 桁が必要です。ところが TC5032P は 6 桁カウンタ用 IC のため、頭の 2 桁がオーバフローしてしまいます。さらに TC5032P の最高カウント周波数は 14MHz (5V 時) なので電圧を上げたとしても、ちょっと追い付きません。

MB506 の分周比を 1/128 にして全体の分周比を 1024 に上げると、周波数の問題はクリアしますがカウント時間は 2 秒必要になります。またオーバフローを頭の 1 だけ認めるとすれば、カウント時間を 1/10 にすればよいのですが最下位桁の 10kHz に ± 1 カウントの誤差が出てきます。この誤差はちょっと大きく DX 運用で待ち受け交信に使うにはいま 1 桁の精度が望まれるところです。

これらの問題を解決しようと考え出したのが、前述のプリカウンタです。これは TC5032P の前段に設けた HC390 (1/2) です。この IC で最大周波数は 21MHz をクリアし入力パルスを 1/10 にカウント・ダウンして TC5032P に与えるわけです。この IC の動作がプリスケアラと違う点は、表示桁を持たないカウンタとしての動作をしていることです(ゲート回路を通った後に接続されていること、4017 からリセット信号を受けているなど)。これによってこの桁で ± 1 カウントの誤差を吸収するようにしています。

したがって 6 桁表示の最下位の 10kHz 台に ± 1 カウントの誤差は出ません。また 10GHz を超えると最高桁の 1 がオーバフローとなり見えませんが、これを表示しなくても使用条件から読み取りを間違えることはないと考えました。

ゲート時間回路について

ゲート時間用基準発振器は 12.8MHz の TCX0 を使いました。ここはカウンタの精度を決定する心臓部なので、もっと安定度のよい物を使いたいところですが、大きさと入手の容易さを考えてこれに落ち着きました（これは 12.8MHz に限ったことではなく、10MHz でも 12MHz でも、要は TC9122 で分周して 4kHz が出てくる物なら何でも使えます）。さきに全体の構成のところでも述べたようにゲート時間は 512ms、デューティ 50 なので、周波数は 0.9765625Hz となります。この周波数を得るために TC9122 で 3200 分周、つぎに TC 4020 で 4096 分周しています。

TC9122 はプログラマブル・デバイスでゲートのため分周比の変更が容易で、基準発振を 10MHz にした場合は 9122 で 2500 分周すれば目的のゲート時間を得ることができます。4017 のクロック用として 8ms のパルスを、またゲート用パルスをメイン基板へ送っています。

ここでプリスケアラを外してカウンタ単体での使用を考えてみます。MB506 の分周比がこのままでは正しい表示ができません。ゲート時間を固定すると MB506 で 1/512 分周できればよいのですが、MB506 は 1/64, 1/128, 1/256 にしか切り替えられないのです。そこでゲート時間を半分の 256ms、MB506 の分周比を 1/256 に変更すれば OK です。具体的には MB506 の SW1 および SW2 端子が +5V のときは 1/64 となり、オープンで 1/256 になります。2 回路 2 接点のスライド SW を使ってゲート時間と MB506 の分周比を切り替えるようにしました。

ここで 4017 の動作について説明しておきます。第 14 図にピン接続図とタイミング・チャートを示しました。クロックは 4020 から 8ms のパルスを供給されています。リセット端子にはゲート信号が与えられています。ゲート信号が H から L に遷移すると（カウントが終わると）4017 が ON になり、クロックにしたがって Q1, Q2, Q3, Q4 が順に H になります。

このうち Q1 のパルスをラッチ・パルスに Q3 をリセット・パルスとして使っています。Q4 端子はクロック・イネーブルに接続されていますので、Q4 が H になった瞬間クロックは受け付けなくなり、以後リセットがかかるまで（ゲート信号が H になるまで）この状態を保持します。以後このサイクルを繰り返します。この方法ではパルスの幅と位置を自由に設定することができるので私は愛用しています。

電源回路について

電源はポータブル用としてニカド電池を使うのがふつうですが、どうも私はニカド電池は苦手で、いつも使うときになって電池切れに悩まされています。それに電池の入るスペースが単 3 電池 5 本ぶんしかなかったのでニカド電池ではフルチャージで 6V、レギュレータ出力 5V を確保するためには 0.5V のマージンしかありません。そのためニカド電池の使用は止めてアルカリ乾電池を使うことにしました。

ケース内でショートなどが起こらないように電池 5 個をシリーズに接続して 50mm の熱収縮チューブで固定しました。また固定用としての使用も考えて電源ジャックも付けたので外部電源も使え、これは 5.5V 以上で動作します。回路には低ドロップのレギュレータ用 IC LM2940CT - 5 から供給しています。FMM110 HG にはコネクタを通じて信号ラインに重畳して 5V を供給しています。電池運用時は電源スイッチを押しているときだけ ON となるよう押しボタン SW にして電池の消耗をできるだけ少なくするようにしてあります。

外部電源使用時は常時 ON になりますが、これは外部で ON/OFF できるので問題はないと思います。全消費電流はプリスケアラの 130mA を含めて約 300mA です。LED の輝度を上げるために 4511 の出力抵抗を下げるとこの電流は増えます。このためにも低電流高輝度の LED が欲しいところです。

製作について

製作といってもデジタル回路のありがたいことは部品配置と配線さえ間違えず、ハンダ・ブリッジがなければスイッチ ON で動作する点です。このカウンタで配線らしきものはメイン基板とサブ基板間にクロック、ゲート、電源(±)の 4 本のリード線と MB506 と HC00 間、およびコネクタと MB506 間の同軸ケーブル、それに電池の ± の計 8 本だけですみました。あとはケースの加工さえできればできあがりということになります。

ケースははじめタカチの YM - 100 型というアルミ・ケースに収めました。その後同メーカーからブロンズ・アルマイトの FB 型 UC3 型ケースが発売されているのをみつけたので、第 2 号機からはこのケースを愛用しています。第 15, 16 図に配線とケース加工の要領を示しておきます。

また第 17 図はプリスケアラを付けた本機の全体図です。ピックアップ用のアンテナはセミリジッド・ケーブルを加工したスリーブ型アンテナを使っていますが、周波数によって長短何本かつくっておくのもよいと思いますが、私は今のところ 1 本で間に合わせています（写真 3）。

8桁表示に改造する

実際に使ってみるとなかなか快適で一応目指した性能には達していますが、やはり6桁では物足りない感じがします。ひとつには10GHzを計ったときに頭の“1”が表示されないことで、わかってはいるもののちょっと不安になるという感じです。いまひとつは±1デジットの誤差があっても、kHzオーダまで精度を上げて読み取りたいということでした。

このためには8桁表示にしなければなりません、さいわいHP社のLEDに字高は同じ7.62mmですが幅の狭いミニ・サイズの物があるので、これなら何とかケースの大きさを変えずに収めることができそうです。最下位はスタティック表示になりますが、4511を1個追加するだけで解決しました。4511へのラッチ信号は本来のラッチ・パルスをHC00で反転して与えることで解決しました。オーバフロー表示は余っているHC390のAフリップフロップを使って1を表示することにしました。この回路の主要な変更部分を第18図に示します。ここまでくると結局ありふれた7桁半のカウンタになってしまいました...

ただここでも高輝度のLEDの入手がネックでしたが、HP社のご好意で高輝度の赤色LED HDSP - A113をサンプルとして提供していただいたので、さっそく使ってみました(写真4)。また同社のアプリケーション・ノートによると、灰色のフィルタを使うとさらにコントラストを上げることができるとありました。目下このフィルタ待ちというところです。

カウンタ用ICといいLEDといい、適当な部品が市場から姿を消しつつあるようで、どうも自作派には暮らしていく世の中になってきたような気がします。?

おわりに

10GHzを超えるプリスケラが入手できるようになって(まだ高価ではありますが)、マイクロ波の実験がより身近にできるようになってきました。25k円十(10k円くらい)で10GHzのカウンタができると考えれば、プリスケラも高くはないかもしれません。思えばレツヘル線にはじまって空洞波長計などのアナログ波長計から、ディジタル・カウンタ(初期のTTL時代は30MHzどまりでした)、それにオプションとして周波数コンバータやプリスケラが出現してますます高い周波数の測定が誰でも手軽にできるようになってきたことは本当にうれしいことです。

またプリスケラは本来マイクロ波のシンセサイザ用に開発された物ですが、これを使った10GHz用のローカル・オシレータなども考えてみたいと思っています。

最後にこのプリスケラやカウンタ基板やICなどについて、また親カウンタの改造等について、ご希望の方は筆者までご連絡ください(ただしプリスケラは注文生産のため、納期は2カ月くらいかかることもあるそうです)。

参考文献・参考資料

- (1) HB9SLV and F1JSR, "A 12GHz Prescaler 1:8", 「DUBUS」, 2/1993
- (2) DL6WA, "Einfacher Vortejler fr Frequenzen bis ber 1 GHz", 「CQ-DL」, 6/1983
- (3) 太田 博 JA6AJB, "8桁ワンチップ・カウンタとプリスケラ", 「HAM Journal No. 44」
- (4) 田縁 昭 JA6BI, "1.5GHz 8桁周波数カウンタ", 「HAM Journal No. 44」
- (5) 稲見忠昭 JA4BBL, "0.1Hz~1200MHz 周波数カウンタ", 「HAM Journal No. 52」
- (6) 板場明雄 JA0EGP, "10GHz 帯周波数カウンタの製作", 「HAM Journal No. 84」