

第8章 複共振ラジオ

第5章から第7章のラジオは単一の共振回路を用いたラジオでした。これらのラジオは混信特性がよくありませんでした。そこで、この章では複共振回路を用いて、混信特性をよくしてみたいと思います。この複共振回路を用いたラジオを作ることによって、複共振回路を完全に理解できると思います。

●三端子ラジオIC

通称で三端子ラジオICというものがあります。一見トランジスタに見える外観ですが、ラジオに必要な高周波増幅、AM検波の機能がすべて入っているICです。この三端子ラジオICであるミツミのLMF501は今でも入手できると思います。100円ショップで売られている安価なAMラジオに、この三端子ラジオIC(LMF501とは限りません)の使われているものもあります。

LMF501のデータシート(ミツミ)に記載されている使用例を**図8-1**に示します。この回路の出力にクリスタルイヤホンをつなぐとラジオになります。LMF501の入力インピーダンスは非常に高く(4MΩ typ)、共振回路が理想の状態で作動できますので、混信が少ないように思われます。しかし、実際にこの回路で製作してみると、混信がはげしく、私の家ではバリコンのどの位置でもD局が受信してしまいます。LMF501の高周波増幅のゲインが高く、少しでも信号があれば、音が出てしまうためと思われる。では、例えばC局を受信してしているときはどうでしょうか。このICは確かにAGCが効いています。現に、C局もD局もあまり音量の差はありません。ですから、C局を受信してしているときは、AGCが働き、D局が聞こえにくくなるはずですが、しかし、C局を受信してしているときもD局が相当混信してきます。IC内部の回路構成が不明なため、なぜこのようになるのかは、よくわかりません。

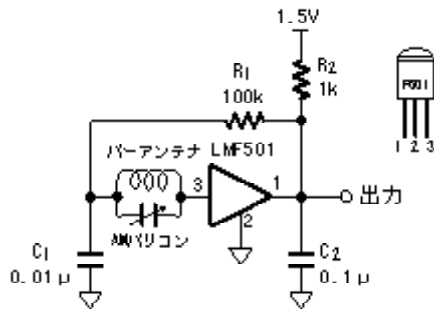


図8-1 LMF501の使用例1

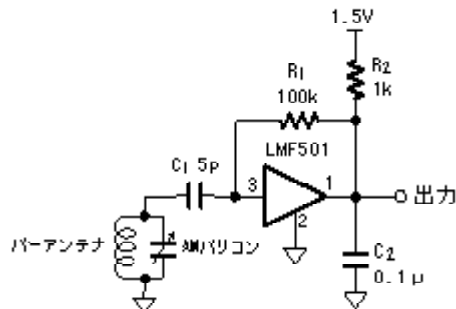


図8-2 LMF501の使用例2

次に、一般の書物でよく紹介されている回路を**図8-2**に示します。**図8-1**との違いは、ちょうど**図5-12**と**図5-13**の違いと同じものです。**図8-2**の回路ではR1(100k)が共振回路の負荷になってしまいます。この回路で、C1として100pF~1000pFが使用されますが、そうすると、混信が激しくなります。この図のように極力小さな値を使用すると、音は小さくなりますが、混信はかなり改善されます。もしかしたら、全体的に音が小さくなるために、混信が少なくなっていると思ってしまう可能性もあります。

以上どちらにしても、LMF501を用いたラジオは混信が激しいものです。ですから、複共振の検討にはうってつけのラジオといえます。以下、複共振を用いてどのくらい混信が改善されるかを

検討します。

●複共振

- ・コンデンサ結合による複共振

図8-3に複共振の一例を示します。この例では1.00MHzに共振する、二つの並列共振回路(L1, C1およびL2, C2)をコンデンサCxでつないでいます。R1, R2はそれぞれの並列共振回路のQが約100になるように挿入しています。もし、これらの並列共振回路の共振周波数で、Cxのインピーダンスが十分小さくなると、すなわちCxが十分大きな容量のコンデンサのとき、インダクタンスが(L1+L2)/2となり、容量が2(C1+C2)となります。そうすると、単一の並列共振回路と全く同じになります。ですから、この回路が複共振回路となって、単一の共振回路より鋭い共振をするには、Cxが小さくなければならないことがわかります。

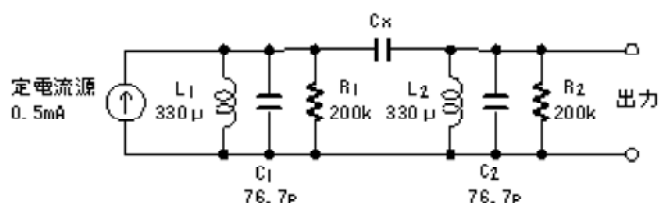


図8-3 コンデンサ結合による複共振回路

この回路を手で計算するのは非常に困難です。ですから今回は、電子回路シミュレータであるP Spiceを用いました。PSpiceでCxをいろいろ変えてシミュレートした結果を図8-4に示します。この図でf1を1.0MHzとしています、実際は1.0MHzより若干低くなっています。

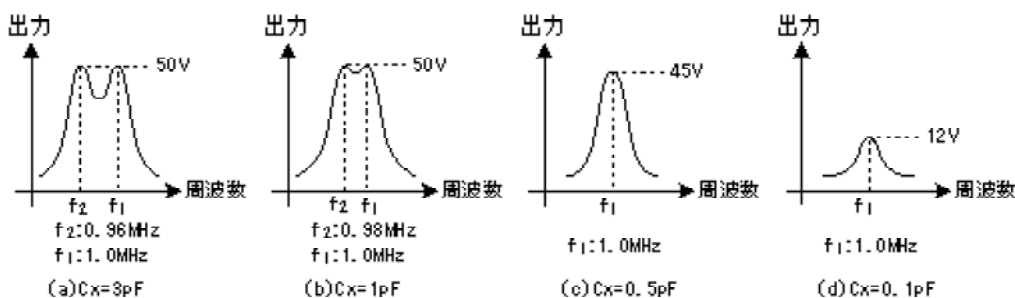


図8-4 Cxを変えたときの出力

Cx=3pFでは図のようにピークが二つになる双峰特性になります。なぜこのようになるかは後述します。Cx=0.5pFぐらいからピークが1つになり、単一の共振回路に比べ、非常に鋭い共振特性になります。この0.5pFのインピーダンスは約320kΩです。ですから、CxのインピーダンスがだいたいR1, R2ぐらいで、ピークが単一の複共振回路になるのがわかります。

次になぜ双峰特性になるかですが、図8-5にその理由を示します。このように二つの共振モードが存在します。(a)は二つの並列共振回路(L, C)がそれぞれ共振しているモードです。この共振周波数はほぼ、これらの並列共振回路の共振周波数になります。図8-4のf1がこの周波数です。なお、この共振のとき、それぞれのピークが同じ値で平衡しますので、ピーク値は50V((200kΩ×0.5mA))

÷2)になります。

(b)は二つの並列共振回路(L, C)とCxが直列共振しているモードです。ですから、二つの並列共振回路は誘導性でなければなりません。図7-14に示した通り、並列共振回路は共振周波数より低いときに誘導性になります。ですから、このモードの共振周波数は必ず、これらの並列共振回路の共振周波数より低くなります。図8-4のf2がこの周波数です。この周波数f2はCxが大きい程、より低くなります。逆に、Cxが小さくなると、f2はf1に近づいてきます。そして、図8-4(c)に示すように、Cx=0.5pFでは、これらの周波数はほぼ同じになり、ピークが1つになるわけです。なお、この共振でも、それぞれの並列共振回路の抵抗で同じエネルギーを消費しますので、ピーク値は50Vになります。図8-4の(a)、(b)で、二つのピーク値が一致しているのは、このためです。

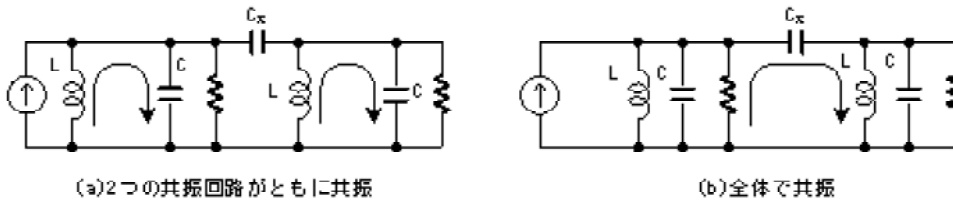


図8-5 二つの共振モード

以上で、コンデンサ結合による複共振回路は図8-4(c)のようにすればよいことがわかりました。このときのピーク値は45Vです。単一の共振回路ならば、ピーク値は100V(0.5mV×200kΩ)ですので、複共振回路は共振特性が鋭くなるかわりに、そのピーク値は半分以下になってしまうのがわかります。

・抵抗結合による複共振

図8-6に抵抗による複共振回路を示します。これは抵抗Rxで結合したものです。この回路でもRxを500kΩにすると、図8-4(c)と同じくらいの鋭い共振特性となります。そして、抵抗Rxを500kΩから小さくしてゆくと、だんだんと共振特性が鈍くなり、単一共振回路に近づいていきます。

Rxを500kΩにすると、図8-4(c)と同じくらいの鋭い共振特性になるといいましたが、抵抗でエネルギーを消費しますので、ピーク値は図8-4(c)の半分ぐらいになってしまいます。ですから、このように抵抗で結合した複共振回路は特性のよいものではありません。なお、抵抗での結合ですので、図8-5(b)のモードの共振はありません。ですから、抵抗での複共振は決して双峰特性にはなりません。

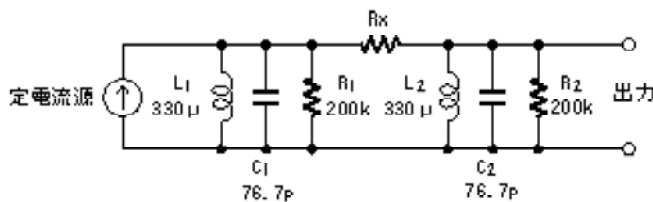


図8-6 抵抗結合による複共振回路

・相互インダクタンスによる複共振

トランスは1次コイルと2次コイルが磁気結合したものです。この磁気結合の度合いは相互イン

ダクタンスで表されます。この磁気結合でも複共振ができます。図8-7にその回路を示します。Mが相互インダクタンスです。

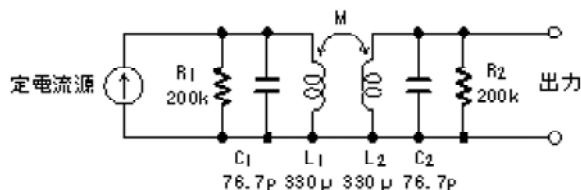


図8-7 相互インダクタンスによる複共振回路

トランスの相互インダクタンスは図8-8の等価回路で表すことができます。kは結合係数とよばれ、k=1で密結合、すなわち、それぞれで発生するすべての磁束が、相手のコイルと交錯している状態です。電源トランスなどがこの状態に近いものです。k=0で全く磁気結合がない状態です。ですから、kは0~1の間の値になります。なお、(L1-M)または(L2-M)はマイナスになるときもありますが、そのまま計算すれば正しい答えが得られます。PSpiceのシミュレーションでも、マイナスのままシミュレートすれば正しい結果が得られます。

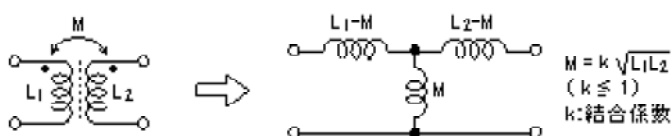


図8-8 トランスの相互インダクタンスの等価回路

図8-8の等価回路を用いると、図8-7の回路は図8-9となります。この例ではL1=L2なので、各コイルのインダクタンスがマイナスになることはありません。

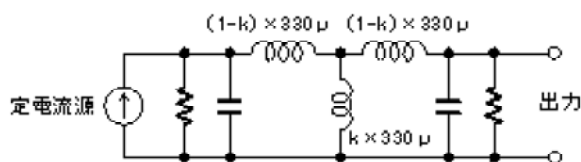


図8-9 図8-7を等価回路で書き直す

図8-9の回路をPSpiceでシミュレートした結果を図8-10に示します。

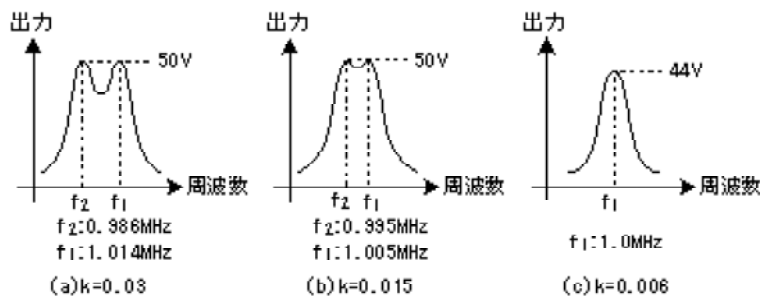


図8-10 kを変えたときの出力

ピーク値が一つの複共振となるのは、 $k=0.006$ ぐらいであり、磁気結合が非常に小さくなくてはならないことがわかります。このときの共振の鋭さは、コンデンサ結合の複共振と変わりはありません。また、 k が大きいと双峰特性になるのも同じです。ただし、磁気結合の場合は、1MHzを中心にして、ほぼ対称的な位置でピークになることに注意が必要です。

この双峰特性になる場合の共振モードを図8-11に示します。(a)ではMと二つの直列共振回路(L-M)とCの並列回路が共振します。この計算は容易で、L,Cの共振周波数(1MHz)より低くなるのがわかります。この共振周波数は図8-10の f_2 です。また、(b)は(L-M)とCの共振になりますので、明らかにL,Cの共振周波数(1MHz)より高くなります。この共振周波数は図8-10の f_1 です。

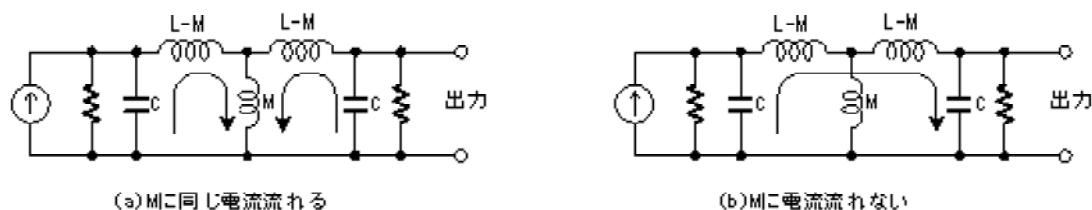


図8-11 二つの共振モード

以上、三つの複共振について述べましたが、今回はコンデンサ結合による複共振を採用します。

●FET増幅回路

複共振の出力を直接LMF501に入力すると、LMF501回路の影響で複共振特性が変化してしまいます。そこで今回は、入力インピーダンスの非常に高いMOS-FETを用いることにします。また、複共振回路は単一共振回路に比べ、ゲインが半分以下になるので、このゲイン低下をMOS-FETで補う意味もあります。用いたMOS-FETは2SK241で、非常に一般的なものです。この2SK241は、内部で二つのMOS-FETがカスコード接続されているとして、一般の書物でよく紹介されています。カスコード接続については図5-23で説明しました。東芝のサイトで得られるデータシートでは、このカスコード接続については全く記載されていませんが、ゲート・ドレイン容量が非常に小さいので、カスコード接続されているものと思われる。また、使用電圧範囲が5V~15Vと規定されており、最低電圧が5Vと高いのも、カスコード接続されているからだと思われる。

2SK241の増幅回路を図8-12に示します。FETの回路記号は、東芝のデータシートでも用いられている、NチャネルMOS-FETを用いています。この図のようにソースに抵抗 R_s を用いると、この抵抗での電圧降下により、ゲート・ソース間電圧がマイナスにバイアスされます。この様子を図8-13

に示します。もし、 $R_s=0$ で使用すると、ゲート・ソース間電圧が0になり、**図8-13**に示すドレイン電流(I_{DSS})が流れます。

FETは入力電圧(ゲート・ソース間電圧)の変化により、出力電流(ドレイン電流)を制御する素子です。トランジスタでは入力電流(ベース電流)の変化により、出力電流(コレクタ電流)を制御する素子でした。そして、この比が電流増幅率 h_{fe} でした。FETでは、ドレイン電流とゲート・ソース間電圧の比(動作点での接線の傾きです。)は、相互コンダクタンス g_m [単位はS(ジーメンズ)]とよばれ、FETのゲインを決定する重要な値です。**図8-12**のように十分大きい C_s で信号をバイパスすると、電圧ゲインは $g_m \times R_D$ となります。

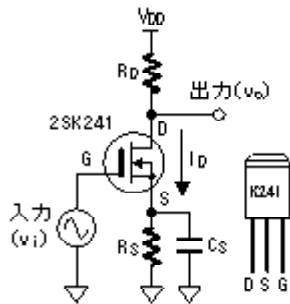


図8-12 FET(2SK241)増幅回路

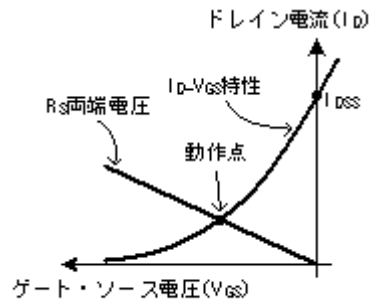


図8-13 FETの動作点

図8-12の回路では、 g_m はドレイン電流が大きい程、大きくなります。ですから、 $R_s=0$ のとき、一番大きな g_m となりますが、大きいドレイン電流(I_{DSS})が流れます。今回は、そんなに大きいゲインが必要ではありませんので、 R_s を大きくしてドレイン電流を小さくしました。今回用いた回路を**図8-14**に示します。2SK241のデータシートでは、 $I_{DSS}=10\text{mA}$ 、 $V_{GS}=0\text{V}$ で $g_m=12\text{mS}$ です。この回路では、ドレイン電流 I_D を減らすため、 $V_{GS}=-0.8\text{V}$ で使用しているのです、 g_m はこの値よりかなり小さくなります。ここでは 2mS としますと、電圧ゲインは $2\text{mS} \times 1\text{k}\Omega = 2$ となります。今回はこのゲインで十分です。もし、 g_m が 2mS より小さいとしても、問題ありません。

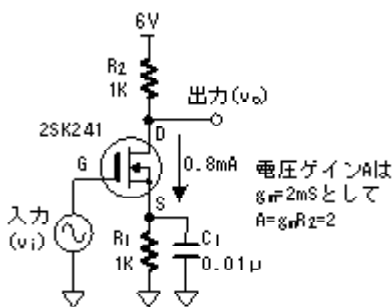


図8-14 今回用いたFET増幅回路

●最終回路

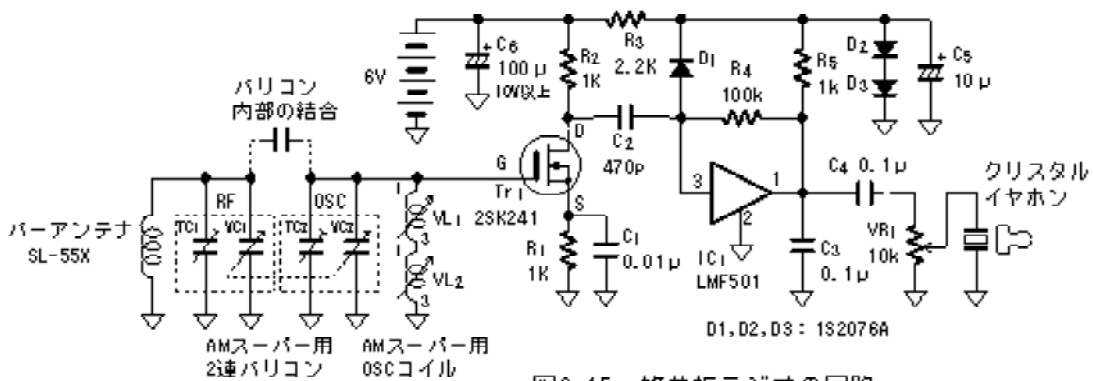


図8-15 複共振ラジオの回路

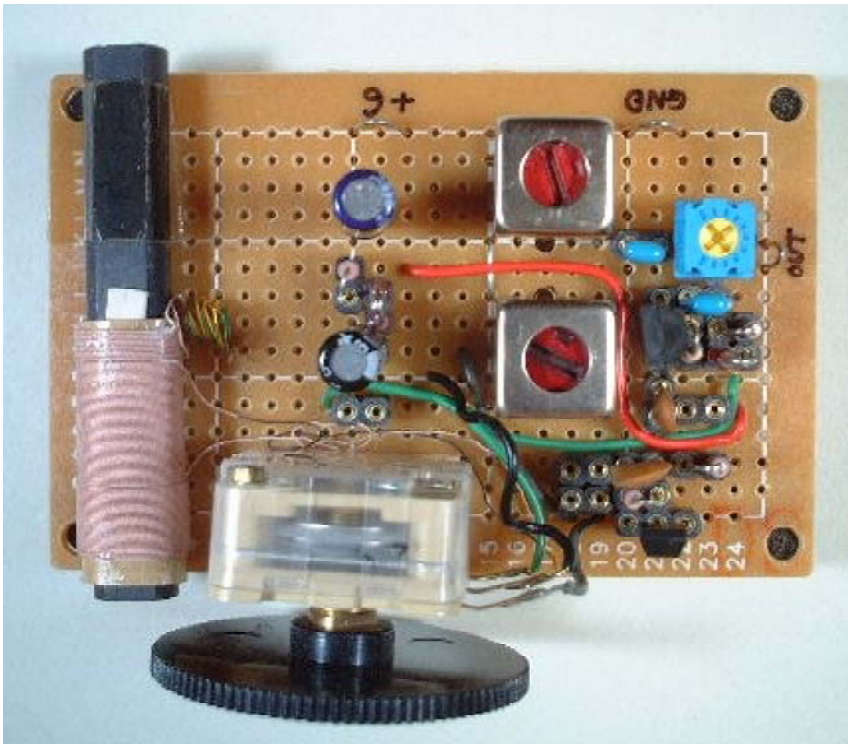


写真8-1 製作した複共振ラジオ

・回路構成の説明

最終回路を図8-15に、製作したものを、写真8-1に示します。まず、この各部の回路について説明していきます。

複共振用にAMスーパー用2連バリコンを使用しています。トリマコンデンサTC1, TC2は、このバリコンに内蔵されているものです。このトリマコンデンサを調整する必要がありますので、写真8-1のように、バリコンを立てて使用しています。なお、バリコンの固定はスポンジ状の両面テープを使用しています。図8-3の結合コンデンサCxは、バリコン内部での結合容量を用いました。2連バリコンでは、二つのバリコンの容量結合が極力小さくなるように作られていますが、それでも多少は容量結合しています。最初、外付けでCxを付けていたのですが、バリコン内部での結合容量で十分であることがわかりました。

AMスーパー用2連バリコンは、RF用とOSC用とで構成されています。詳しくは第11章ミキサーを参照してください。どちらがRF用かOSC用かは、積層された電極数で見分けられます。電極数が少ない方がOSC用です。RF用をバーアンテナの共振に用いますが、単連バリコンよりは容量が小さい

ので、今まで用いてきたSL-55GTでは、うまくいきません。ここではAMスーパー用のバーアンテナSL-55Xを用いています。

VL1, VL2はAMスーパー用のOSCコイルです。端子番号は、第11章ミキサーを参照してください。今回は少しでも調整範囲を大きくするために、2個を直列にして用いましたが、この内の一つを固定インダクタ(固定コイル)にしても、もちろん可能です。このときは、0.22mH~0.56mHの範囲で交換可能なようにしておく必要があります。

電源は2SK241が十分動作できるように6Vを使用しました。一方、LMF501の電源電圧は1.1V~1.5Vですので、6Vからこの電圧を作り出す必要があります。今回はダイオードD2, D3の直列で、この電圧を作り出しています。この回路でC5両端電圧は、1.2Vとなります。R3を小さくすると、この電圧を大きくすることができますが、そうすると、消費電流が大きくなります。ですから、LMF501が働く電圧範囲で、極力R3を大きくした方が消費電流の点で有利です。ちなみに、この回路全体の消費電流は約3mAです。なお、電源電圧が6Vなので、電源安定用の電解コンデンサC6は10V以上を使用してください。

電源投入時、R2, C2を通してLMF501の入力に過大電圧がかかるおそれがあります。D1は、この電圧をかからなくするための保護用です。また、このためにはC2はなるべく小さい方が有利です。ただ小さくしすぎると、信号も小さくなりすぎますので、470pFを使用しています。

このラジオの音声出力(ピーク値)はC局で50mV弱です。後で述べますが、D局は複共振回路の調整がずれますので、大きな音にはなりません。Cとほぼ同じ大きさです。また、LMF501はAGCが効いていると思われるので、その効果によってもD局は大きな音にはなりません。ですから、音量調整用のトリマVR1は不要ですが、真夜中で周りが非常に静かなときは、この音量でもうるさく感じますので今回は音声調整用のトリマVR1を付けています。

・調整の説明

2連バリコンを回して、どの局でもピークが一つの複共振になるように、TC1、TC2、VL1、VL2を調整する必要があります。この調整は結構厄介です。その原因はAMスーパー用の2連バリコンの構造にあります。AMスーパーでは、RF用のバリコンで受信する周波数に共振させて、OSC用のバリコンで発振するのですが、それらの周波数の差を一定にする必要があります。ですから、RF用とOSC用のバリコンの容量比は、回転角によって一定ではないように作られています。この様子を図8-16に示します。なお、この図は正確なものではなく、あくまで傾向を示したものです。

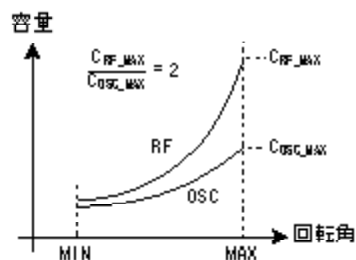


図8-16 スーパー用バリコンの容量変化

この図のように、RF用は最初あまり変化せず、容量が大きくなったときに、急に変化するようになっていきます。こうするために、ローター(回転する電極)の形を、RF用とOSC用では違ったものにしていきます。このようになっていくために、RF用とOSC用の容量比は、最大になるところで2ぐ

らいですが、最小になるところでは、1に近い値になっています。この辺の詳しいことは、第11章ミキサを参照してください。

一方、複共振回路では、RF用とOSC用の容量比が常に一定でなければなりません。ですから、すべての局で、単一ピークの複共振にすることはできません。これはどうしようもありませんので、今回はA～C局のみ単一ピークの複共振になるように調整することにしました。このように、この最終回路では周波数の近い3局ぐらいしか、単一ピークの複共振になるように調整できません。ちなみに、あるパラメータを変化させたときに、ある特性を一定にする調整をトラッキング調整といいます。今回の調整は、どのバリコンの位置(あるパラメータの変化)でも、単一ピークの複共振特性(ある特性)にする調整ですからトラッキング調整です。スーパーラジオではどのバリコンの位置でも、RFとOSCの周波数差を一定の値に調整しますが、これもトラッキング調整です。

具体的な調整方法ですが、まず、VL1、VL2のコアを中間の値に、TC1、TC2を最小にしておきます。なお、コアの出し入れには専用のドライバを使用してください。金属のドライバを使用すると、コアを割ってしまう危険性がありますし、ドライバの出し入れでコイルのインダクタンスが変化してしまいます。次に、バリコンを回してC局を受信しますが、2箇所音が大きくなる場所があります。バリコンをそれらの中間の位置にして、音が大きくなるようにVL1、VL2のコアを調整します。この動作を繰り返し、1箇所C局を受信するようにVL1、VL2のコアを調整します。この調整をA調整とします。なお、バリコンダイヤルの周波数表示は無視します。バリコンダイヤルの周波数表示まで合わせるのは困難です。

以上の調整が完了した後、バリコンを回してA局を受信します。このとき、まず間違いなく2箇所音が大きくなります。A調整と同様に、バリコンをそれらの中間の位置にして音が大きくなるように、今度はRF用のトリマであるTC1を大きくしていきます。この動作を繰り返し、1箇所A局を受信するようにTC1を調整します。この調整をB調整とします。

以上のA調整とB調整を繰り返し、A～C局をバリコンの1箇所で、かつ音が大きくなるように調整します。ただ、完全な調整は困難ですので、適当なところで妥協する必要があります。

・最終の特性

以上の調整が完了すると、C局受信時に、全くといってよいくらいD局が混信してきません。さすが複共振という性能です。なお、D局は強力なので、D局の調整はずれていますが、C局と同じくらいの音の大きさで聞くことができます。ただ、D局の聞こえるバリコンの位置は、かなり広がってしまいます。

表1-1には載せなかったのですが、実はB局より36kHz低いところに、かなり弱い局があります。この局は単一の共振回路のラジオでは、まず受信できないのですが、今回の複共振ラジオでは、ほとんどB局と混信することなく受信できました。



ふじひら・ゆうじ

RFワールド・ウェブ・ブックス「ラジオで学ぶ電子回路」第9章 再生・超再生ラジオ

(C)Yuji Fujihira 2009

<http://www.rf-world.jp/>