5球スーパーコイル

原科正彦

5球スーパーの同調コイル、局部発振コイルのインダクタンス、パディング・コンデンサの値を求める方法を考えてみました。なお有効数字は考慮してありません。間違いや誤字の指摘は歓迎します。

1．1　標準型5球スーパー

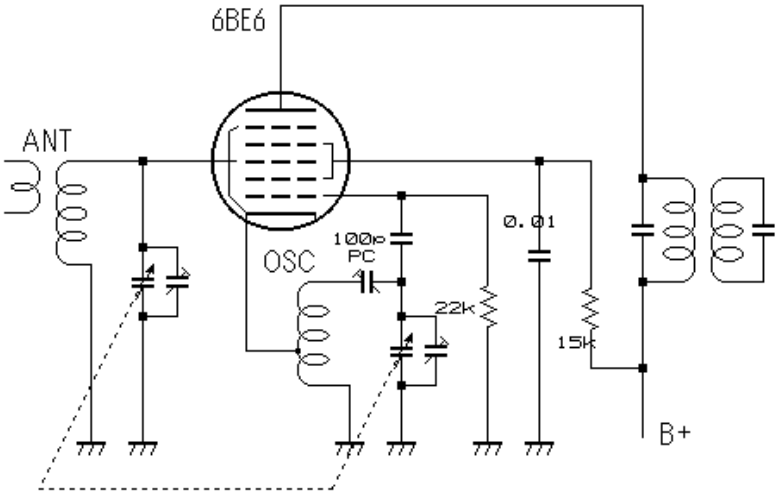


図 1　(A) PCがコイル側に入った周波数変換回路

図1は 5 球スーパー全盛期の標準型の周波数変換回路です。(計算を容易にするため、AVC 回路を省略してあります。影響はほんのわずかです。)発振回路の真空管周りのストレーがバリコンのトリマ容量と並列になるため、調整の行程でこれ等の容量の総和は設計時に設定した値となります。ラジオを mT 管でコンパクトに作っても、ST 管で余裕を持って大きく作っても、真空管周りのストレーの値が発振コイルのインダクタンス、パディング・コンデンサの値に影響しない点が優れた回路です。

図2は**図1**の中波放送帯 535～1,605kHz を受信するラジオの同調回路、局部発振回路の周波数を決定する要素を模式的に示したものです。600kHz、1000kHz、1400kHz の3点でトラッキング調整した場合、例えば未知の値を C_2=6pF と仮定すれば他の値は定数となります。

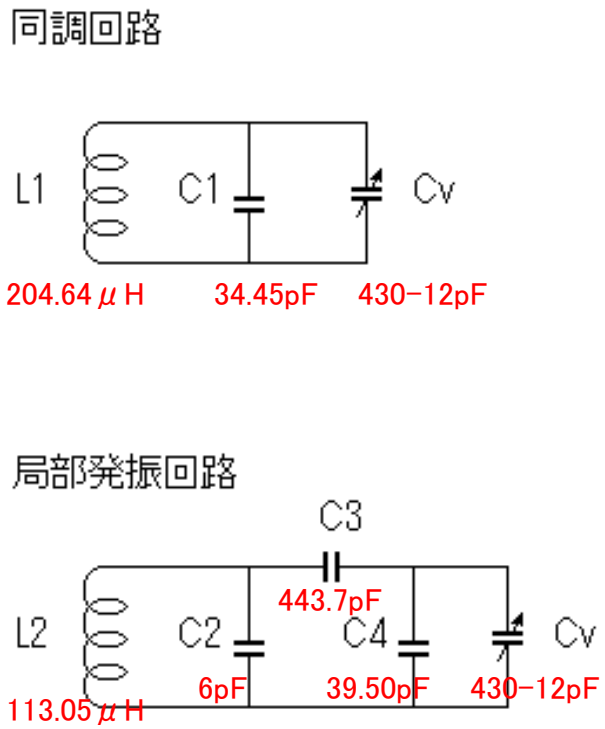


図2　標準型変換回路 LC 模式図
C_2=6pF と仮定した場合

同調回路

L_1　同調コイル

C_1　回路のストレー(浮遊容量+コイルの分布容量+トリマ 容量)、コイル設計時に設定した容量。浮遊容量+コイルの分布容量は測定しなければ特定できませんが、調整の行程で不足分をトリマで補正することになるため一定の値となります。

Cv　2連バリコン　430pF～12pF とします。

局部発振回路

L_2　発振コイル

C_2　発振コイルの分布容量(測定は容易)と半固定パディング・コンデンサを含むコイル周辺の浮遊容量の総和。この回路計算の中で唯一の未知の値。

C_3　パディング・コンデンサ

C_4　回路のストレー(真空管周りの浮遊容量+トリマ容量)
コイル設計時に設定した容量。真空管周りの浮遊容量は特定できませんが(6SA7 を使った自作機の例で約 15.1pF)、トリマで不足分を補正するため一定の値となります。

Cv　2連バリコン　430pF～12pF 同調回路と常に等容量。

1．2　同調コイル

同調回路の L_1 と C_1 の組み合わせは、バリコンとダイヤルの規格（受信周波数の範囲）から決まります。

表1　C_1 内訳（書籍「ラジオの初歩から組立てまで」 松尾誠著　金園社より数値を引用）

個所	浮遊容量（pF）	備考
真空管の入力容量	4～10	**6BE6** で 6.8pF（シールドケースなし、全日本真空管マニュアルより）
真空管ソケット	1～3	mT 管 0.6pF、GT 管 1.4pF、ST 管 0.3pF（全日本真空管マニュアルより）
バリコンのトリマ	8～12	左記の数値は調整後の容量
コイルの分布容量	1～2	トリオ **5S-L** は 1.3pF（自己共振周波数 10.5MHz、100pF 付加で 1.1MHz）
配線・その他	6～10	
合計	34.45 （計算値）	市販のダイヤルの周波数は同調コイルにあわせてありますが、5 球スーパーは発振周波数が受信周波数を決定しますので、ほんのわずかな誤差があります。CLD 協会規格を決めた当時の無線通信工業会高周波規格統一委員会では、C_1=34.15pF としていたようです。今回の計算値とは微妙に異なる値ですが、インダクタンス等の計算結果はほぼ同じ値になります。

表2　同調コイルの周波数と同調容量の関係　（灰色の数値は計算に使用しない）

注1	fmin	f_1	f_2	f_3	f_4	f_5	fmax
バリコン開度 [%] 注2	0	5	18	58.3	83.5	95	100
同調周波数 [kHz] 注3	(516)	535	600	1000	1400	1605	(1636)
周波数比 注4	—	1	1.121	1.869	2.617	3	—
同調容量比 注5	—	9	7.156	2.576	1.314	1	—
バリコン容量 Cv [pF] 注6	430	398	309.38	89.33	28.70	13.6	12
同調容量 Ca [pF] 注7	464.45	432.45 式(4)より	343.85	123.78	63.15	48.05	46.45

注1、注3　この周波数は同調コイルの周波数であって、f_2、f_3、f_4 以外の周波数ではトラッキング誤差のため実際の受信周波数とはわずかにずれています。

fmin　JIS 規格のバリコン（430-12pF）とこの同調コイルを使用して同調する最低周波数。1952 年に施行された **CLD 協会規格**の A バンド（中波バンド）535kHz～1,605kHz の規定外の周波数であって、他の要素から自動的に決まる数値です。参考までに示した値で、コイルの計算には使用しません。

f_1　A バンド（中波バンド）の最低周波数。（1978 年以降 530kHz に変更され、岩手放送は 531kHz で放送していますが旧規格のままでも受信可能です。昔の市販コイルとの比較のため 535kHz で話を進めます。）

f_2　A バンド（中波バンド）の3点調整で一般に用いられる周波数のひとつ。同調コイルの計算には使用しません。

f_3　同上

f_4　同上

f_5　A バンド（中波バンド）の最高周波数。

fmax　JIS 規格のバリコン（430-12pF）とこの同調コイルを使用して同調する最高周波数。他の要素から自動的に決まる数値で、fmin 同様コイルの計算には使用しません。

注2

一般的にバリコンの開度0%（最大容量）付近、開度100%（最小容量）付近の容量変化は不規則になりがちなため、**CLD 協会規格**ではすべてのバンドでバリコンの開度5%から95%で規定の周波数を受信できるように設定されています。

注4、注5

f_1を基準としたときの周波数比。

同調容量とはコイルに付加するバリコン容量（Cv）、トリマ容量とストレー容量（C_1）の総和。同調容量の比は、周波数比の逆数の 2 乗に比例します。

注6

JIS 規格（後の EIAJ 1a）のバリコン（430pF-12pF）は開度に応じて**表3**のように規定されています。

（アルプス社資料、ミツミ社資料、CLD 協会資料を総合して表を作成）

表3　バリコン容量表

バリコン開度[%]	容量[pF]
0	430
5	398
10	364.8
20	295.8
25	262.8
30	230.6
40	170.8
50	121.5
60	83.1
70	54.6
75	43.6
80	34.2
90	19.3
95	13.6
97	12
100	12

注7

同調容量比は周波数比の逆数の2乗だから、

$$\frac{C_1+Cv_1}{C_1+Cv_5}=\left(\frac{f_5}{f_1}\right)^2=\left(\frac{1605[kHz]}{535[kHz]}\right)^2=9 \quad \ldots(1)$$

$$\frac{C_1+398[pF]}{C_1+13.6[pF]}=9 \quad \ldots(2)$$

C_1=34.45[pF]　…(3)

f_1 のときの同調容量

$Ca_1=C_1+Cv_1$=34.45[pF]+398[pF]=432.45[pF]　…(4)

他の同調容量は同調容量比から求めることができます。

同調コイルのインダクタンスを求める

周波数 f[Hz]、インダクタンス L[H]、容量 C[F] の関係式は、

$$L=\frac{1}{(2\pi f)^2 C} \quad \ldots(5)$$

だから、

535kHz のときの同調容量 434.45pF から、同調コイルのインダクタンス L1 は、

$$L_1=\frac{1}{(2\pi f_1)^2 Ca_1}=\frac{1}{(2\pi\cdot 535\cdot 10^3[Hz])^2\cdot 432.45\cdot 10^{-12}[F]}=\frac{10^6}{(2\pi\cdot 535[kHz])^2\cdot 432.45[pF]} \quad \ldots(6)$$

L_1≒204.64[μH]　…(7)

バリコン、コイル、ダイヤルの製造業者のグループによる自主規格として CLD 協会規格が定められ、その中で中波帯の同調コイルは 205μH とされました。トリオ、スター、ナショナルといったメーカーの市販コイルもこの規格を採用しました。

１．３　３点調整

5 球スーパーの同調コイルの同調周波数と局部発振周波数の差がいつでも中間周波数（455kHz） になるように調整するのが**トラッキング調整**です。実際には 535～1605kHz の周波数帯（1952 年当時）の中で正確にトラッキング調整をしても 455kHz の差になるのは 3 点の周波数だけ（トラッキングレス・バリコンを除く。トラッキングレス・バリコンは、設計時に周波数の範囲、中間周波数、同調コイルと発振コイルのインダクタンスが決まっています。）ですが、多少のトラッキング誤差は性能にほとんど影響しないため、その 3 点を程よく分散させることによりバンド全体で実用的な性能を得ることが出来ます。

トラッキング調整（**3点調整**）には次の3つの要素があります。

1. 半固定パディング・コンデンサ…局部発振の最低周波数は大きく変化しますが、最高周波数はあまり変化しません。バンド低域（600kHz）をあわせます。局部発振の最高周波数と最低周波数の比を小さくする目的で入れてあります。
2. 発振回路側のバリコンのトリマ…局部発振の最高周波数は大きく変化しますが、最低周波数はほとんど変化しません。バンド高域（1400kHz）をあわせます。
3. 発振コイルのインダクタンス…局部発振のバンド全体が上下しますが、最高周波数と最低周波数の比は変化しません。この 3 つ要素の中では唯一バンドの中央部分の周波数を上げ下げできるため、バンド中域（1000kHz）をあわせます。インダクタンス可変の発振コイルと固定容量のパディング・コンデンサを使用する場合には、発振コイルのインダクタンスをバンド低域（600kHz）にあわせますが、この場合は**2点調整**となりバンド中域（1000kHz）は調整できません。

１～3のどの調整を行ってもそれまで行った調整が少しずれてしまいますが、これらの調整を順に3回以上繰り返すことにより徐々に3点とも所定の条件に近づき、**3点調整**は完了となります。

市販の 5 球スーパーコイルの多くはインダクタンス固定の発振コイルと半固定パディング・コンデンサの組み合わせ、またはインダクタンス可変の発振コイルと固定容量のパディング・コンデンサの組み合わせですから、コイルの説明書には**2点調整**の方法が記載されています。メーカー製 5 球スーパーコイルは、600kHz と 1400kHz の2点でトラッキング調整すれば自動的に 1000kHz 付近でもトラッキング誤差が 0 となるように発振コイルのインダクタンスまたはパディング・コンデンサの容量を設定してあるため、3点調整をした場合とほぼ同等の結果が得られます。

昔の書籍に記載されている3点調整の方法は、十分な測定器を持たないアマチュアがコイルを自作する場合には有効な方法です。多少設定のずれた同調コイルと発振コイルを組み合わせでも、2点調整を行なうと 600kHz と 1400kHz の 2 点のトラッキング誤差は0になりますが、もう一つのトラッキング誤差が0になる点がバンドの端に寄ってしまっている場合や存在しない場合があります。その場合にはバンドの中央付近の感度が相対的に低下してしまいます。

そこで同調コイルが 1000kHz に同調するバリコンの位置をあらかじめ調べておき、1000kHz の信号を受信して（受信周波数は発振周波数で決まります）同調コイルの 1000kHz のバリコンの位置とどれだけずれているか比較します。周波数のずれが小さければ発振コイルのインダクタンスは適当です。もしも 1000kHz を大きく上回ったダイヤル位置で受信できるようならば発振コイルのインダクタンスが大きすぎ、逆に 1000kHz を大きく下回っているようなら発振コイルのインダクタンスが小さすぎですから、発振コイルのインダクタンスを増減（コア入りでなければ巻き数を調整する）してもう一度最初から2点調整をやり直します。これを繰り返すことにより**3点調整**が完了します。

トラッキングは理論上の要求は非常に厳密なのですが、実際の 5 球スーパーの同調コイルや IFT の選択度はそれほど高くなく、少々トラッキングがずれていてもラジオ本体の利得の余裕と AVC の作用によって地元の放送局は違和感なく受信可能です。しかしコイルのインダクタンスの誤差、固定容量のパディング・コンデンサの容量の誤差、2連バリコンのギャング・エラー（2つのセクションの容量不揃い）、トラッキング周波数を既存の放送局の周波数に変更など、トラッキングに与える影響を補正するために調整は不可欠です。

市販の 5 球スーパーコイルや市販ラジオのトラッキング調整は、コイル設計者の想定した数値に追い込んでいく作業ですから、調整する側に創意工夫の余地はありません。

１．４　3点調整を計算で行う

実際の受信周波数は局部発振周波数が決定するにもかかわらず、多くの場合アンテナコイルの L_1 と C_1、C_v で受信周波数の範囲を先に決めてから、それに合わせて局部発振周波数を調整することになるため、3点調整は誠に不可解なのです。

パディング・コンデンサを使用するトラッキング調整では、受信周波数範囲内でトラッキング誤差が0となる周波数は3点しかありません。この3点の周波数は任意に選ぶことが可能で、周波数の低いほうから f_2、f_3、f_4（前出：「１．２　同調コイル」参照）とすれば3点の周波数を次のように調整します。

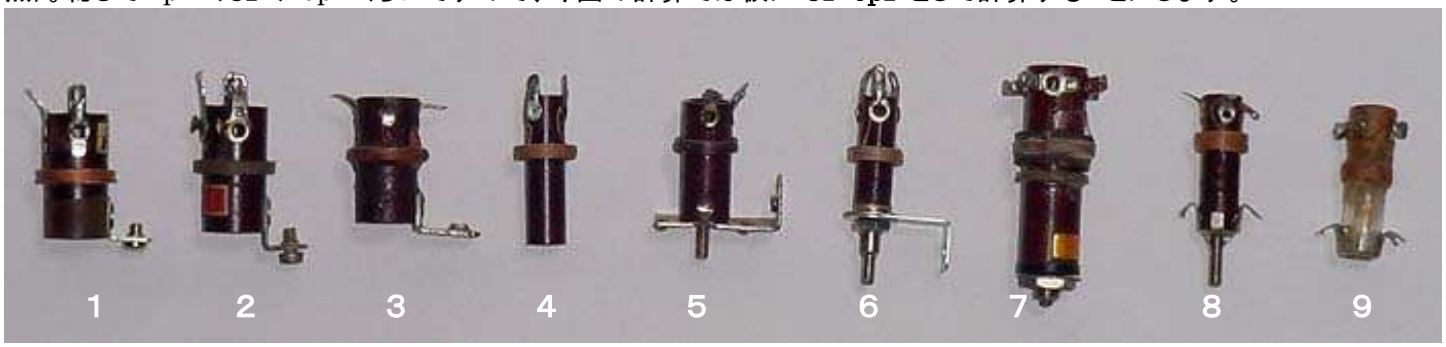
f_2 ： C_3 （パディング・コンデンサ）を調整
f_3 ： L_2 （発振コイルのインダクタンス）を調整
f_4 ： C_4 （バリコンのトリマ・コンデンサ）を調整

L_2、C_2、C_3、C_4 の値の組み合わせは無限にありますが、C_2 を仮定した場合残りの L_2、C_3、C_4 の組み合わせは一通りしかありません。

3つの変数 L_2、C_3、C_4 を使った3元連立2次方程式を解くことによって、トラッキング調整にかかわるすべての値を求めることができます。

C_2 の値は計算では求められない

発振コイルのインダクタンス L_2 または パディング・コンデンサ C_3 の値を計算で求めるにあたって、この回路の中で唯一計算では求められない要素として C_2 があります。C_2 は発振コイルの分布容量、半固定パディング・コンデンサとシャシとの浮遊容量、コイル周りの配線の浮遊容量の合計です。発振コイル単体でも部品によるバラツキがあります（下記のデータ参照）。総じて 2pF＜C_2＜10pF くらいですので、今回の計算では仮に C_2=6pF として計算することにします。



発振コイルの分布容量　自己共振周波数と 100pF コンデンサ付加時の周波数を実測して計算しました。写真左から
1. トリオ　5S-L　4.4pF
2. スター　5SA　3.3pF
3. メーカー不明　秋葉原で購入　5.0pF
4. メーカー不明　秋葉原で購入　（細い）　1.9pF
5. トリオ　コイルパック　KC-2B　（コア入り）　4.4pF
6. スター　O-4　（コア入り）　3.0pF
7. ゼンセン　OW　（コア入り　カソードコイル式）　2.6pF
8. メーカー不明　秋葉原で購入　（コア入り）　3.7pF
9. メーカー不明　秋葉原で購入　（コア入り　透明）　5.1pF

＊　市販のトランジスタラジオ用 OSC コイルは 4pF 以下のものと 7pF 以下のものがあるそうです（ミツミの資料より）。
現在秋葉原で市販されている No.88 コイルは 5.2　pF。

図3　発振コイルの分布容量

表4　発振コイルの周波数と同調容量の関係　（灰色の数値は計算に使用しない）

注1	fmin	f_1	f_2	f_3	f_4	f_5	fmax
バリコン開度 [%] 注2	0	5	18	58.3	83.5	95	100
同調周波数 [kHz] 注3	(516)	535	600	1000	1400	1605	(1636)
発振周波数 [kHz] 注8	—	—	1055	1455	1855	—	—
バリコン容量 Cv [pF]	430	398	309.38 式(11)より	89.33 式(12)より	28.70 式(13)より	13.6	12
発振コイルの同調容量 Co [pF] 注9	(234.14)	C_{o1} (226.31)	C_{o2} (201.31)	C_{o3} (105.84)	C_{o4} (65.12)	C_{o5} (53.43)	(52.15)

注8
中間周波数は 455kHz ですから、受信周波数に 455kHz を加算した値となります。
注9
Co は L_2 とともに局部発振周波数を左右する容量で、C_2、C_3、C_4、Cv の合成容量。

最初に f_2、f_3、f_4 の周波数設定をしますが、この周波数は C_3 の値を左右します。また f_3 は諸定数を設定するための計算用の周波数で、実際の調整とは無関係です。（2点調整をすれば自動的に 3 点のトラッキング誤差が0となるため。）

$$C_{a2}=\left(\frac{f_1}{f_2}\right)^2\cdot C_{a1}=\left(\frac{535[kHz]}{600[kHz]}\right)^2\cdot 432.45[pF]\fallingdotseq 343.83[\mathrm{pF}] \qquad \ldots(8)$$

$$C_{a3}=\left(\frac{f_1}{f_3}\right)^2\cdot C_{a1}=\left(\frac{535[kHz]}{1000[kHz]}\right)^2\cdot 432.45[pF]\fallingdotseq 123.78[\mathrm{pF}] \qquad \ldots(9)$$

$$C_{a4}=\left(\frac{f_1}{f_4}\right)^2\cdot C_{a1}=\left(\frac{535[kHz]}{1400[kHz]}\right)^2\cdot 432.45[pF]\fallingdotseq 63.15[\mathrm{pF}] \qquad \ldots(10)$$

このコイルは C_1=34.45[pF] だから、

$$C_{v2}=C_{a2}-C_1=343.83[\mathrm{pF}]-34.45[\mathrm{pF}]=309.38[\mathrm{pF}] \qquad \ldots(11)$$

$$C_{v3}=C_{a3}-C_1=123.78[\mathrm{pF}]-34.45[\mathrm{pF}]=89.33[\mathrm{pF}] \qquad \ldots(12)$$

$$C_{v4}=C_{a4}-C_1=63.15[\mathrm{pF}]-34.45[\mathrm{pF}]=28.70[\mathrm{pF}] \qquad \ldots(13)$$

容量比は周波数比の逆数の2乗だから、

$$\frac{Co_2}{Co_3}=\left(\frac{fo_3}{fo_2}\right)^2=\left(\frac{1000[kHz]+455[kHz]}{600[kHz]+455[kHz]}\right)^2\fallingdotseq 1.9020461 \qquad \ldots(14)$$

$$C_{o3}=\frac{1}{1.9020461}C_{o2} \qquad \ldots(15)$$

$$\frac{Co_2}{Co_4}=\left(\frac{fo_4}{fo_2}\right)^2=\left(\frac{1400[kHz]+455[kHz]}{600[kHz]+455[kHz]}\right)^2 \fallingdotseq 3.091597 \qquad \ldots(16)$$

$$Co_4=\frac{1}{3.091597}Co_2 \qquad \ldots(17)$$

$$Co_2=\frac{1}{\frac{1}{C_4+Cv_2}+\frac{1}{C_3}}+C_2 \qquad \ldots(18)$$

$$Co_2-C_2=\frac{1}{\frac{1}{C_4+Cv_2}+\frac{1}{C_3}} \qquad \ldots(19)$$

$$Co_3=\frac{1}{\frac{1}{C_4+Cv_3}+\frac{1}{C_3}}+C_2 \qquad \ldots(20)$$

$$Co_3-C_2=\frac{1}{\frac{1}{C_4+Cv_3}+\frac{1}{C_3}} \qquad \ldots(21)$$

$$Co_4=\frac{1}{\frac{1}{C_4+Cv_4}+\frac{1}{C_3}}+C_2 \qquad \ldots(22)$$

$$Co_4-C_2=\frac{1}{\frac{1}{C_4+Cv_4}+\frac{1}{C_3}} \qquad \ldots(23)$$

(19)－(21)として、C_2を消去する。

$$(Co_2-C_2)-(Co_3-C_2)=\frac{1}{\frac{1}{C_4+Cv_2}+\frac{1}{C_3}}-\frac{1}{\frac{1}{C_4+Cv_3}+\frac{1}{C_3}} \qquad \ldots(24)$$

(15)から

$$Co_2-Co_3=Co_2-\frac{1}{1.9020461}\cdot Co_2=\frac{1.9020461-1}{1.9020461}\cdot Co_2=\frac{0.9020461}{1.9020461}\cdot Co_2 \qquad \ldots(25)$$

(24)=(25)から、

$$Co_2=\frac{1.9020461}{0.9020461}\cdot\left(\frac{1}{\frac{1}{C_4+Cv_2}+\frac{1}{C_3}}-\frac{1}{\frac{1}{C_4+Cv_3}+\frac{1}{C_3}}\right) \qquad \ldots(26)$$

(19)－(23)として、C_2を消去する。

$$(C_{o2}-C_2)-(C_{o4}-C_2)=\frac{1}{\frac{1}{C_4+Cv_2}+\frac{1}{C_3}}-\frac{1}{\frac{1}{C_4+Cv_4}+\frac{1}{C_3}} \quad \ldots(27)$$

(17)から

$$C_{o2}-C_{o4}=C_{o2}-\frac{1}{3.091597}\cdot C_{o2}=\frac{3.091597-1}{3.091597}\cdot C_{o2}=\frac{2.091597}{3.091597}\cdot C_{o2} \quad \ldots(28)$$

(27)=(28)だから、

$$C_{o2}=\frac{3.091597}{2.091597}\cdot\left(\frac{1}{\frac{1}{C_4+Cv_2}+\frac{1}{C_3}}-\frac{1}{\frac{1}{C_4+Cv_4}+\frac{1}{C_3}}\right) \quad \ldots(29)$$

(26)=(29)として、C_{o2}を消去する。

$$\frac{1.9020461}{0.9020461}\cdot\left(\frac{1}{\frac{1}{C_4+Cv_2}+\frac{1}{C_3}}-\frac{1}{\frac{1}{C_4+Cv_3}+\frac{1}{C_3}}\right)=\frac{3.091597}{2.091597}\cdot\left(\frac{1}{\frac{1}{C_4+Cv_2}+\frac{1}{C_3}}-\frac{1}{\frac{1}{C_4+Cv_4}+\frac{1}{C_3}}\right)$$

$$\left(\frac{1}{\frac{1}{C_4+Cv_2}+\frac{1}{C_3}}-\frac{1}{\frac{1}{C_4+Cv_3}+\frac{1}{C_3}}\right)\Bigg/\left(\frac{1}{\frac{1}{C_4+Cv_2}+\frac{1}{C_3}}-\frac{1}{\frac{1}{C_4+Cv_4}+\frac{1}{C_3}}\right)=\frac{3.091597}{2.091597}\Big/\frac{1.9020461}{0.9020461}=0.7009911$$

…(30)

ここからは、**机上の3点調整**を行ないます。C_3、L_2、C_4の各要素を順に計算して、f_2、f_3、f_4すべてのトラッキング誤差が0になるまで繰り返します。

考え方の基本は、

1. C_3（半固定パディング・コンデンサ）…発振する最低周波数は大きく変化しますが、最高周波数はほとんど変化しません。バンド低域（600kHz）をあわせます。
2. L_2（発振コイルのインダクタンス）…発振するバンド全体が上下しますが、最高周波数と最低周波数の比は変化しません。バンドの中央部分を上げ下げできるため、バンド中域（1000kHz）をあわせます。
3. C_4（発振回路側のバリコンのトリマ）…最高周波数は大きく変化しますが、最低周波数はほとんど変化しません。バンド高域（1400kHz）をあわせます。

計算1回目。この時点ではC_3、L_2、C_4いずれの値もわかっていませんが、C_4の値とC_1の値は比較的近い値なのではないかという予想から、とりあえず $C_4=C_1=34.45$[pF] と仮定して計算を始めます。C_4の値とC_1の値が実際には大きく異なっていたとしても問題ありませんが、計算の回数が若干増える可能性があります。

繰り返し計算スタート地点----------

f2をあわせる C_4 の値を(30)に代入して f_2 のトラッキング誤差が0となる C_3 を求めます。

$$\left(\frac{1}{\frac{1}{34.45[pF]+309.38[pF]}+\frac{1}{C_3}}-\frac{1}{\frac{1}{34.45[pF]+89.33[pF]}+\frac{1}{C_3}}\right)$$

$$\Big/\left(\frac{1}{\frac{1}{34.45[pF]+309.38[pF]}+\frac{1}{C_3}}-\frac{1}{\frac{1}{34.45[pF]+28.70[pF]}+\frac{1}{C_3}}\right)=0.7009911 \qquad \ldots(31)$$

C_3≒448.8[pF] （表計算ソフトで解を求めました。）

続いて C_3=448.8[pF] を(18)、(22)に代入して C_2 を求めます。

$$Co_2=\frac{1}{\frac{1}{C_4+Cv_2}+\frac{1}{C_3}}+C_2=\frac{1}{\frac{1}{34.45[pF]+309.38[pF]}+\frac{1}{448.8[pF]}}+C_2=194.68[\mathrm{pF}]+C_2 \qquad \ldots(32)$$

$$Co_4=\frac{1}{\frac{1}{C_4+Cv_4}+\frac{1}{C_3}}+C_2=\frac{1}{\frac{1}{34.45[pF]+28.70[pF]}+\frac{1}{448.8[pF]}}+C_2=55.36[\mathrm{pF}]+C_2 \qquad \ldots(33)$$

(16)から

$3.091597 \cdot Co_4=Co_2$ …(34)

(34)に(32)、(33)を代入

$3.091597 \cdot (55.36[\mathrm{pF}]+C_2)=194.68[\mathrm{pF}]+C_2$ …(35)

C_2=11.25[pF]

計算で求めた C_2=11.25[pF]は、冒頭の前提条件の **C_2=6pF** と矛盾します。これは、C_4=34.45pF という仮定が間違っていたからです。計算結果が C_2=6pF となるまで、計算を続けます。

f3をあわせる 次に、C_3=448.8[pF] のまま f_3 のトラッキング誤差が 0 となる L_2 を求めます。

(20)から、

$$Co_3=\frac{1}{\frac{1}{C_4+Cv_3}+\frac{1}{C_3}}+C_2=\frac{1}{\frac{1}{34.45[pF]+89.33[pF]}+\frac{1}{448.8[pF]}}+C_2=97.02[\mathrm{pF}]+11.25[\mathrm{pF}]=108.27[\mathrm{pF}]$$

…(36)

$$L_2=\frac{1}{(2\pi f_2)^2\cdot Co_3}=\frac{1}{(2\pi\cdot 1455\cdot 10^3[Hz])^2\cdot 108.27\cdot 10^{-12}[F]}=\frac{10^6}{(2\pi\cdot 1455[kHz])^2\cdot 108.27[pF]}\fallingdotseq 110.51[\mu\mathrm{H}]$$

…(37)

f4をあわせる この L_2 の値を代入すると f_3 のトラッキング誤差が 0 になります。しかし f_2 のトラッキング誤差は 0 ではなくなり、トラッキング誤差 0 の点の周波数が少し移動します。今度は f_4 のトラッキング誤差が 0 となる Co_4 を求めます。

$$Co_4=\frac{1}{(2\pi f_2)^2\cdot L_2}=\frac{1}{(2\pi\cdot 1855\cdot 10^3[Hz])^2\cdot 110.51\cdot 10^{12}[H]}=\frac{10^{12}}{(2\pi\cdot 1855[kHz])^2\cdot 110.51[\mu H]}\fallingdotseq 66.61[\mathrm{pF}]$$
…(38)

(23)を変形して(38)を代入、C_4 を求めます。

$$Co_4-C_2=\frac{1}{\frac{1}{C_4+Cv_4}+\frac{1}{C_3}}$$

$$\frac{1}{Co_4-C_2}=\frac{1}{C_4+Cv_4}+\frac{1}{C_3}$$

$$\frac{1}{C_4+Cv_4}=\frac{1}{Co_4-C_2}-\frac{1}{C_3}$$

$$C_4+Cv_4=\frac{1}{\frac{1}{Co_4-C_2}-\frac{1}{C_3}}$$

$$C_4=\frac{1}{\frac{1}{Co_4-C_2}-\frac{1}{C_3}}-Cv_4=\frac{1}{\frac{1}{66.61[pF]-6[pF]}-\frac{1}{448.8[pF]}}-28.70[pF]=41.37[\mathrm{pF}] \qquad \ldots(39)$$

とりあえず仮定した $C_4=C_1=34.45$[pF] を破棄して、上の計算式で求めた値 $C_4=41.37$[pF]と新たに仮定します。C_4 の値が変わり f_4 のトラッキング誤差は 0 となりますが、f_3 のトラッキング誤差は 0 でなくなり、トラッキング誤差 0 の点の周波数が少し移動します。

繰り返し計算スタート地点へ 戻って最初から計算を繰り返します。

$C_3 \rightarrow L_2 \rightarrow C_4 \rightarrow C_3 \rightarrow \ldots$ とお互いに関連して変化していく計算を延々と繰り返すと 各値の変化は徐々に小さくなり、それぞれある値に向かって収束していきます。これは実際の**3点調整**によく似ています。以下計算結果だけを記載します。

1回目、C_3≒448.8[pF]、C_2=11.25[pF]、L_2=110.51[μH]、C_4=41.37[pF]

2回目、C_3≒441.9[pF]、C_2=4.09[pF]、L_2=114.00[μH]、C_4=38.82[pF]

3回目、C_3≒444.4[pF]、C_2=6.70[pF]、L_2=112.70[μH]、C_4=39.75[pF]

4回目、C_3≒443.5[pF]、C_2=7.31[pF]、L_2=113.17[μH]、C_4=39.41[pF]

5回目、C_3≒443.8[pF]、C_2=6.09[pF]、L_2=113.00[μH]、C_4=39.53[pF]

6回目、C_3≒443.7[pF]、C_2=5.97[pF]、L_2=113.07[μH]、C_4=39.49[pF]

7回目、C_3≒443.7[pF]、C_2=6.01[pF]、L_2=113.05[μH]、C_4=39.50[pF]

8回目、C_3≒443.7[pF]、C_2=6.00[pF]、L_2=113.05[μH]、C_4=39.50[pF]

8回目の計算結果で仮定した値 C_2=6.00[pF]となりましたので、計算結果が収束したと判断して これにて計算終了し、8回目の計算結果 を最終的な結果とします。

1．5　標準型5球スーパーコイルまとめ

表5に今回の計算結果と著名な5球スーパーコイルの公表値との比較をしてみました。今回計算で求めた値はコイルメーカー各社の公表値にかなり近い値であることがわかります。**図4**に2点調整を行った場合の C_2 と f_3 の関係を示します。C_2=6pF として計算していますが、C_2 の値が増減した場合にはトラッキング誤差が0になる点 f_3（1000kHz）が上下に移動します。f_3 が多少移動してもダイヤル目盛りや性能にはほとんど影響しません。

３点調整を行った場合には C_2 の値に関わらず f_3 は 1000kHz になりますが、測定器または既製のダイヤルがない場合には調整は困難です。

表5　各社の標準型5球スーパーコイル公表値比較　（　）内の数値はメーカーの公表値ですが要調整。

コイル又は規格	同調コイル	発振コイル	パディング・コンデンサ	バリコン	備考
CLD 協会規格	205μH	未公表	440pF	430pF 2連	**図4**参照
トリオ　5S-L	205μH 空芯	113μH 空芯	半固定（440pF）	430pF 2連	**図4**参照 発振コイルは、旧い５球スーパー回路、多バンドスーパーには流用不可。
スター 5SH・O4	205μH 空芯	90-130μH ダストコア入り	半固定	430pF 2連 又はトラッキングレス	発振コイル O4 仕様は3点調整可 空芯の発振コイル仕様もあり
ナショナル #1708AC #1709AC	205μH 空芯	80-140μH ダストコア入り （110μH）	445pF 付属品	430pF 2連	**ナショナルの市販スーパーコイルは旧い５球スーパー用の回路で使用するように設定されている。**
ゼンセン AW・OW	205μH 空芯	ダストコア入り （113μH）	半固定 （440pF）	430pF 2連 又はトラッキングレス	３点調整可
今回の計算結果	204.64μH	113.05μH	443.7pF	430pF 2連	C_2=6pF のとき、 600kHz、1000kHz、1400kHz の3点でトラッキング誤差が0になる。

＊　**表5**のトラッキングレス・バリコンにはアルプス B-29（アンテナ側 12-430pF、発振側 10.5-208pF 、fmax/fmin=1650kHz/520kHz、IF=455kHz）などが該当します。

図4　2点トラッキング時のC_2とf_3の関係

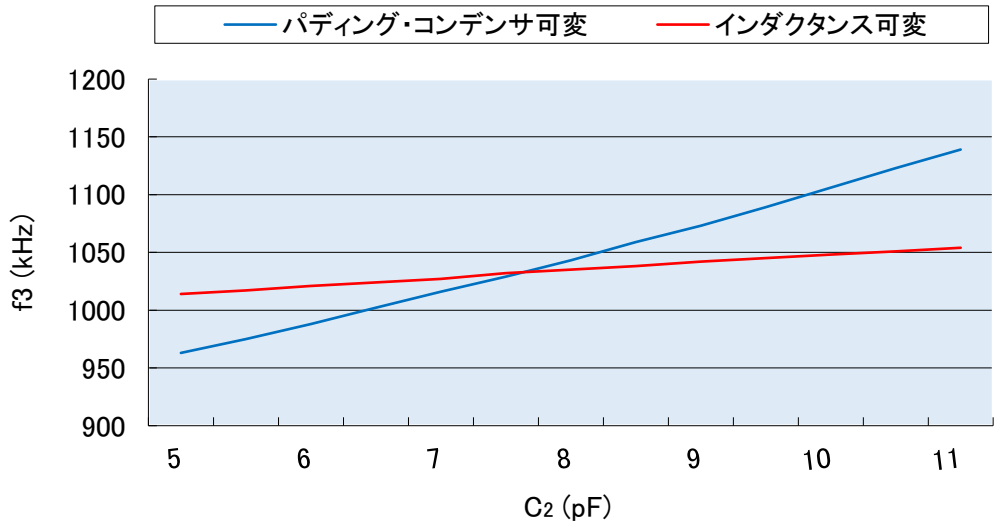


図 4 は 2 点トラッキング時の C_2 と f_3 の関係を示したものです。パディング・コンデンサを可変（図ではインダクタンスの値は 113μH）とした場合には C_2 の影響を大きく受けるのに対して、発振コイルのインダクタンスを可変（図ではパディング・コンデンサの値は 440pF）とした場合には C_2 の影響が小さいことがわかります。

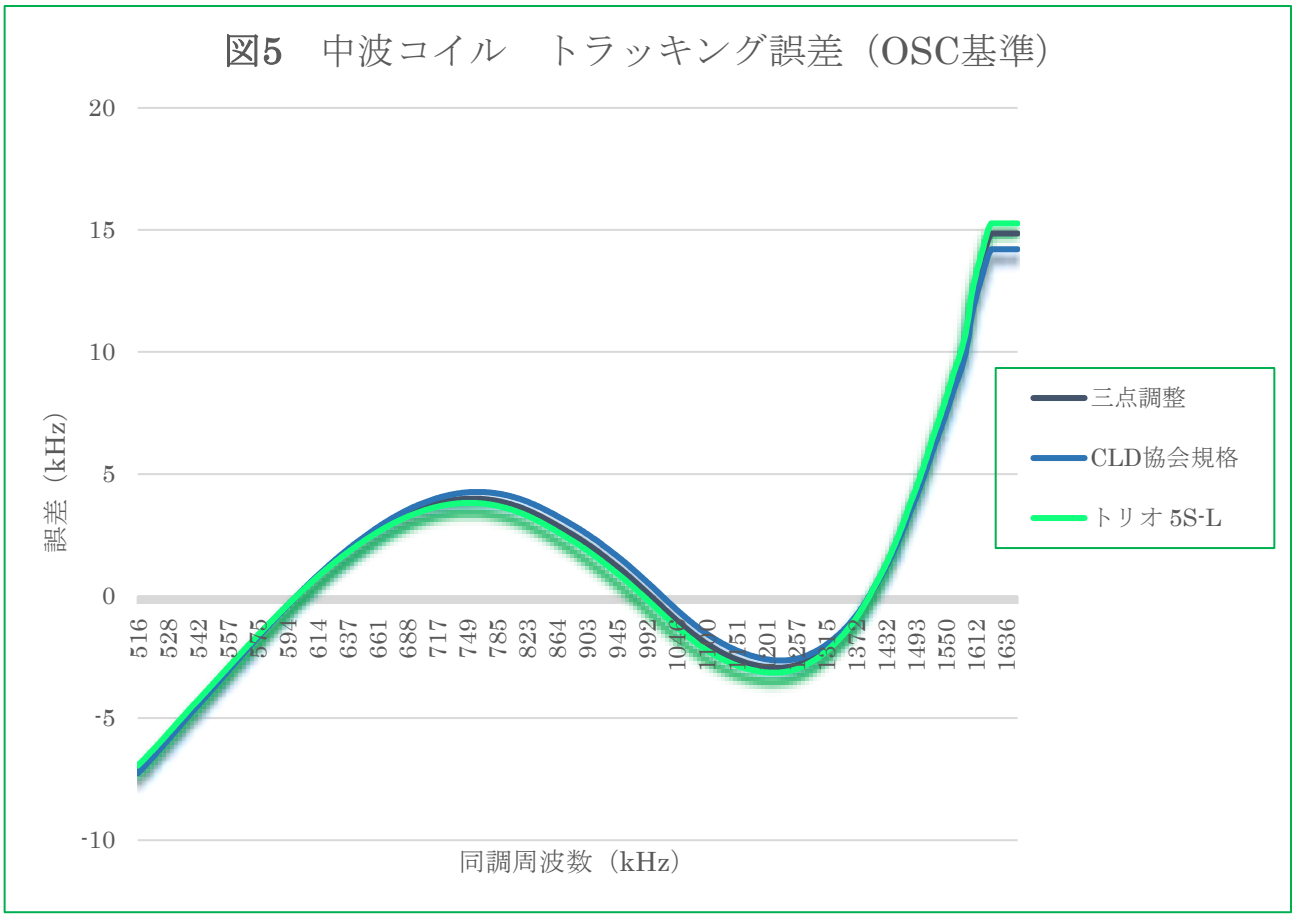


図 5 は受信周波数を決める局部発振周波数を基準に、同調コイルの周波数との差をトラッキング誤差としてグラフ化したもので、横軸はバリコンの回転角を等間隔に区切った点の同調周波数を表示しています。トラッキング周波数は 600kHz、1400kHz の 2 点ですが、もう一点 1000kHz 付近に誤差が 0 になる点があることがわかります。三点調整をすれば 1000kHz ちょうどに合わせることは可能ですが、多少のずれは性能やダイヤル目盛に影響しません。なお中間周波数が相対的に低いほど、トラッキング誤差を小さくすることができます。

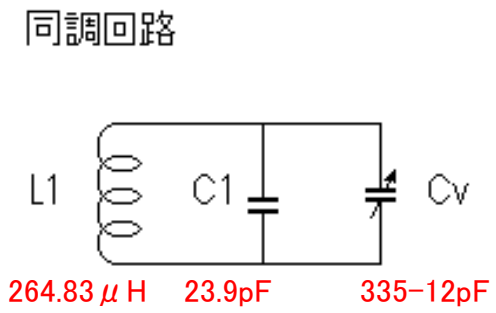
表6　トリオ製5球スーパーコイル　インダクタンスのばらつき

試料番号	品名	ANT コイル（μH）	OSC コイル（μH）	備考
-	トリオ5球スーパーコイル規格	205	113	カタログ公表値
1	トリオ　5S-L	208.0	111.07	三和 LCR700（100kHz）で測定
2	トリオ　5S-L	204.3	111.32	〃
3	トリオ　5S-L	209.2	112.37	〃
4	トリオ　5S-L	206.8	（なし）	〃
5	トリオ　5S-H	212.0	110.31	〃
6	トリオ　5S-H	207.3	111.56	〃
7	トリオ　5S-H	207.4	111.47	〃
8	トリオ　SA	215.9	113.74	〃

表6は未使用のトリオ製5球スーパーコイルのインダクタンスを測定したものです。意外とインダクタンスのばらつきが大きいことがわかります。

＊測定精度 200μH 以上 ±0.46%、 200μH 未満 ±0.57%

１．６　標準型回路 335pF バリコンの場合



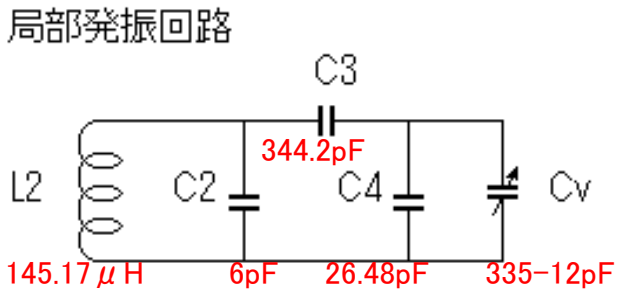


図6　標準型変換回路 LC 模式図

C_2=6pF と仮定した場合

比較的入手の容易な 335pF バリコンを使用する場合を考えてみました。

図6は標準型5球スーパーの同調回路、局部発振回路の周波数を決定する要素を模式的に示したものです。600kHz、1000kHz、1400kHz の３点でトラッキング調整した場合、例えば未知の値を C_2=6pF と仮定すれば他の値は定数となり、回路のストレーなどに左右されません。

並四コイルを同調コイルに、No.88 コイルを発振コイルに使うことを想定して、改めて計算した結果は次のとおり。

同調コイル（並四コイル）	260μH
発振コイル（No.88 コイルなど）	142.6μH
パディング・コンデンサ	350.5pF

2．1　旧い５球スーパー

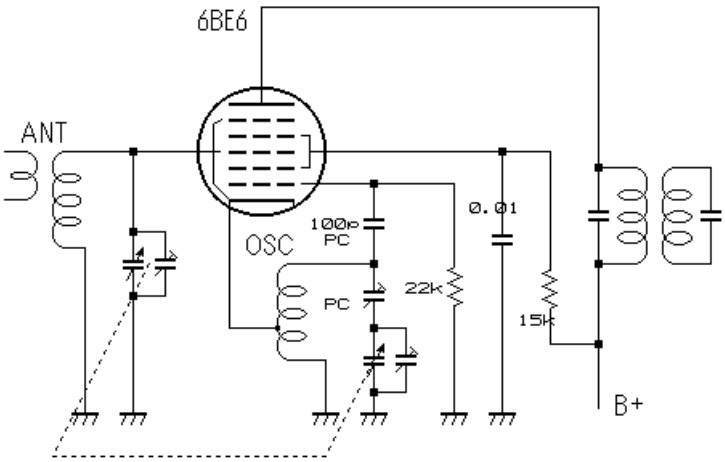


図7　(B) PCがバリコンと直列に入った周波数変換回路

旧い5球スーパーや旧い技術解説書に、**図6**のような周波数変換回路を見かけます。(計算を容易にするため、AVC 回路を省略してあります。)バリコンの最大容量と比較してパディング・コンデンサの容量がかなり小さい場合、この発振回路以外ではバリコンの最大容量付近で発振停止することがあります。

図8は**図7**の同調回路、局部発振回路の周波数を決定する要素を模式的に示したものです。600kHz、1000kHz、1400kHz の3点でトラッキング調整したときの L_2、C_2、C_3 の値の組み合わせは無限にあり、しかも実際のラジオでの C_2(真空管周りのストレーと発振コイルの分布容量の合計)を容易に知る手立てがありません。C_2 の値は発振コイルのインダクタンスへの影響も大きいことから計算で各値を求めることは困難ですが、C_2 がわかれば残りの L_2 と C_3 の組み合わせは一通りしかありません。

C_2 の値は多くの場合 15pF から 25pF 程度だろうと推測しますので、**図8**には C_2=20pF の場合の計算値を示します。計算方法は標準型5球スーパーコイルと同じです。

旧い 5 球スーパーと標準型 5 球スーパーの発振コイルとではインダクタンスの値が異なりますので、標準型5球スーパー用発振コイルをこの回路に流用するにはやや無理があります。

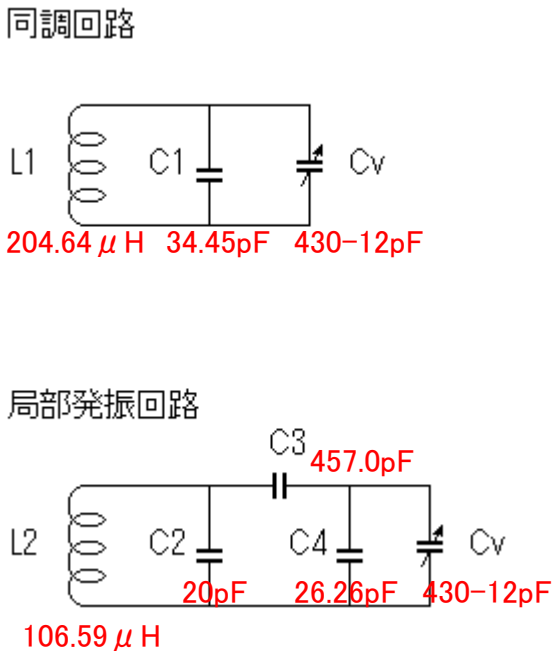


図8　旧い5球スーパーの周波数変換回路模式図
C_2=20pF の場合

同調回路

L_1　同調コイル

C_1　回路のストレー(浮遊容量+コイルの分布容量+トリマ 容量)、コイル設計時に設定した容量。浮遊容量+コイルの分布容量は測定しなければ特定できませんが、調整の行程で不足分をトリマで補正することになるため一定の値となります。

Cv　2連バリコン　430pF～12pF とします。

局部発振回路

L_2　発振コイル

C_2　発振コイルの分布容量(測定は容易)と未知の値である回路のストレー(真空管周りの浮遊容量)の総和。

C_3　パディング・コンデンサ

C_4　バリコン付属のトリマ容量。

Cv　2連バリコン　430pF～12pF 同調回路と常に等容量。

3．1　多バンドスーパー

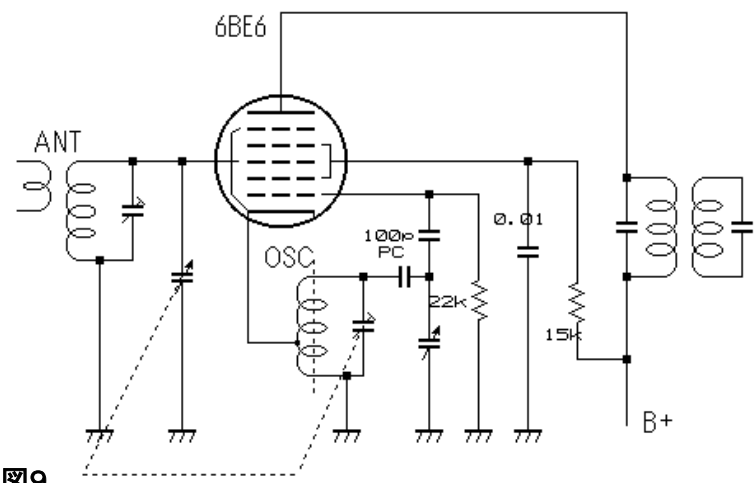


図9
(C) トリマコンデンサがコイル側に入った周波数変換回路

2バンド以上を受信するラジオではコイルを切替えて使う構造であるため、バリコンのトリマやパディング・コンデンサを共用するわけにはいきません。そのため、中波専用ラジオとは発振回路が異なります。**図8**は説明用に1バンドとした周波数変換回路です。

多バンド用と標準型の発振コイルとでは、インダクタンスの値が大きく異なります。そこで2バンドラジオの中波バンドにだけ標準型の発振回路を採用し、標準型の発振コイルを流用した市販の国産ラジオが、かつて存在しました。

図10は**図9**の同調回路、局部発振回路の周波数を決定する要素を模式的に示したものです。600kHz、1000kHz、1400kHz の3点でトラッキング調整したときの L_2、C_3、C_4 の値の組み合わせは無限にあり、しかも実際のラジオでの C_4（真空管周りのストレー）を容易に知る手立てがありません。C_4 の値は中波帯では発振コイルのインダクタンスへの影響も大きいことから計算で各値を求めることは困難ですが、C_4 がわかれば残りの L_2 と C_3 の組み合わせは一通りだけです。

C_4 の値は多くの場合 15pF から 30pF 程度だろうと推測しますので、**図10**には代表して A バンド（中波帯）で C_4=25pF の場合に 600kHz、1000kHz、1400kHz の3点でトラッキング調整したときの計算値を示します。

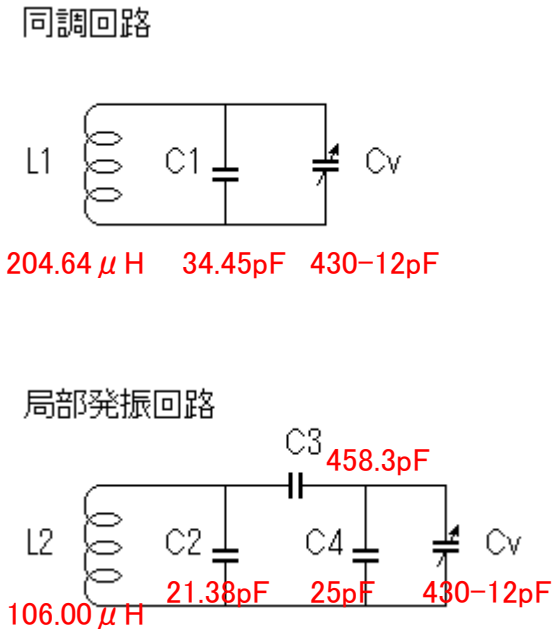


図10　多バンドスーパーの周波数変換回路模式図
A バンド　C_4=25pF の場合

同調回路

L_1　同調コイル

C_1　回路のストレー（浮遊容量+コイルの分布容量+トリマ容量）
コイル設計時に設定した容量。浮遊容量+コイルの分布容量は不明ですが、トリマで不足分を補正するため一定の値となります。

Cv　2連バリコン　430pF～12pF とします。

局部発振回路

L_2　発振コイル

C_2　発振コイルの分布容量+トリマ容量。

C_3　パディング・コンデンサ

C_4　回路のストレー（浮遊容量）　未知の値ですが、とりうる値はある程度決まっている上に、短波帯では他の値への影響は小さくなります。

Cv　2連バリコン　430pF～12pF 同調回路と常に等容量。

f_2、f_4 の2点でトラッキング誤差が 0 となる C_3、L_2 の組み合わせは無限に存在します。コイル設計をするにあたって C_4 の値を仮定し、 f_2、f_4 の間にもう一点トラッキング誤差が 0 となる周波数 f_3 を設定すると、これらの 3 点でトラッキング誤差が 0 となるパディング・コンデンサ C_3 の値は一通りだけとなり、L_2 などの値も付随して 求めることができます。

f_2、f_4 の2点調整をすれば、自動的に f_3 でもトラッキング誤差が 0 となり全体のトラッキング誤差を小さく収めることができます。今回は標準型のときのような机上の3点調整は不要で、方程式を解くだけで答えが出ます。短波帯での C_4 については**3．2項**で検討します。

3．2 B バンドのパディング･コンデンサ

3.5MHz～10MHz の B バンドのパディング･コンデンサの値を求めてみます。

表7 B バンドコイルの周波数と同調容量の関係 （灰色の数値は計算に使用しない）

注1	fmin	f_1	f_2	f_3	f_4	f_5	fmax
バリコン開度 [%] 注2	0	5	19.7	58.5	84	95	100
受信周波数 [kHz] 注3	(3400)	3500	4000	6500	9000	10000	(10300)
発振周波数 [kHz] 注8	(3855)	3955	4455	4955	9455	10455	(10755)
バリコン容量 Cv [pF] 注6	430	398	295.33 式(46)より	86.94 式(47)より	26.18 式(48)より	13.6	12
同調コイルの同調容量 Ca [pF] 注7	470.07	438.07 式(42)より	335.40 式(43)より	127.01 式(44)より	66.25 式(45)より	53.67	52.07
発振コイルの同調容量 Co [pF] 注９	(408.40)	C_{o1} (384.53)	C_{o2} (304.60)	C_{o3} (124.98)	C_{o4} (67.62)	C_{o5} (55.44)	(53.88)

同調容量比は周波数比の逆数の2乗だから、

$$\frac{C_1+Cv_1}{C_1+Cv_5}=\left(\frac{f_5}{f_1}\right)^2=\left(\frac{1000[kHz]}{3500[kHz]}\right)^2=8.1633 \qquad \ldots(40)$$

$$\frac{C_1+398[pF]}{C_1+13.6[pF]}=8.1633 \qquad \ldots(41)$$

C_1=40.07[pF]

f_1 のときの同調容量

$Ca_1=C_1+Cv_1$=40.07[pF]+398[pF]=438.07[pF] …(42)

よって、

$$Ca_2=C_1+Cv_2=\left(\frac{f_1}{f_2}\right)^2\cdot Ca_1=\left(\frac{3500[kHz]}{4000[kHz]}\right)^2\cdot 438.07[pF]\fallingdotseq 335.40[pF] \qquad \ldots(43)$$

$$Ca_3=\left(\frac{f_1}{f_3}\right)^2\cdot Ca_1=\left(\frac{3500[kHz]}{6500[kHz]}\right)^2\cdot 438.07[pF]\fallingdotseq 127.01[pF] \qquad \ldots(44)$$

$$Ca_4=\left(\frac{f_1}{f_4}\right)^2\cdot Ca_1=\left(\frac{3500[kHz]}{9000[kHz]}\right)^2\cdot 438.07[pF]\fallingdotseq 66.25[pF] \qquad \ldots(45)$$

$Cv_2=Ca_2-C_1$=335.40[pF]－40.07[pF]=295.33[pF] …(46)

$Cv_3=Ca_3-C_1$=127.01[pF]－40.07[pF]=86.94[pF] …(47)

$Cv_4=Ca_4-C_1$=66.25[pF]－40.07[pF]=26.18[pF] …(48)

容量比は周波数比の逆数の2乗だから、

$$\frac{Co_2}{Co_3}=\left(\frac{fo_3}{fo_2}\right)^2=\left(\frac{6500[kHz]+455[kHz]}{4000[kHz]+455[kHz]}\right)^2 \fallingdotseq 2.4372 \qquad \ldots(49)$$

$$Co_3=\frac{1}{2.4372}Co_2 \qquad \ldots(50)$$

$$\frac{Co_2}{Co_4}=\left(\frac{fo_4}{fo_2}\right)^2=\left(\frac{9000[kHz]+455[kHz]}{4000[kHz]+455[kHz]}\right)^2 \fallingdotseq 4.5043 \qquad \ldots(51)$$

$$Co_4=\frac{1}{4.5043}Co_2 \qquad \ldots(52)$$

$$Co_2=\frac{1}{\frac{1}{C_4+Cv_2}+\frac{1}{C_3}}+C_2 \qquad \ldots(53)$$

$$Co_2-C_2=\frac{1}{\frac{1}{C_4+Cv_2}+\frac{1}{C_3}} \qquad \ldots(54)$$

$$Co_3=\frac{1}{\frac{1}{C_4+Cv_3}+\frac{1}{C_3}}+C_2 \qquad \ldots(55)$$

$$Co_3-C_2=\frac{1}{\frac{1}{C_4+Cv_3}+\frac{1}{C_3}} \qquad \ldots(56)$$

$$Co_4=\frac{1}{\frac{1}{C_4+Cv_4}+\frac{1}{C_3}}+C_2 \qquad \ldots(57)$$

$$Co_4-C_2=\frac{1}{\frac{1}{C_4+Cv_4}+\frac{1}{C_3}} \qquad \ldots(58)$$

(54)－(56)として、C_2を消去する。

$$(Co_2-C_2)-(Co_3-C_2)=\frac{1}{\frac{1}{C_4+Cv_2}+\frac{1}{C_3}}-\frac{1}{\frac{1}{C_4+Cv_3}+\frac{1}{C_3}} \qquad \ldots(59)$$

(50)から、

$$Co_2-Co_3=Co_2-\frac{1}{2.4372}\cdot Co_2=\frac{2.4372-1}{2.4372}\cdot Co_2=\frac{1.4372}{2.4372}\cdot Co_2 \qquad \ldots(60)$$

$$C_{o2}=\frac{2.4372}{1.4372}\cdot\left(\frac{1}{\frac{1}{C_4+Cv_2}+\frac{1}{C_3}}-\frac{1}{\frac{1}{C_4+Cv_3}+\frac{1}{C_3}}\right) \quad \ldots(61)$$

(54)－(58)として、C_2を消去する。

$$(C_{o2}-C_2)-(C_{o4}-C_2)=\frac{1}{\frac{1}{C_4+Cv_2}+\frac{1}{C_3}}-\frac{1}{\frac{1}{C_4+Cv_4}+\frac{1}{C_3}} \quad \ldots(62)$$

(50)から、

$$C_{o2}-C_{o4}=C_{o2}-\frac{1}{4.5043}\cdot C_{o2}=\frac{4.5043-1}{4.5043}\cdot C_{o2}=\frac{3.5043}{4.5043}\cdot C_{o2} \quad \ldots(63)$$

$$C_{o2}=\frac{4.5043}{3.5043}\cdot\left(\frac{1}{\frac{1}{C_4+Cv_2}+\frac{1}{C_3}}-\frac{1}{\frac{1}{C_4+Cv_4}+\frac{1}{C_3}}\right) \quad \ldots(64)$$

(61)=(64)として、C_2を消去する。

$$\frac{2.4372}{1.4372}\cdot\left(\frac{1}{\frac{1}{C_4+Cv_2}+\frac{1}{C_3}}-\frac{1}{\frac{1}{C_4+Cv_3}+\frac{1}{C_3}}\right)=\frac{4.5043}{3.5043}\cdot\left(\frac{1}{\frac{1}{C_4+Cv_2}+\frac{1}{C_3}}-\frac{1}{\frac{1}{C_4+Cv_4}+\frac{1}{C_3}}\right)$$

$$\left(\frac{1}{\frac{1}{C_4+Cv_2}+\frac{1}{C_3}}-\frac{1}{\frac{1}{C_4+Cv_3}+\frac{1}{C_3}}\right)\Bigg/\left(\frac{1}{\frac{1}{C_4+Cv_2}+\frac{1}{C_3}}-\frac{1}{\frac{1}{C_4+Cv_4}+\frac{1}{C_3}}\right)=\frac{4.5043}{3.5043}/\frac{2.4372}{1.4372}=0.75797 \quad \ldots(65)$$

C_4=25[pF] と仮定、(65)に代入

$$\left(\frac{1}{\frac{1}{25[pF]+295.33[pF]}+\frac{1}{C_3}}-\frac{1}{\frac{1}{25[pF]+86.94[pF]}+\frac{1}{C_3}}\right)$$

$$\Bigg/\left(\frac{1}{\frac{1}{25[pF]+295.33[pF]}+\frac{1}{C_3}}-\frac{1}{\frac{1}{25[pF]+26.18[pF]}+\frac{1}{C_3}}\right)=0.75797 \quad \ldots(66)$$

C_3≒2782[pF] （表計算ソフトで解を求めました。）

(53)、(57)に C_3=2782[pF]を代入

$$C_{o2}=\frac{1}{\frac{1}{C_4+Cv_2}+\frac{1}{C_3}}+C_2=\frac{1}{\frac{1}{25[pF]+295.33[pF]}+\frac{1}{2782[pF]}}+C_2=287.27[\mathrm{pF}]+C_2 \qquad \ldots(67)$$

$$C_{o4}=\frac{1}{\frac{1}{C_4+Cv_4}+\frac{1}{C_3}}+C_2=\frac{1}{\frac{1}{25[pF]+26.18[pF]}+\frac{1}{2782[pF]}}+C_2=50.26[\mathrm{pF}]+C_2 \qquad \ldots(68)$$

(51)から、

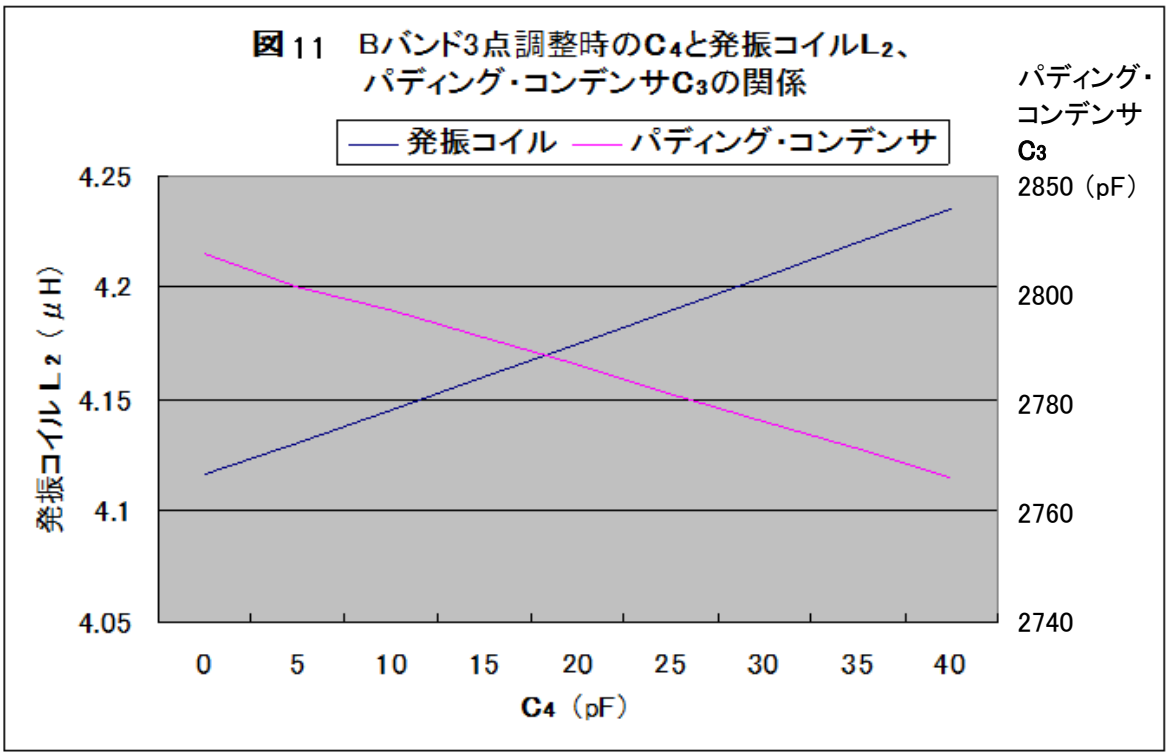
$4.5043 \cdot C_{o4}=C_{o2}$ …(69)

(69)に(67)と(68)を代入

$4.5043 \cdot (50.26[\mathrm{pF}]+C_2)=287.27[\mathrm{pF}]+C_2$ …(70)

C_2=17.37[pF]

C_4 は発振回路のストレーですから特定することは難しいのですが、0[pF]＜**C_4**＜42.25[pF]=**C_1** とすれば、2806[pF]＞**C_3**＞2759[pF]となります。**図11**に B バンドで3点調整をした場合の **C_4** と発振コイル、パディング・コンデンサ **C_3** の関係を示します。**C_3** のとりうる値のばらつきは 2%以内 ですから一般的なコンデンサの誤差よりも小さく、パディング・コンデンサ **C_3** の値は **C_4** の多寡にほとんど影響されないといってよいと思います。実際の2バンドや3バンドラジオでの **C_4** の値は 15pF から 30pF くらいだろうと想像しますので、ここでは便宜上 **C_4**=25pF での計算結果を採用することとします。



３．３　Bバンドの発振コイル

トラッキング・ポイントのひとつ f2 (4000kHz) で誤差が 0 になるように設定します。

このときの局部発振回路の同調容量 Co2 は、$Co_2=\dfrac{1}{\dfrac{1}{C_4+Cv_2}+\dfrac{1}{C_3}}+C_2=$

$$\frac{1}{\dfrac{1}{25[pF]+295.33[pF]}+\dfrac{1}{2782[pF]}}+17.37[pF]=304.64[\mathrm{pF}] \qquad \ldots(71)$$

発振コイルのインダクタンス L2 は、

$$L_2=\frac{1}{(2\pi f_2)^2\cdot Co_2}=\frac{1}{(2\pi\cdot 4455\cdot 10^3[Hz])^2\cdot 304.64\cdot 10^{-6}[F]}=\frac{10^6}{(2\pi\cdot 4455[kHz])^2\cdot 304.64[pF]}\fallingdotseq 4.190[\mu\mathrm{H}] \ \ldots(72)$$

CLD協会規格では発振コイルのインダクタンスの値は規定していません。トリオのSシリーズコイルの初期の資料には 4.2μH と記載されていますが、実際にはインダクタンス可変 です。

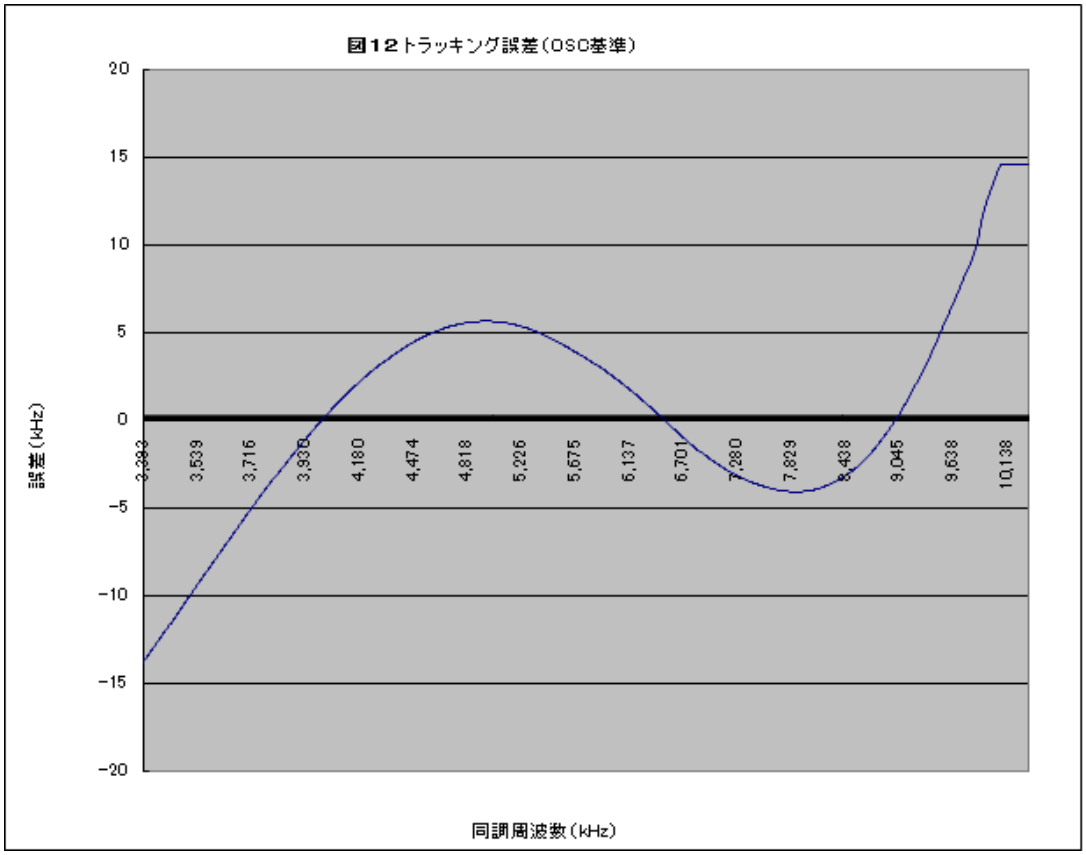


図12 は今回の計算結果をもとに、受信周波数を決める局部発振周波数を基準に同調コイルの周波数との差をトラッキング誤差としてグラフ化したもので、横軸はバリコンの回転角を等間隔に区切った点の同調周波数を表示しています。

最初に想定した 4MHz、6.5MHz、9MHz で誤差が 0 になります。

3．4　多バンドスーパーコイルまとめ

他のバンドについても検討した資料を**表8**に示します。トラッキング周波数をバンド内で偏らないように独自に設定し、計算しました。計算値は 1952 年施行の CLD 協会規格に近い値となりました。**スター**の2バンドコイル・2B と**トリオ**の S シリーズコイルは CLD 協会規格制定以前に設計されたやや古いものです。

表8　多バンドスーパーコイル定数比較

黒字は計算値、**青字**は CLD 協会規格、**緑字**は**トリオ**の公表値、**赤字**は**スター**の公表値、**紫色**は**松下**の公表値

型名	受信周波数 f_1 f_5	トラッキング周波数 f_2 f_3 f_4	同調コイル L_1	発振コイル L_2	パディング・コンデンサ C_3	備考
A 2バンド用	535kHz 1605kHz	600kHz 1000kHz 1400kHz	204.64μH 204.64μH 205μH 205μH 205μH 205μH 205μH	103.72μH 106.00μH — — 103μH — 110μH	463pF 458pF — (430pF) — 450pF 445pF	C_4=20pF のとき C_4=25pF のとき 2バンド用未公表 2バンド 2バンドコイル・2B PR-3LM 3B-310
As 多バンド用	550kHz 1600kHz	600kHz 1000kHz 1400kHz	192.10μH 192μH 192μH 190μH	98.35μH — 105μH 95μH	491 pF 470 pF (470 pF) —	S シリーズコイル 3バンドコイル・3B
B	3.5MHz 10MHz	4MHz 6.5MHz 9MHz	4.72μH 4.7μH 4.7μH 4.75Mh 4.71μH	4.19μH — 4.2μH — 4.2μH	2782 pF 2800 pF 3000 pF 2800 pF 3000pF	S シリーズコイル PR-3LM 3B-310
C 2 バンド用	6MHz 18MHz	6.5MHz 11MHz 16MHz	1.63μH 1.6μH 1.6μH 1.6μH 1.62μH	1.52μH — 1.5μH — 1.52μH	4784 pF 4700 pF 4000 pF 3650 pF —	S シリーズコイル 2バンドコイル・2B 2B-618
D	8MHz 23MHz	8.5MHz 14MHz 21MHz	0.905μH 0.9μH 0.9μH 0.9μH 0.904μH	0.86μH — 0.86μH — 0.86μH	6618 pF 6500 pF 6000 pF 6000 Pf —	S シリーズコイル PR-3LM 3B-323
E	1.5MHz 4.4MHz	1.6MHz 2.5MHz 4MHz	25.9μH 25.8μH 25.8μH 26μH	19.7μH — 20.2μH 20μH	1285 pF 1200 pF 1250 pF 1200pF	S シリーズコイル #1707AC,2B-105
G	10.5MHz 30MHz	12MHz 18MHz 27MHz	0.53μH —	0.51μH —	8314pF 使用しない	S シリーズ資料の周波数帯の場合 S シリーズコイル
H	3.5MHz 7.5MHz	4MHz 5.5MHz 7MHz	10.12μH —	8.87μH —	1445pF 3000pF	S シリーズ資料の周波数帯の場合 S シリーズコイル
I	7MHz 15MHz	8MHz 11MHz 14MHz	2.53μH —	2.37μH —	2859pF 6000pF	S シリーズ資料の周波数帯の場合 S シリーズコイル
J	14MHz 30MHz	16MHz 22MHz 28MHz	0.63μH —	0.61μH —	5687pF 使用しない	S シリーズ資料の周波数帯の場合 S シリーズコイル

表8は f_2、f_4 の２点でトラッキング調整すると、自動的に f_3 でもトラッキング誤差が 0 となるように 設定しました。f_2 で L_2（または C_3）を調整、f_4 で発振コイルのトリマ（C_2 の構成要素のひとつ）を調整しますが、f_3 は諸定数を設定するために決めた周波数で実際の調整とは無関係です。特記のない場合は C_4=25pF で計算しました。

H、I、J バンドはトリオ S シリーズコイル独自の規格です。資料を基にバリコン容量は 180-11pF（EIAJ 標準 1a の可変係数曲線）、バリコン開度 2.5%の位置で f_1、90%の位置で f_5 が受信できることとして計算しました。

次にトラッキング誤差ににについてシミュレーションしてみました。

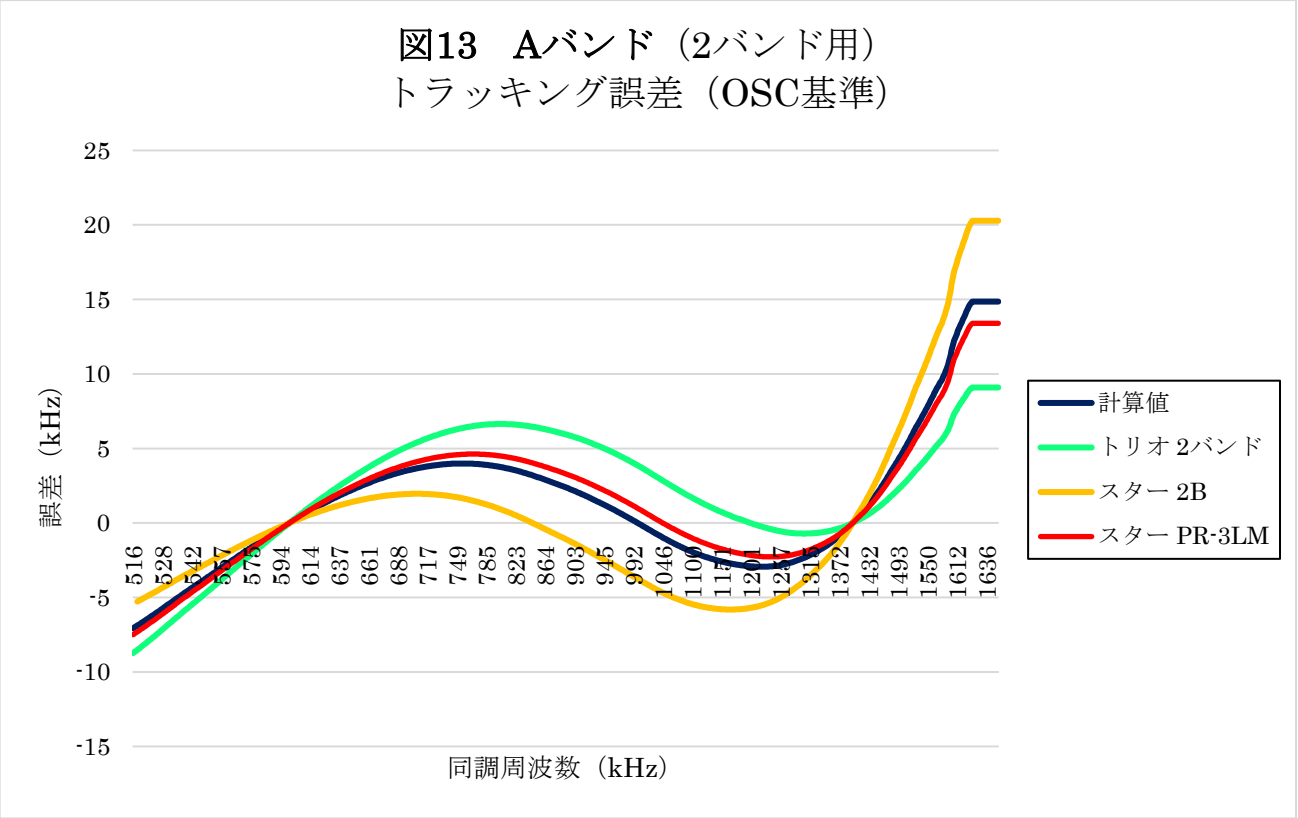


図13は C4=25pF と仮定し、600kHz と 1400kHz の 2 点トラッキング調整をした場合のトラッキング誤差のグラフで、横軸はバリコンの回転角を等間隔に区切った点の同調周波数を表示しています。（以下同様）
中波バンドは C4 の値に大きく影響されます。

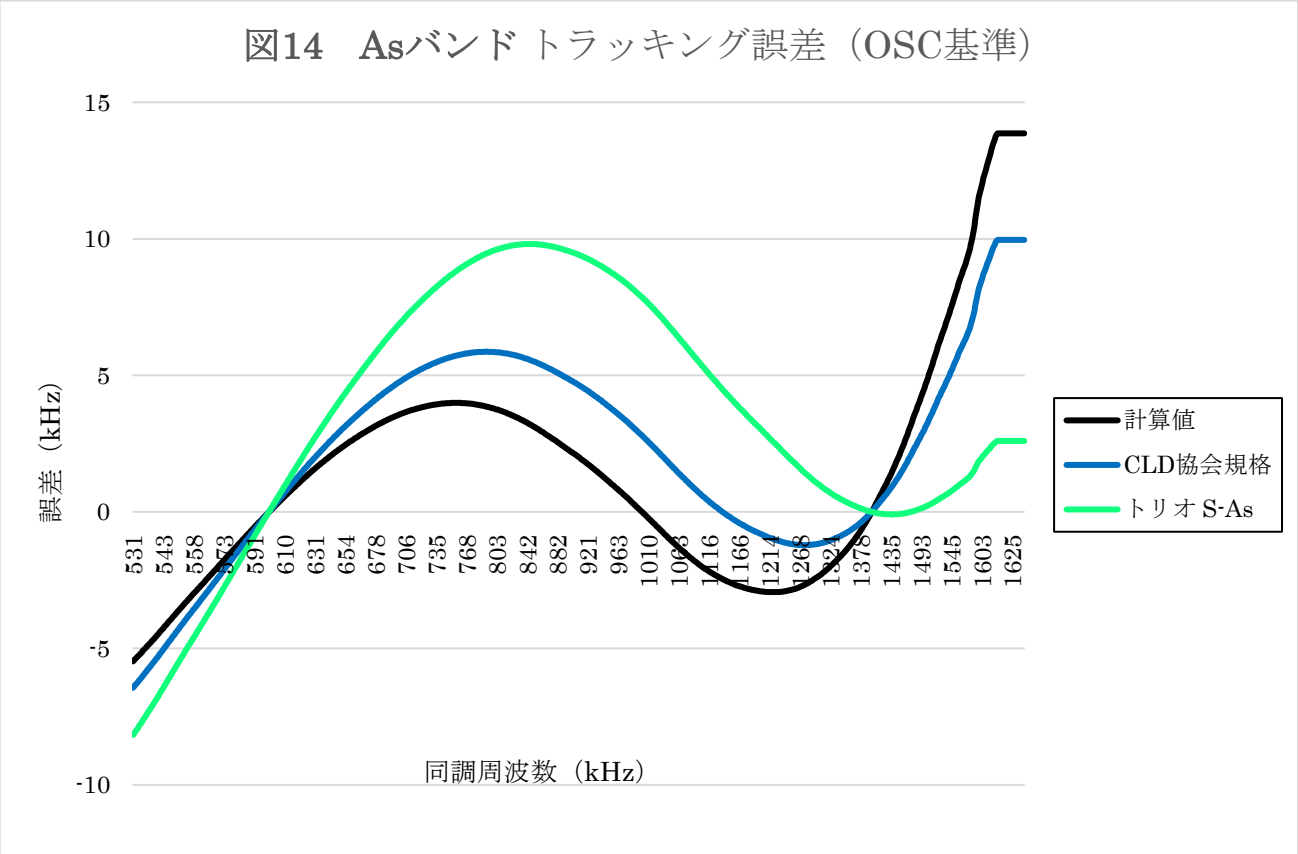


図14は C4=25pF と仮定し、600kHz と 1400kHz の 2 点トラッキング調整をした場合のトラッキング誤差のグラフです。トリオ As のグラフはトリオから発表されたインダクタンスの値に基づいて計算したものですが、実際の S-As の発振コイルはダストコア入りですから半固定パディング・コンデンサとの併用で三点調整が可能で、計算値と同様の状態に調整することもできます。

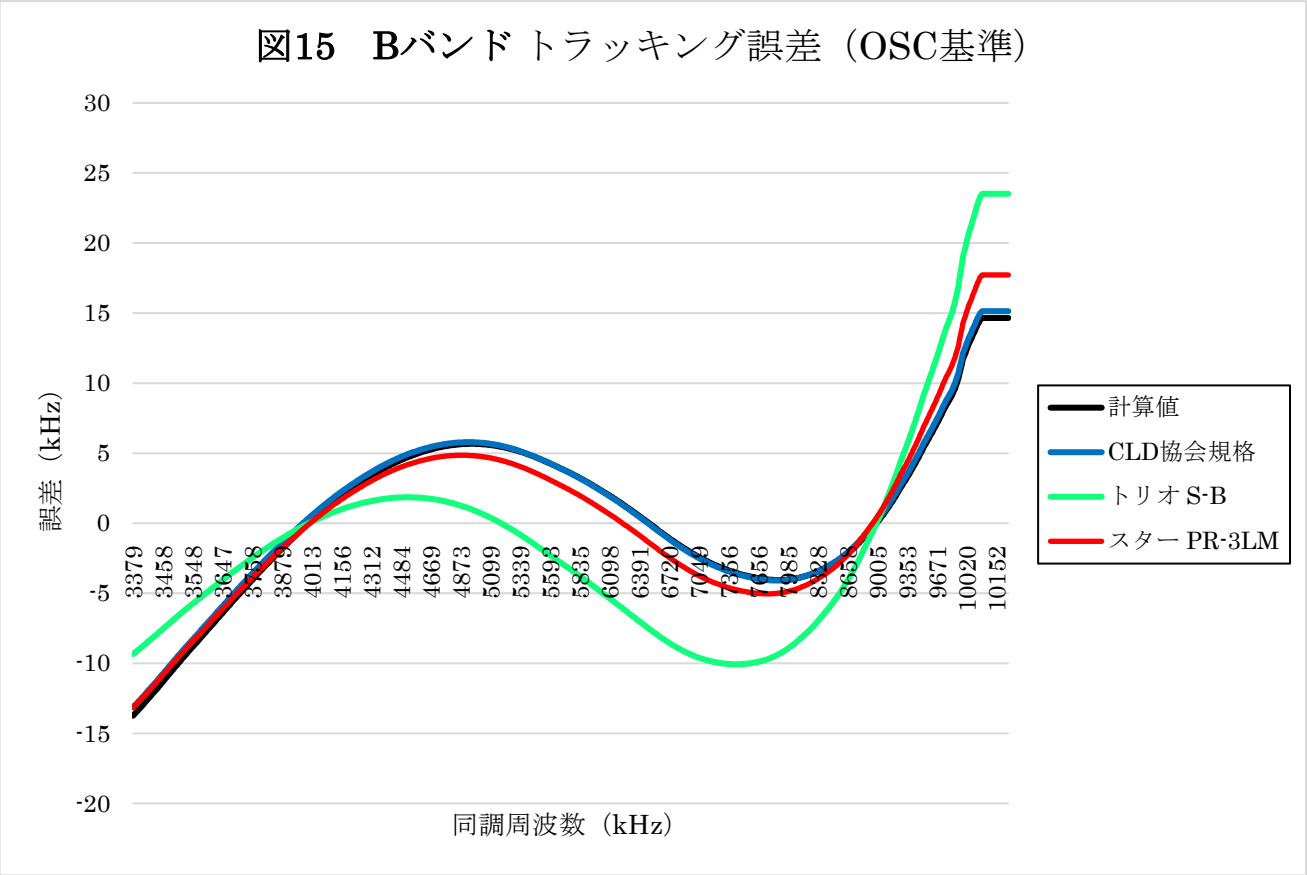


図15は C4=25pF と仮定し、4000kHz と 9000kHz の 2 点トラッキング調整をした場合のトラッキング誤差のグラフです。計算値と CLD 協会規格はほぼ等しい値であるためグラフがほとんど重なっています。これらのグラフのカーブの差はひとえにパディング・コンデンサの値の差によるものです。

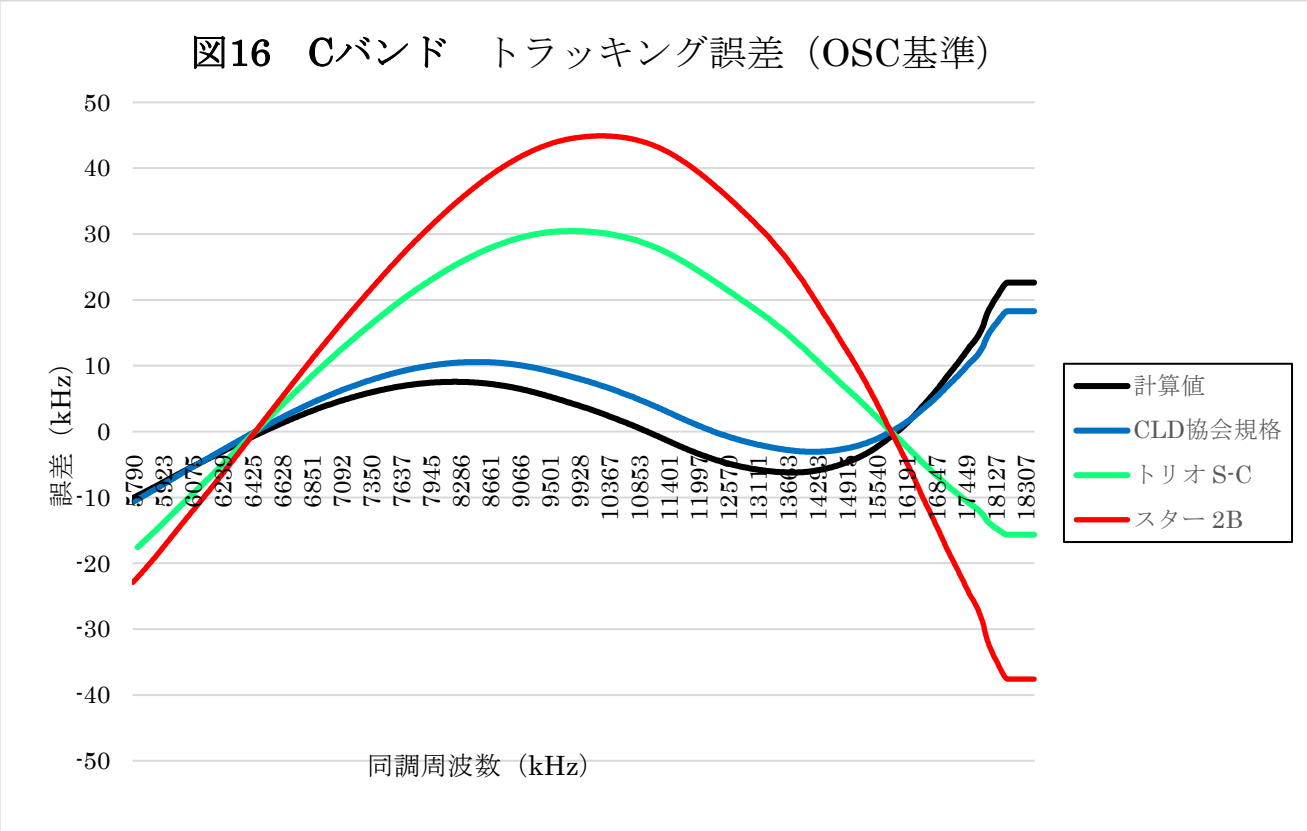


図16は C4=25pF と仮定し、6500kHz と 16000kHz の 2 点トラッキング調整をした場合のトラッキング誤差のグラフです。トリオ S-C とスター 2バンドコイルはパディング・コンデンサの設定が小さすぎるため、トラッキング誤差が0となる点は　2点だけです。10000kHz で 45kHz 程度のトラッキング誤差であれば、実際には目立った感度の低下はありません。

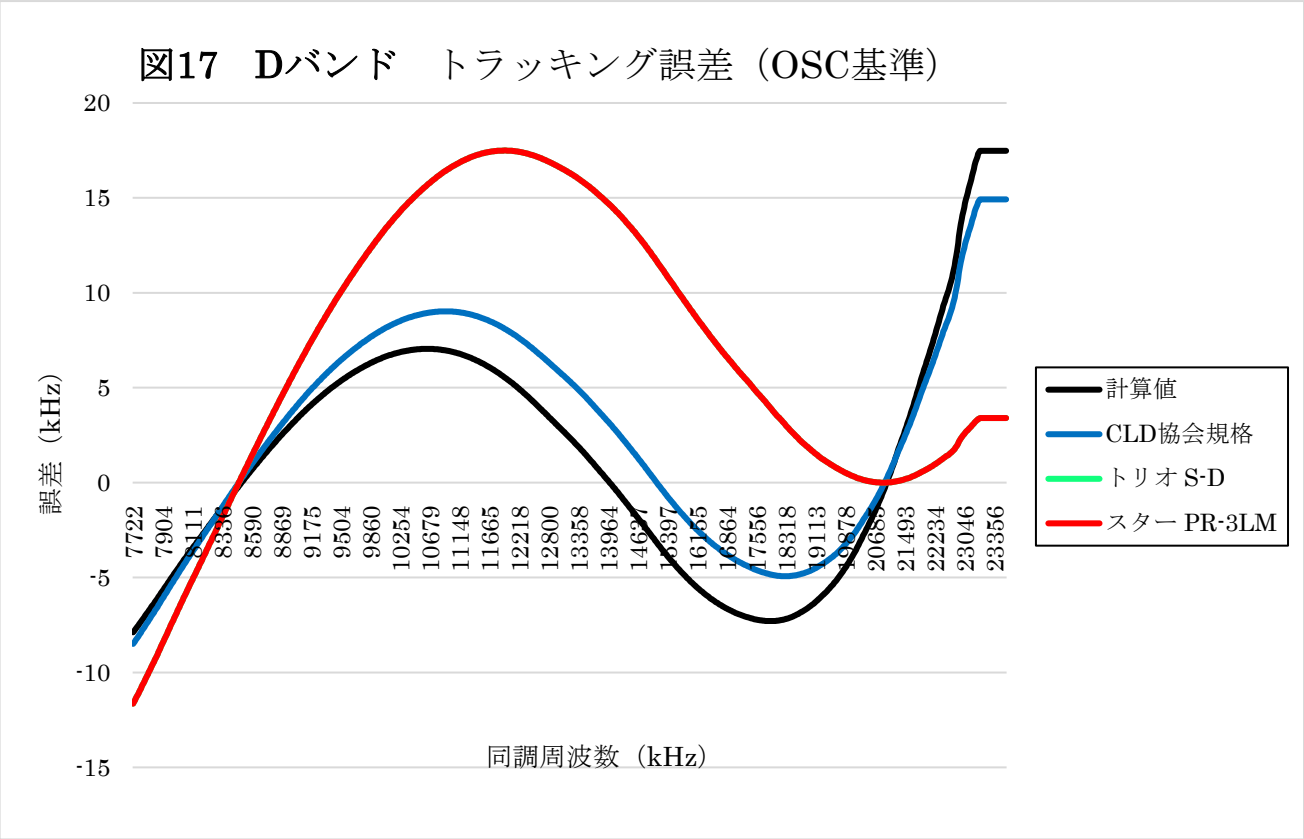


図17は C4=25pF と仮定し、8500kHz と 21000kHz の 2 点トラッキング調整をした場合のトラッキング誤差のグラフです。トリオ S-D とスター PR-3LM のグラフは完全に重なっていますが、パディング・コンデンサの設定が小さすぎるため、トラッキング誤差が0となる点は2点だけです。

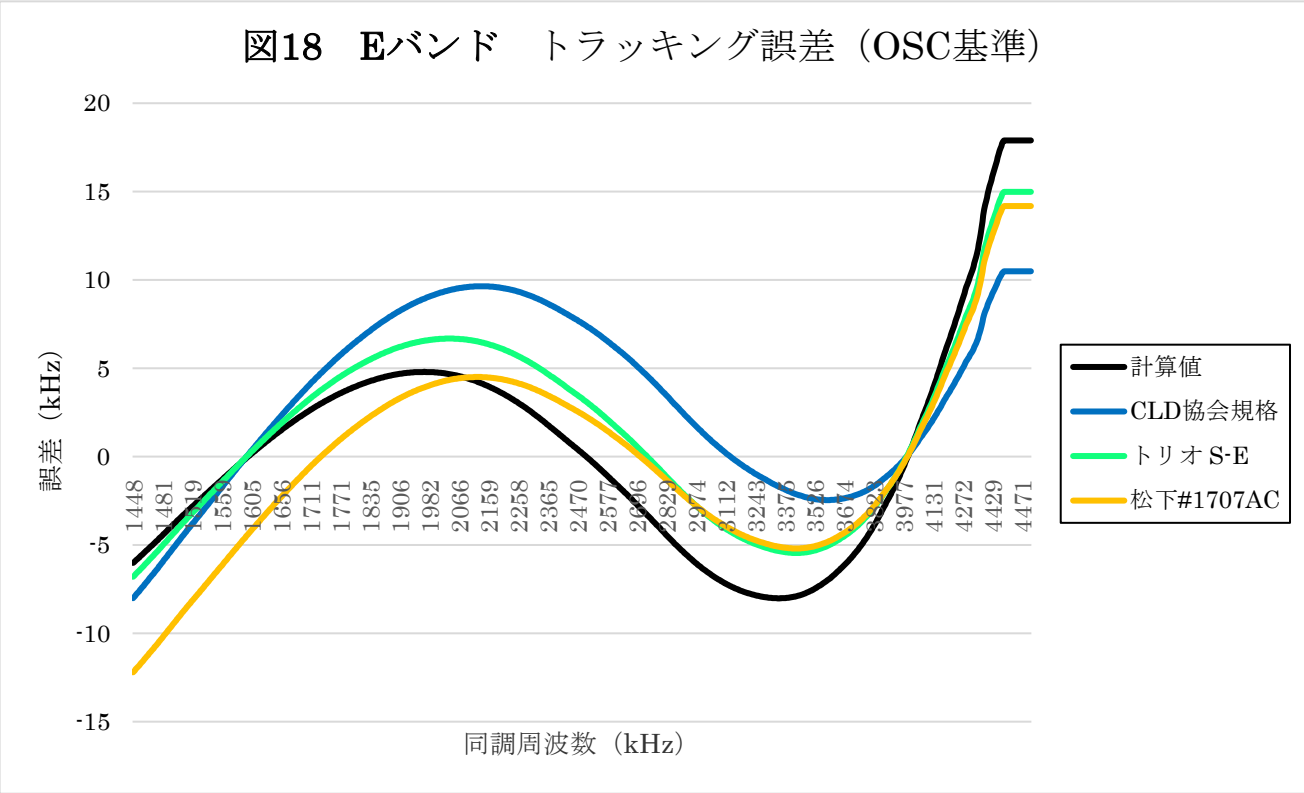


図18は C4=25pF と仮定し、1600kHz と 4000kHz の 2 点トラッキング調整をした場合のトラッキング誤差のグラフです。松下#1707 は発振コイルのインダクタンス固定のため、4000kHz の 1 点調整のみですが性能はほぼ同じです。

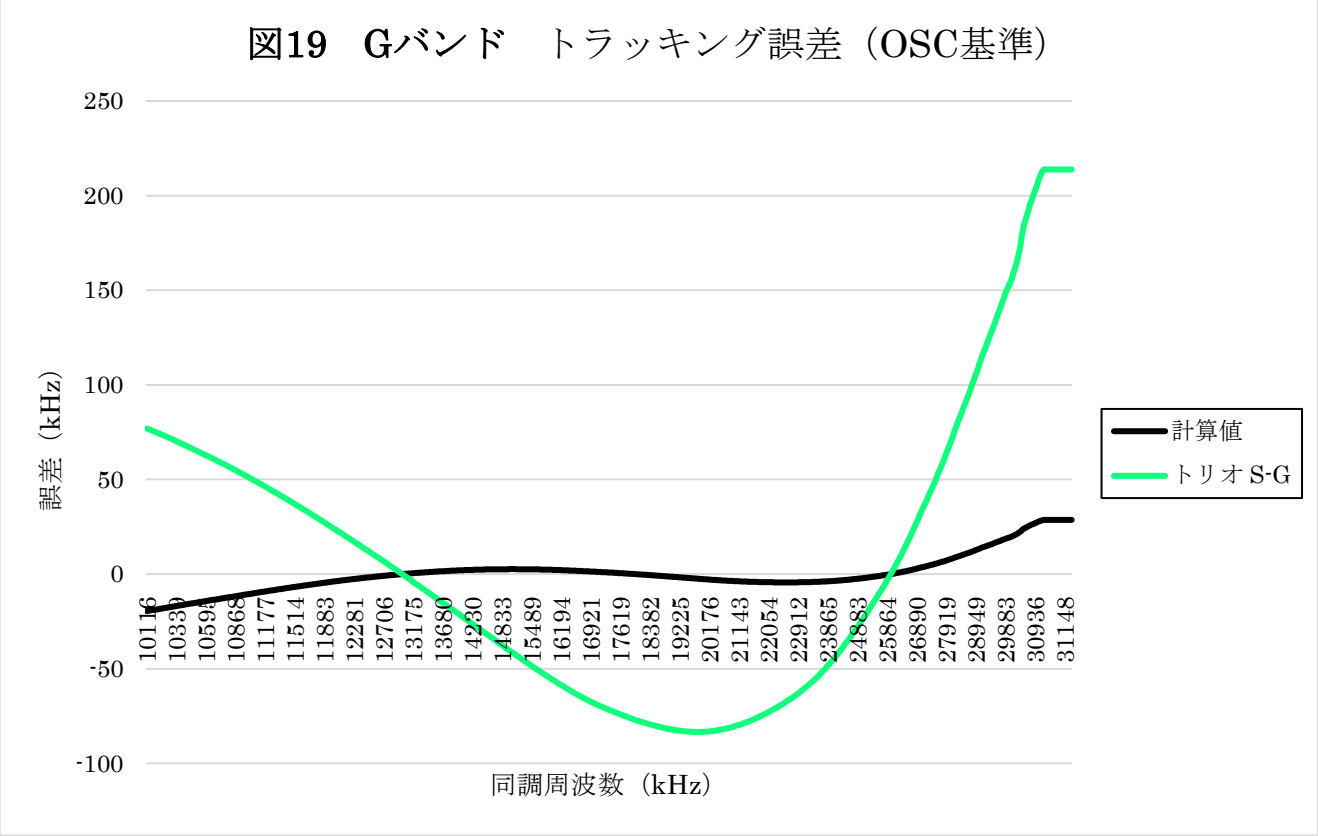


図19は C4=25pF と仮定し、12000kHz と 27000kHz の 2 点トラッキング調整をした場合のトラッキング誤差のグラフです。トリオ S-G はパディング・コンデンサを使用しない仕様ですから必然的にトラッキング誤差が0になる点は2点だけですが、パディング・コンデンサを使用した計算値との差は歴然です。1950 年代当時 8200pF のマイカコンデンサは高価でしたから、トラッキング周波数 f2、f4 を使用頻度の高い周波数の近くに設定してトラッキング誤差の影響を小さくすることでお茶を濁していたのでしょう。

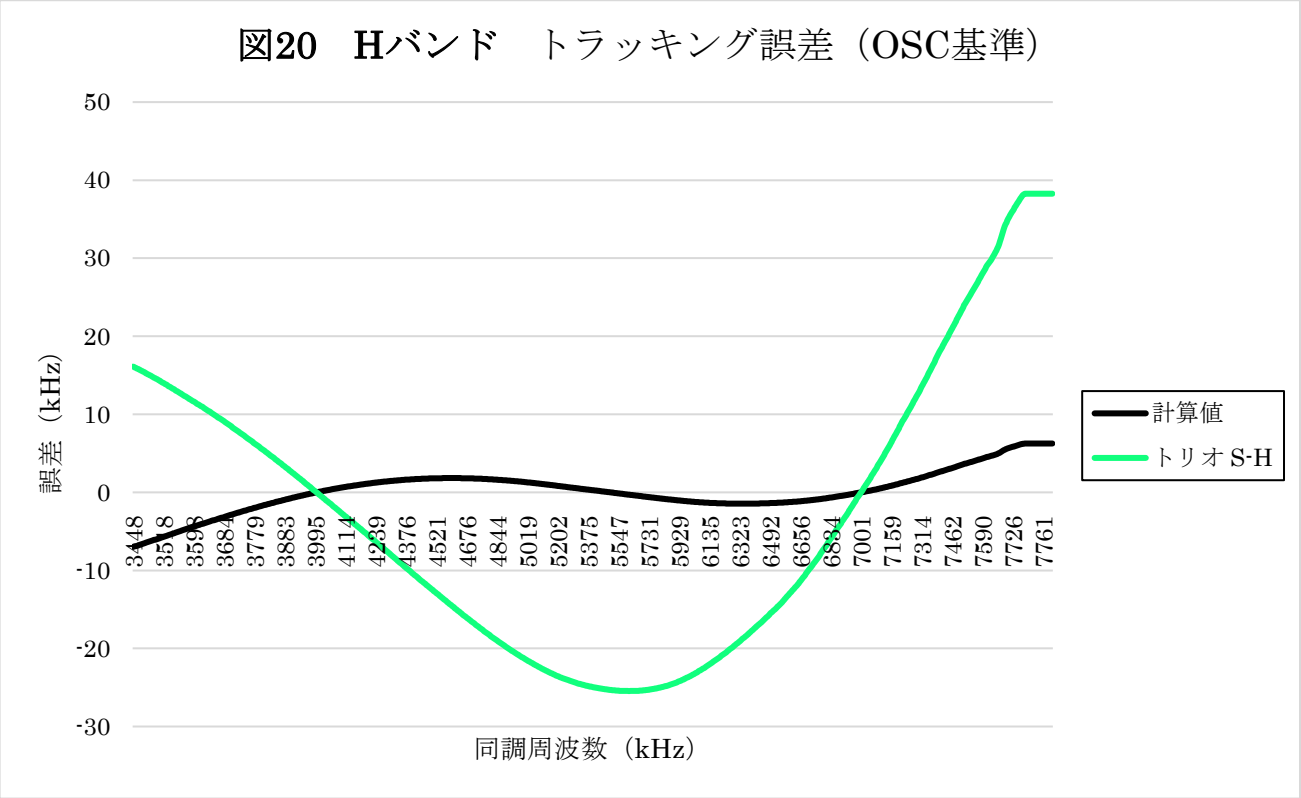


図20は C4=25pF と仮定し、4000kHz と 7000kHz の 2 点トラッキング調整をした場合のトラッキング誤差のグラフです。条件次第でグラフは多少変化しますが、トリオのパディング・コンデンサの設定はあまりにも大きすぎます。

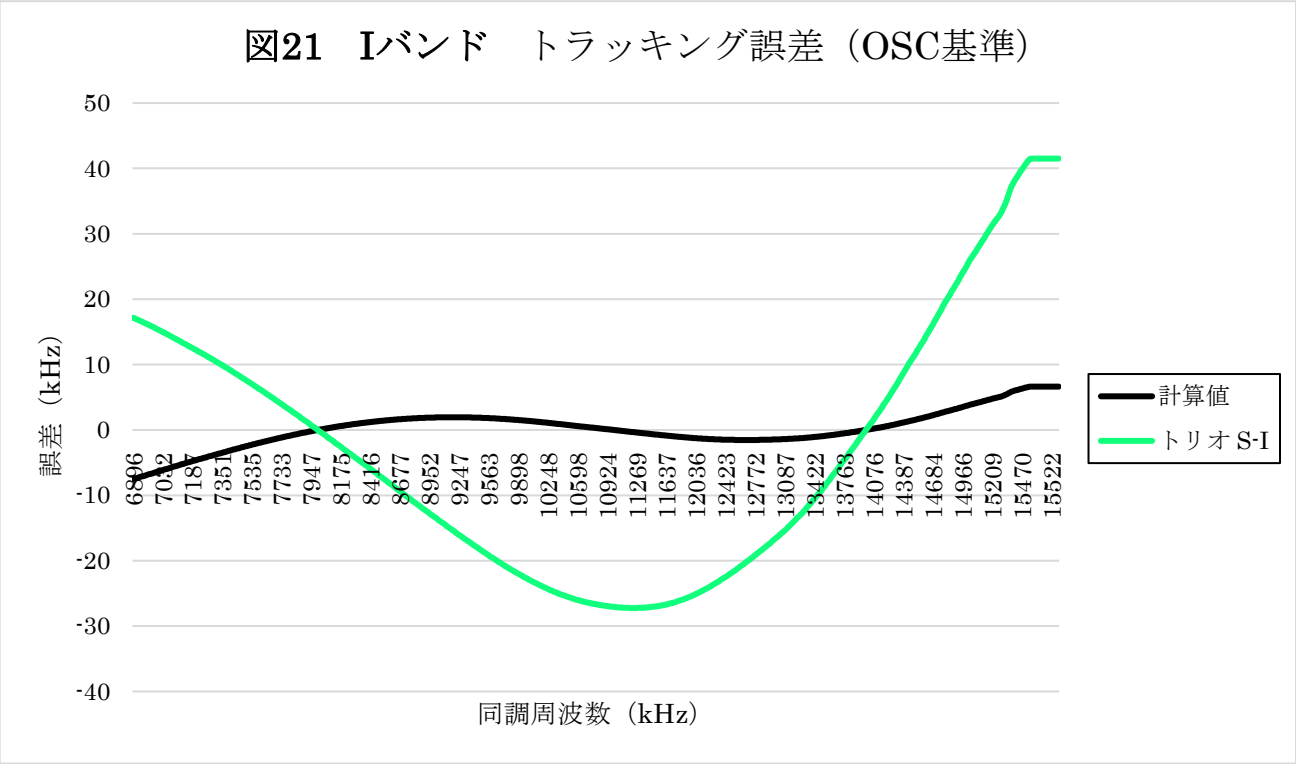


図21は C4=25pF と仮定し、8000kHz と 14000kHz の 2 点トラッキング調整をした場合のトラッキング誤差のグラフです。条件次第でグラフは多少変化しますが、トリオのパディング・コンデンサの設定はあまりにも大きすぎます。

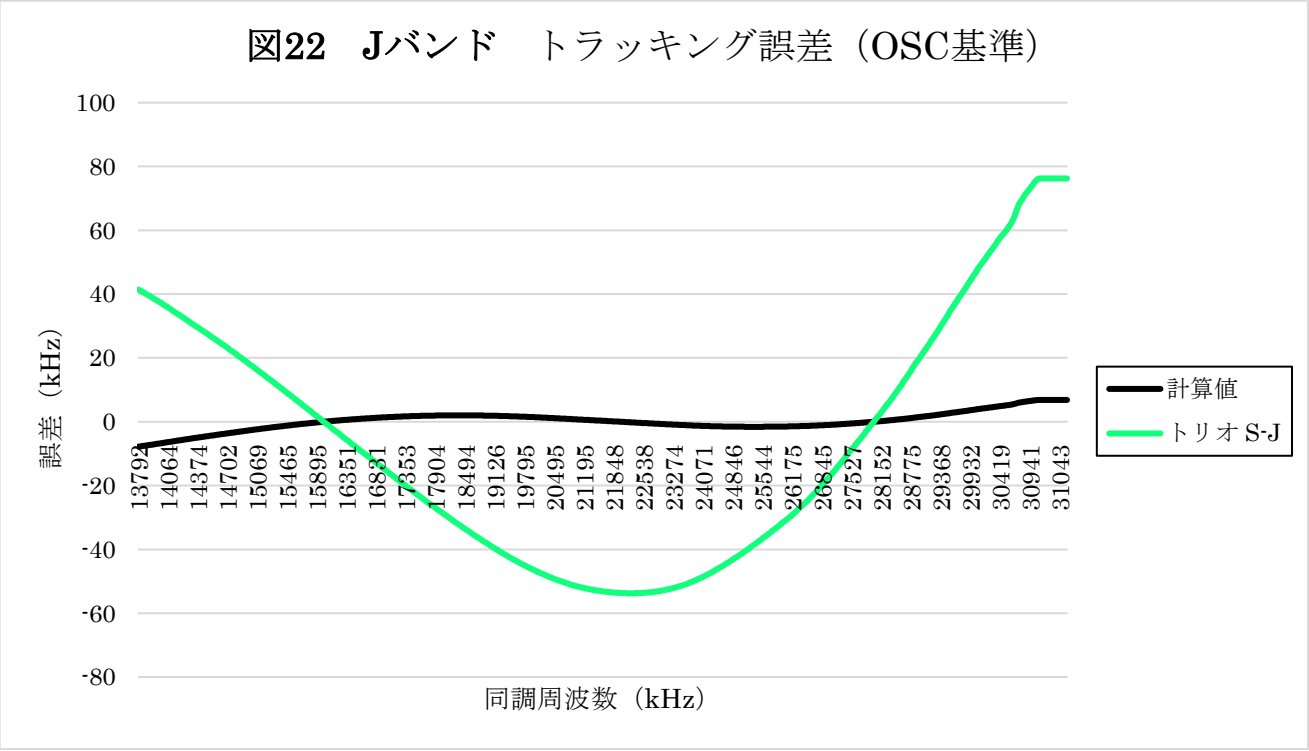


図22は C4=25pF と仮定し、16000kHz と 28000kHz の 2 点トラッキング調整をした場合のトラッキング誤差のグラフです。トリオ S-J はパディング・コンデンサを使用しない仕様ですから必然的にトラッキング誤差が0になる点は2点だけですが、パディング・コンデンサを使用した計算値との差は歴然です。

4．1　周波数直線バリコンとコイル

周波数直線バリコンは指定された周波数変化率（fmax/fmin）の条件の下で、ダイヤル指度に対して変化する周波数の量が一定になる様に作られたバリコンです。周波数の目盛は物差しの目盛のように等間隔で並び、非常に見やすい目盛りとなります。周波数目盛りはすべて計算で求めることが出来ます。

かつて短波受信機用として松下（現パナソニック）から市販された周波数直線バリコン 3DX-23（236pF-11pF fmax/fmin=2.35、旧称 3DC-23）を例に挙げて、3.5MHz-7.5MHz の短波バンドでの使い方を検証してみます。

表9　同調コイルの周波数と周波数直線バリコン 3DX-23 **同調容量の関係**　（灰色の数値は計算に使用しない）

注8	fmin	f_1	f_2	f_3	fmax
バリコン開度 [%]　注9	0	5	84.0741	95.3704	100
同調周波数 [kHz]　注10	3279	3500	7000	7500	7705
周波数比 注11	1	1.0675	2.135	2.2875	2.35
同調容量比 注12	5.5225	4.8462	1.2115	1.0554	1
バリコン容量 Cv [pF]　注13	Cvmax 236	Cv_1 202.3525	Cv_2 21.5247	Cv_3 13.7558	Cvmin 11
同調容量 Ca [pF]　注14	Camax 274.7512	Ca_1 241.1044	Ca_2 60.2736	Ca_3 52.5074	Camin 49.7512

注8、注10　これらの周波数は同調コイルの周波数であって、トラッキング周波数以外ではトラッキング誤差のため実際の受信周波数とはわずかにずれています。

fmin　松下の周波数直線バリコン 3DX-23（236pF-11pF）と、この同調コイルを使用して同調する最低周波数。このバンド（3500kHz-7500kHz）の規定外の周波数であって、他の要素から自動的に決まる数値です。参考までに示した値で、コイルの計算には使用しません。

f_1　このバンドの最低周波数。ここではバリコン開度 5%で受信できるように設定する。

f_2　f_1 の 2 倍の周波数。計算には使用しません。

f_3　このバンドの最高周波数。計算には使用しません。

fmax　松下の周波数直線バリコン 3DX-23（236pF-11pF）と、この同調コイルを使用して同調する最高周波数。このバンド（3500kHz-7500kHz）の規定外の周波数であって、他の要素から自動的に決まる数値で、fmin 同様コイルの計算には使用しません。

アマチュアバンド用であることを考慮して、計算上のトラッキング周波数は f_1（3500kHz）、5000kHz と f_2（7000kHz）の 3 点とします。実際には f_1 と f_2 の 2 点でトラッキング調整をすれば 3 点で誤差が 0 になります。

注9、注11　以下の計算はダイヤル目盛りを求めるための計算で、コイルの計算とは無関係です。

松下の周波数直線バリコン 3DX-23（236pF-11pF）は fmax/fmin=2.35　と規定されています。

f_1 のバリコン開度は　5[%]に設定（開度は任意の値に設定可能）。

fmin を1とした場合の f_1 の周波数比は

$$\frac{5(2.35-1)}{100}+1=1.0675 \quad \ldots(73)$$

f_2 の周波数比は　7000[kHz]/3500[kHz]・1.0675＝2.135　…(74)

f_2 のバリコン開度は　(2.135-1)/(2.35-1)・100 ≒84.0741[%]　…(75)

f_3 の周波数比は　7500[kHz]/3500[kHz]・1.0675≒2.2875　…(76)

f_3 のバリコン開度は　(2.2875-1)/(2.35-1)・100≒95.3704[%]　…(77)

注12、13、14

同調回路のストレー（同調容量の内、バリコン容量以外の総和）を Cst とする。

同調容量比は周波数比の逆数の2乗だから、

$$\frac{Cst+Cv\max}{Cst+Cv\min}=\left(\frac{2.35}{1}\right)^2=5.5225 \quad \ldots(78)$$

$$\frac{Cst+236[pF]}{Cst+11[pF]}=5.5225 \quad \ldots(79)$$

Cst=38.7512[pF]　バリコンに設定されたストレー…(80)

f1 の同調容量比は

$$\left(\frac{2.35}{1.0675}\right)^2 \fallingdotseq 4.8462 \quad \ldots(81)$$

f1 の同調容量は

$$C_{a1}=C_{st}+Cv_1$$

$$=\frac{4.8462(C_{st}+Cv_{max})}{5.5225}$$

$$=\frac{4.8462(38.7512[pF]+236[pF])}{5.5225}\fallingdotseq 241.1044[pF] \quad \ldots(82)$$

他の同調容量も同調容量比から求めることができます。

同調コイルのインダクタンスを求める

周波数 f[Hz]、インダクタンス L[H]、容量 C[F] の関係式は、

$$L=\frac{1}{(2\pi f)^2 C} \quad \ldots(83)$$

だから、

3500kHz のときの同調容量 241.1044pF から、同調コイルのインダクタンス L1 は、

$$L_1=\frac{1}{(2\pi f_1)^2 Ca_1}=\frac{1}{(2\pi\cdot 3500\cdot 10^3[Hz])^2\cdot 241.1044.45\cdot 10^{-12}[F]}=\frac{10^6}{(2\pi\cdot 3500[kHz])^2\cdot 241.1044[pF]} \quad \ldots(84)$$

$L_1 \fallingdotseq 8.58$ [μH]　…(85)

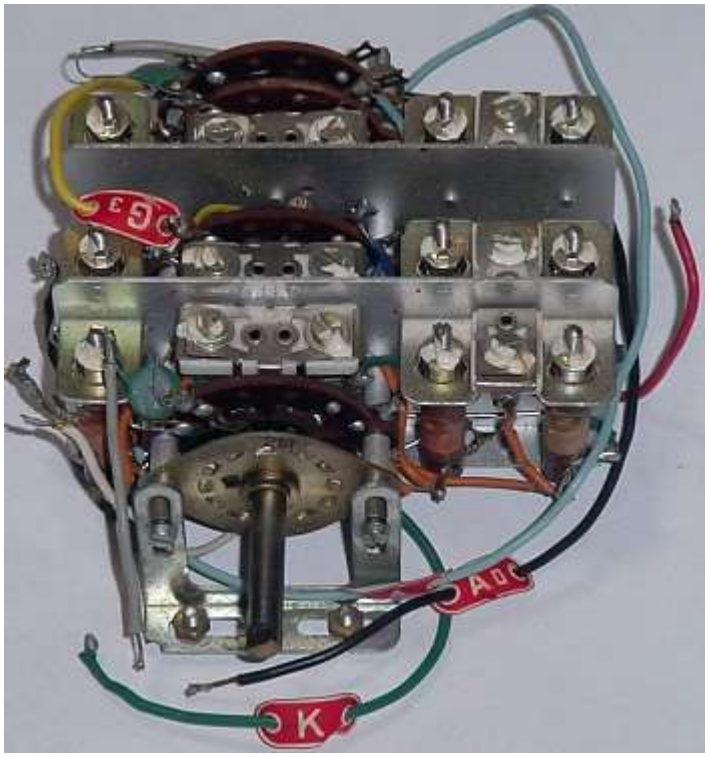
OSC コイルのインダクタンス、パディング・コンデンサの容量の計算は多バンドスーパー用コイルの計算を用いて求めます。

松下の 3 バンドコイルパック 3BR-330 について検討した資料を**表10** に示します。トラッキング周波数をアマチュア無線のバンド内に設定し、計算しました。計算値は松下の公表値に近い値となりました。特に同調コイル L_1 の値は完全に一致しています。

表10　松下 3 バンドコイルパック 3BR330 の定数と計算結果の比較

黒字は計算値、**紫色は松下の公表値**

バンド	受信周波数 f_1 f_5	トラッキング周波数 f_2 f_3 f_4	同調コイル L_1	発振コイル L_2	パディング・コンデンサ C_3	備考
A	3.5MHz 7.5MHz	3.5MHz 5MHz 7MHz	8.58μH 8.58μH	7.40μH 7.60μH	1876pF 1650pF	C_4=25pF のとき 松下 3BR-330
B	7MHz 15MHz	7MHz 10MHz 14MHz	2.14μH 2.14μH	1.98μH 2.00μH	3714 pF 3300pF	C_4=25pF のとき 松下 3BR-330
C	14MHz 30MHz	14MHz 20MHz 28MHz	0.536μH 0.536μH	0.516μH 0.522μH	7368 pF 6800pF	C_4=25pF のとき 松下 3BR-330



松下の 3 バンドコイルパック 3BR-330 （左の写真）

3BR-330 に 使用されているスチロールコンデンサは奥に入り込んでいて文字が読み取れないため、実測して端数を丸めた数値をパディング・コンデンサの値として**表10** に記載しました。

これらの記事の一部を引用する場合は、出典を明記してください。

「ポータブル・ラジオのページ」 http://portable3.web.fc2.com/

（2019 年 11 月 24 日　p.3、p.9、p.20、p.29 数式の表記の誤りを訂正）

（2019 年 10 月　1 日 **「1．4　パディング・コンデンサ」**を**「1．4　3点調整を計算で行う」**に改訂）

（2019 年　6 月 28 日　標準型 5 球スーパー真空管周りの浮遊容量の一例を追加）

（2019 年　4 月　1 日　標準型 5 球スーパーコイルまとめの表とグラフを訂正）

（2017 年　1 月　7 日　周波数直線バリコンとコイルを追加）

（2016 年　9 月 14 日　**図 1、図7、図9**　差し替え、AVC 回路を省略。計算は変更していません。）

（2014 年 12 月 25 日　OCN のホームページサービス終了に伴いホームページの URL を変更）

（2014 年　6 月　3 日　**表6** トリオ製5球スーパーコイル　インダクタンスのばらつき を追加）

（2014 年　2 月 19 日　多バンド・スーパーコイルに S シリーズ H、I、J を追加）

（2013 年 12 月 12 日　松下#1707AC 追加）

（2013 年 10 月　3 日　改訂）

（2013 年　7 月 18 日　トラッキング誤差のグラフを追加）

（2013 年　6 月　9 日　改訂）

（2010 年 12 月 26 日　初稿）