懐かしい真空管式ラジオのはなし

生活の中のサイエンス

弱電オールドファンに贈る

「サイエンスは日常生活に役立つ」

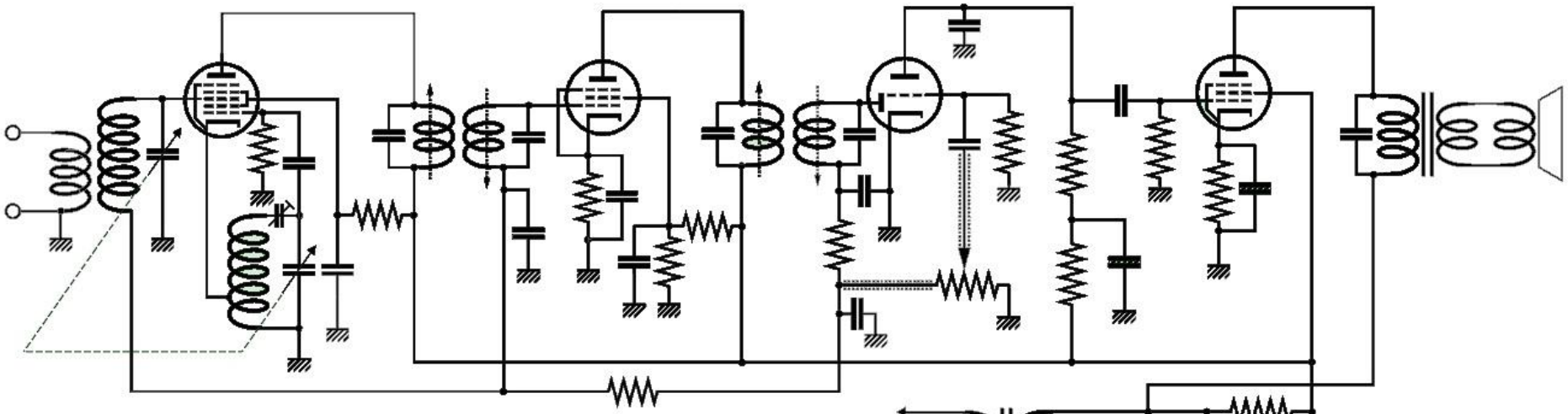
懐かしい真空管式ラジオのはなし

5球スーパーヘテロダイン

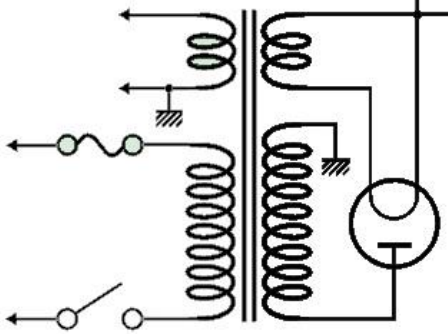
　トランジスターラジオにその座を譲るまでは、この「5球スーパーヘテロダイン」が茶の間で活躍していました。
　真空管の家庭用のラジオとしてはこの型が最終世代となりましたが、スーパーヘテロダインという方式は、後々まで活躍して今でもこの原理は普遍的です。

懐かしい真空管式ラジオのはなし

ＳＴ管	6WC5	6D6	6ZDH3A	42 または 6ZP1
ＭＴ管	6BE6	6BD6	6AV6	6AR5



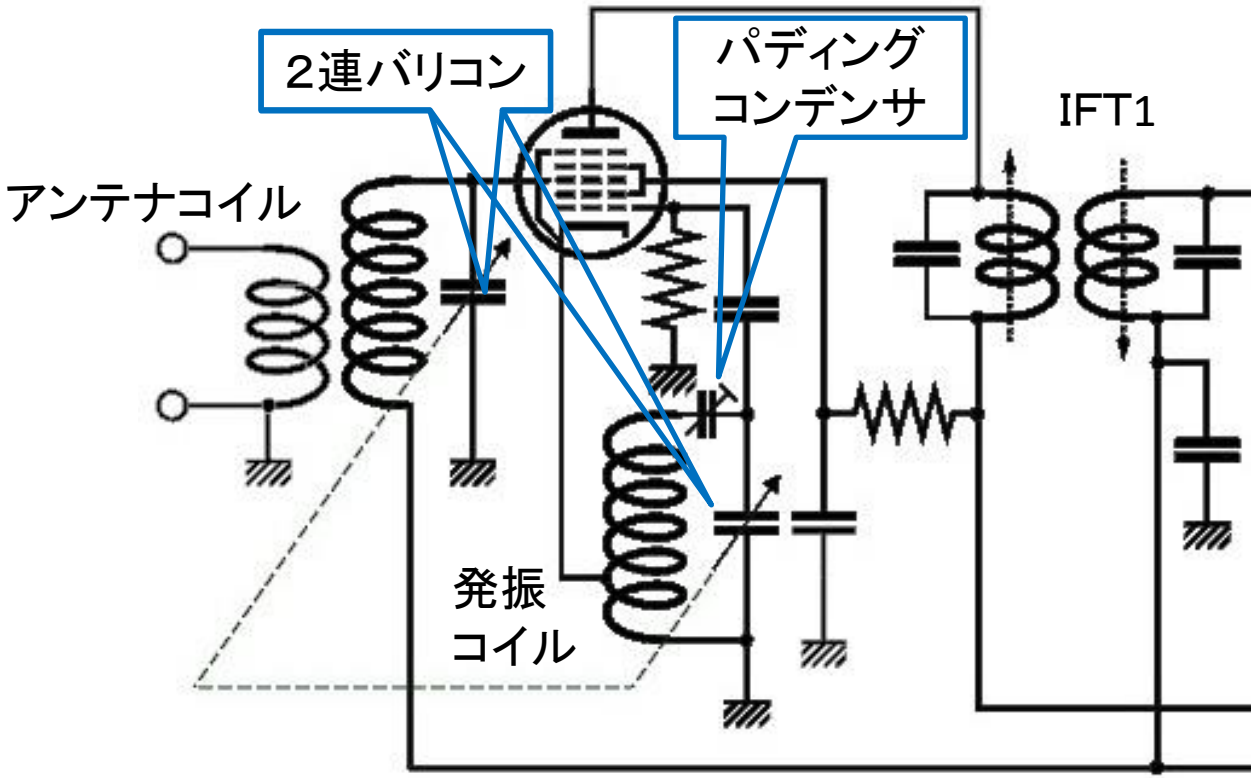
高周波増幅無し、
中間周波増幅１段
というレイアウトですが
中波の放送にはこれで
充分でした。



ＳＴ管　12F　または　80BK
ＭＴ管　5MK9

ＳＴ管　6WC5
ＭＴ管　6BE6

周波数変換回路



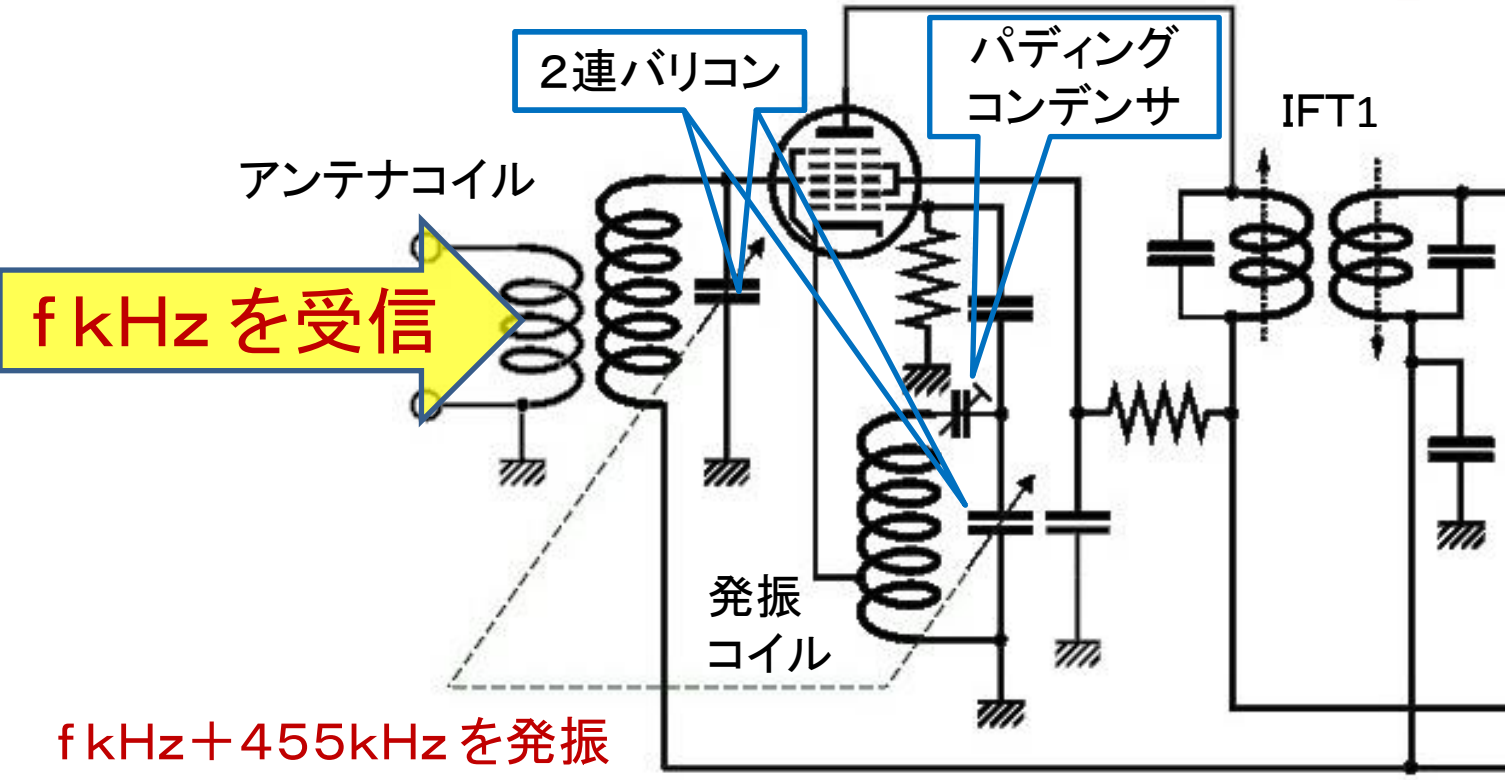
初段は7極管です。
この回路の様に
局部発振回路を
初段に含める事が
出来ます。
放送電波の高周
波と局部発振の高
周波との混合も同
時にできます。

受信するラジオ周波を中間周波数に変換

ＳＴ管　6WC5
ＭＴ管　6BE6

周波数変換回路

ｆkHz＋455kHz－ｆkHz＝455kHzを出力



中間周波数に変換した出力は常に455kHz

周波数変換回路

受信周波数が変わっても常に、455kHz を出力する為には、局部発振は　fkHz＋455kHz　の周波数を発振すれば良いので、2連バリコンで受信周波数に連動させている。

パディングコンデンサーの役割は、

受信周波数　535～1605kHz　範囲は、1605/535＝3.00

局部発信周波数 990～2060kHz 範囲は2060/990≒2.08

の様に範囲の比に差がある為、発振コイルのインダクタンスのみを下げても同じ静電容量の2連バリコン(12～430pF)を用いる場合上記の範囲を外れる。そこで発振側のバリコンにパディングコンデンサーを直列に入れその静電容量を下げ、静電容量の可変範囲を適正化し且つ細かく調整してバンド内全域での局部発振周波数　fkHz＋455kHzを実現している。

中間周波数に変換した出力は常に455kHz

周波数変換回路

・高い周波数受信時のバリコンの容量が小さい時は、トリマーコンデンサーで調整

・低い周波数受信時のバリコンの容量が大きい時は、パディングコンデンサーを調整して局部発振周波数を受信周波数より常に455kHz高くなる様に調整する。

・それらの中間の範囲では、両方を微調整しながら最良の調整点を探る。

アンテナコイル側の同調と発振コイル側の調整とがズレているときは、受信周波数は発振コイル側の周波数で決まりこれらのズレは感度に大きく影響する。

トリマーコンデンサーがバリコンに並列に入っている場合とトリマーコンデンサーが発振コイルに並列に入っている場合とがあるが、大差はないがどちらも説明する。

中間周波数に変換した出力は常に455kHz

単一調整

「５球スーパーヘテロダイン」はYouTubeにアップロードしていますが動画では、ややこしい事は禁物ですからここでゆっくりと詳しく取り組んでみましょう。

受信周波数：Fant　のとき、

局部発振周波数：Fosc　は

Fosc＝Fant＋455kHz　ですが、これを受信周波数帯域内535kHz～1605kHz　内で常に成り立つ様に調整する事を単一調整と呼んでいた。

かなり面倒くさい調整であったが、感度を左右する重要な調整で、最後の仕上げは慎重に行われ最もやり甲斐のある楽しいところでありました。

単一調整

関係するデータを整理すると

受信周波数：Fant （535kHz～1605kHz）

局部発振周波数：Fosc ＝Fant＋455kHz

ANTコイルインダクタンス：205μH

OSCコイルインダクタンス：113μH

２連バリコン静電容量：12～430pF

パディングコンデンサー静電容量：max 600pF

各バリコンの並列トリマコンデンサー：5～30pF

単一調整

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

F：共振周波数（Hz）
L：コイルのインダクタンス（H）
C：コンデンサーのキャパシタンス（F）

　アンテナコイルも発信コイルも定数のインダクタンスが与えられているので、選局と調整はコンデンサーの静電容量のみしか変化させられない。
バリコンは、選局
トリマーコンデンサーとパディングコンデンサーは調整
　結局は、トリマーコンデンサーとパディングコンデンサーの組み合わせの最良点に合わせる調整である。

単一調整

補助単位の付いた、常用されている数値を用いる便宜の為式を下記とする。

$$F = \frac{10^6}{2\pi\sqrt{LC}}$$

F：共振周波数（kHz）
L：コイルのインダクタンス（μH）
C：コンデンサーのキャパシタンス（pF）

F

f_a 受信周波数：535kHz～1605kHz

f_o 発振周波数：f_a kHz ＋ 455kHz

L

ANTコイルインダクタンス：205μH

OSCコイルインダクタンス：113μH

関連する計算式

$$F = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

F	Hz
L	H
C	F

$$F = \frac{10^6}{2\pi\sqrt{LC}}$$

F	kHz
L	μH
C	pF

$$C = \frac{10^{12}}{4\pi^2} \times \frac{1}{F^2 L}$$

関連する計算式

受信周波数　　Fant
局部発振周波数　　Fosc
アンテナ側コイル　　Lant
局部発振コイル　　Losc
受信周波数に相当するアンテナ側バリコン容量　Cant
受信周波数に相当する発振側バリコン容量　　Cosc

$$C = \frac{10^{12}}{4\pi^2} \times \frac{1}{F^2 L}$$

に代入し、各受信周波数に対応する、各Cant　Coscを算出

Fant＝600　　L=205

Fosc＝600+455=1055　　L=113

$$C_{ant} = \frac{10^{12}}{4\pi^2} \times \frac{1}{600^2 \times 205}$$

$$= 343.2$$

$$C_{osc} = \frac{10^{12}}{4\pi^2} \times \frac{1}{(600+455)^2 \times 113}$$

$$= 201.4$$

Fant= 1000 L=205

Fosc= 1000+455=1455 L=113

$$C_{ant} = \frac{10^{12}}{4\pi^2} \times \frac{1}{1000^2 \times 205}$$

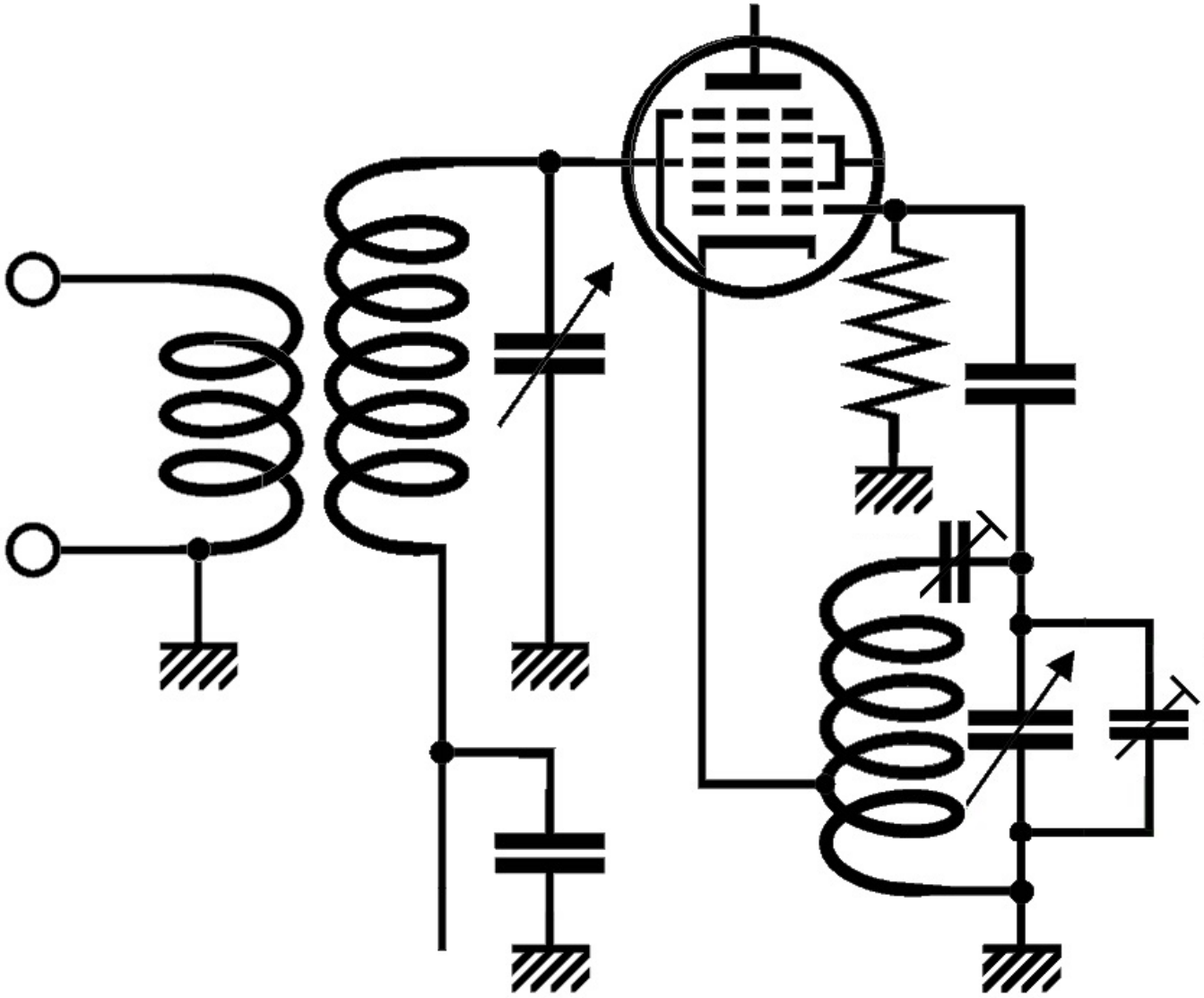
$$= 123.6$$

$$C_{osc} = \frac{10^{12}}{4\pi^2} \times \frac{1}{(1000+455)^2 \times 113}$$

$$= 105.9$$

単一調整

トリマーコンデンサーがバリコンに並列に入っている場合



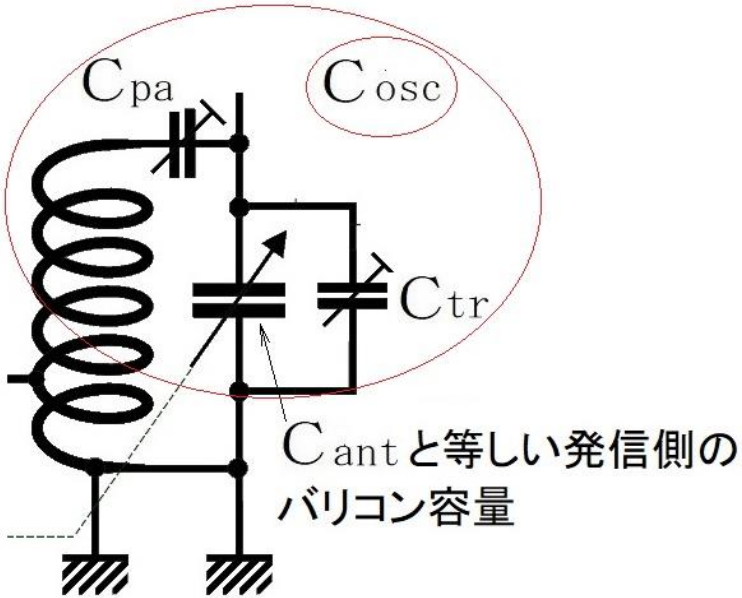
単一調整

トリマーコンデンサーがバリコンに並列に入っている場合

此処での C_{ant} は、2連バリコンの発振側のバリコン容量だが、アンテナ側のバリコンの容量 C_{ant} と連動して 等しい。
従って、紛らわしくてすみませんがここでは、発振側のバリコン容量と理解して下さい。
C_{osc} は、発振コイルに並列に入る合成容量

$$\frac{1}{C_{osc}} = \frac{1}{C_{ant}+C_{tr}} + \frac{1}{C_{pa}}$$

$$C_{osc} = \frac{(C_{ant}+C_{tr})\times C_{pa}}{C_{ant}+C_{tr}+C_{pa}}$$



単一調整

トリマーコンデンサーがバリコンに並列に入っている場合

$$201.4 = \frac{(343.2 + C_{tr}) \times C_{pa}}{343.2 + C_{tr} + C_{pa}} \quad \cdots\cdots ①$$

$$105.9 = \frac{(123.6 + C_{tr}) \times C_{pa}}{123.6 + C_{tr} + C_{pa}} \quad \cdots\cdots ②$$

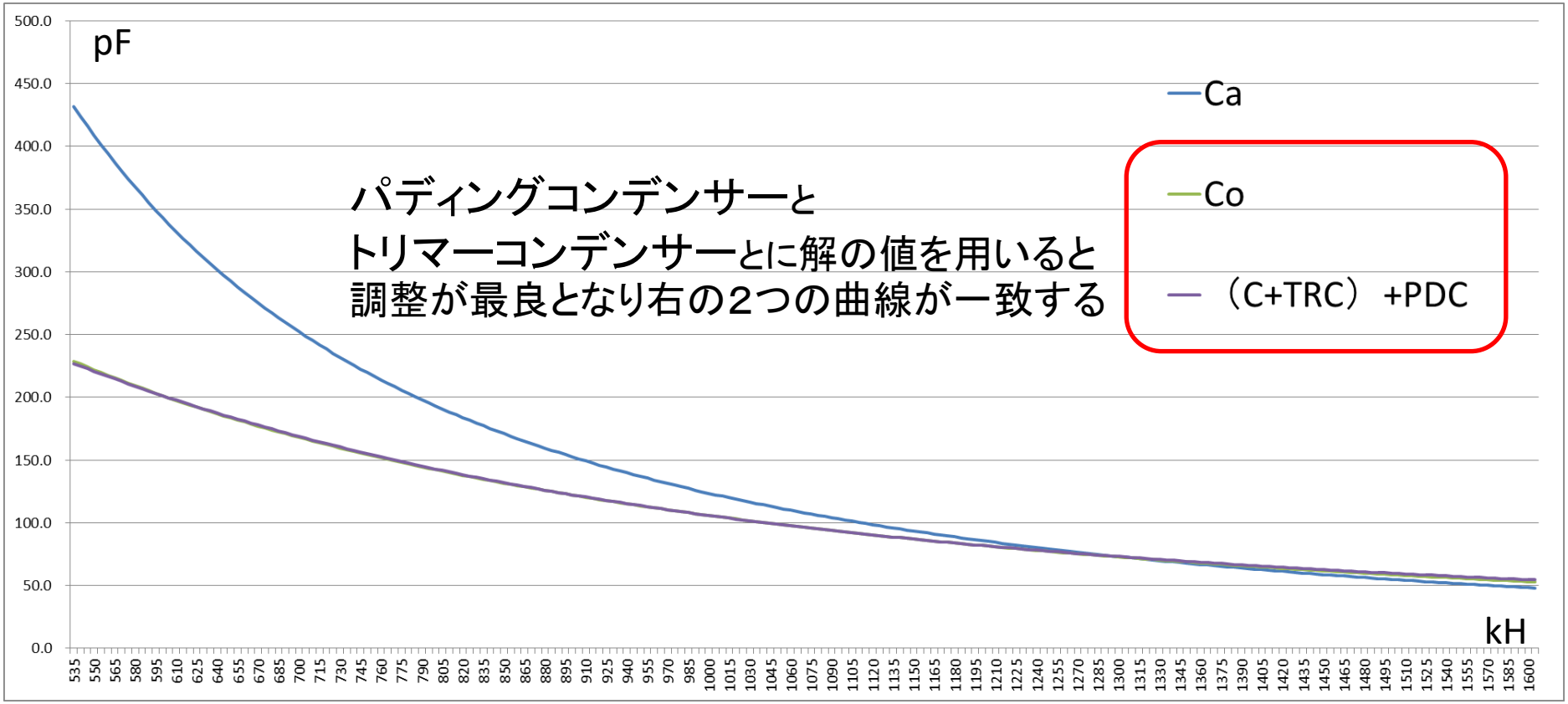
$C_{pa} = 462.1$

$C_{tr} = 13.78$

連立方程式①②の解

単一調整

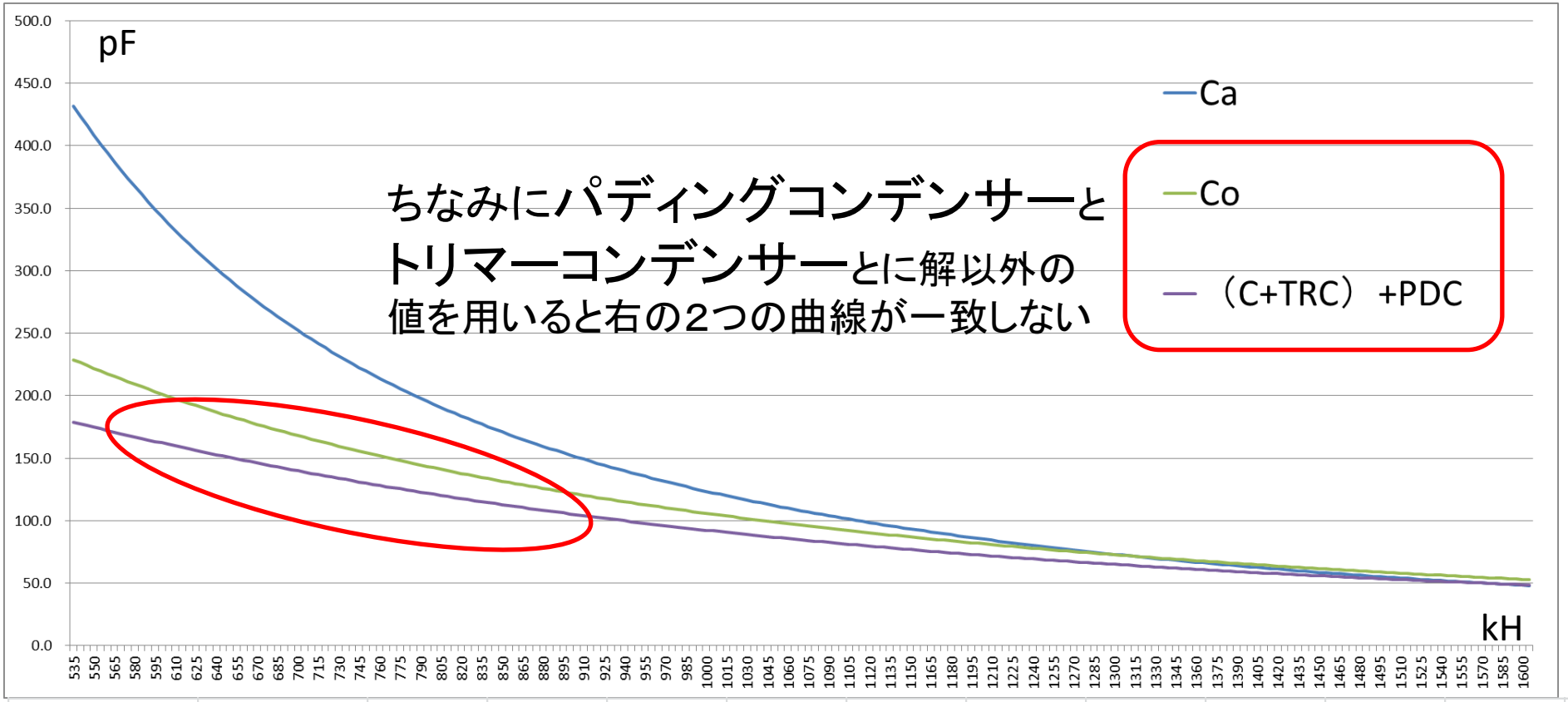
トリマーコンデンサーがバリコンに並列に入っている場合



PDC	462.1										
TRC	13.78										
fa	535	540	545	550	555	560	565	570	575	580	585
fo	990	995	1000	1005	1010	1015	1020	1025	1030	1035	1040
Ca	431.7	423.7	416.0	408.5	401.1	394.0	387.1	380.3	373.7	367.3	361.1
Co	228.7	226.4	224.2	221.9	219.7	217.6	215.5	213.4	211.3	209.3	207.3
(C+TRC)+PDC	226.8	224.7	222.7	220.6	218.6	216.6	214.7	212.7	210.8	208.9	207.0

単一調整

トリマーコンデンサーがバリコンに並列に入っている場合



PDC	300										
TRC	10										
fa	535	540	545	550	555	560	565	570	575	580	585
fo	990	995	1000	1005	1010	1015	1020	1025	1030	1035	1040
Ca	431.7	423.7	416.0	408.5	401.1	394.0	387.1	380.3	373.7	367.3	361.1
Co	228.7	226.4	224.2	221.9	219.7	217.6	215.5	213.4	211.3	209.3	207.3
(C+TRC)+PDC	178.7	177.3	176.0	174.7	173.4	172.2	170.9	169.6	168.4	167.1	165.9

単一調整

トリマーコンデンサーがバリコンに並列に入っている場合
と
トリマーコンデンサーが発振コイルに並列に入っている場合
との違い

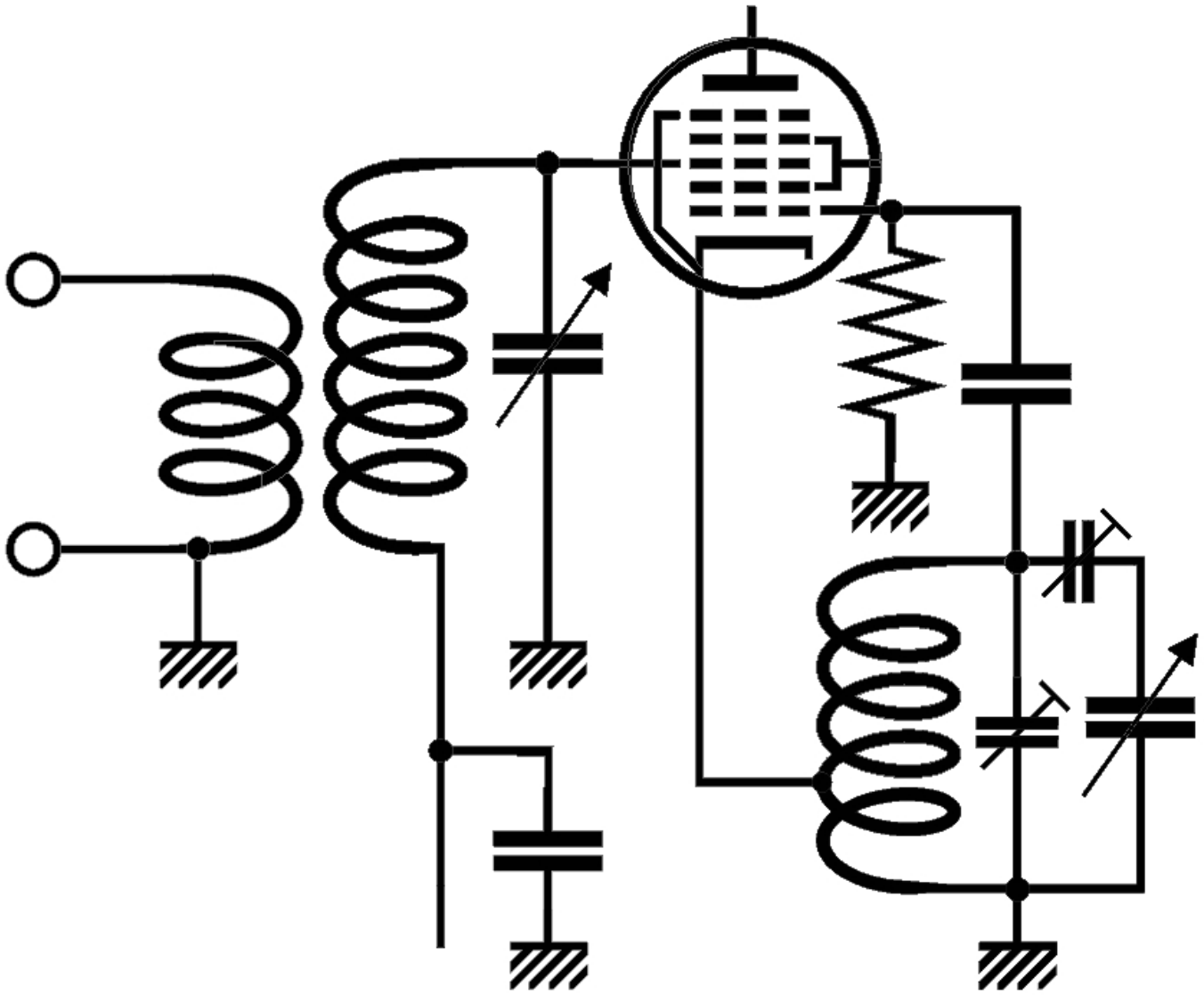
複数の周波数帯を切り替えて受信できる形式、例えば短波、中波といった具合にアンテナ側のコイルおよび発振側のコイルをそれぞれ切り替えることになる。

この場合でも、バリコンは共用する為、トリマーコンデンサーがバリコンに付いていては、各周波数帯域に切り替えた場合各々のトリマーコンデンサーの調整は異なるため共用は出来ない。そこでコイル側にトリマーコンデンサーを入れて切り替えられる側に置くことで、トリマーコンデンサーを各周波数帯で独立して使用し共用はしない。

これが各コイルにトリマーコンデンサーを入れる理由である。従って、中波のみのラジオでは、発振コイルは1個だけであるから、トリマーコンデンサーがバリコン側に付いていてもコイル側に付いていても問題ない。

単一調整

トリマーコンデンサーが発振コイルに並列に入っている場合



単一調整

トリマーコンデンサーが発振コイルに並列に入っている場合

此処での C_{ant} は、2連バリコンの発振側のバリコン容量だが、アンテナ側のバリコンの容量 C_{ant} と連動して 等しい。

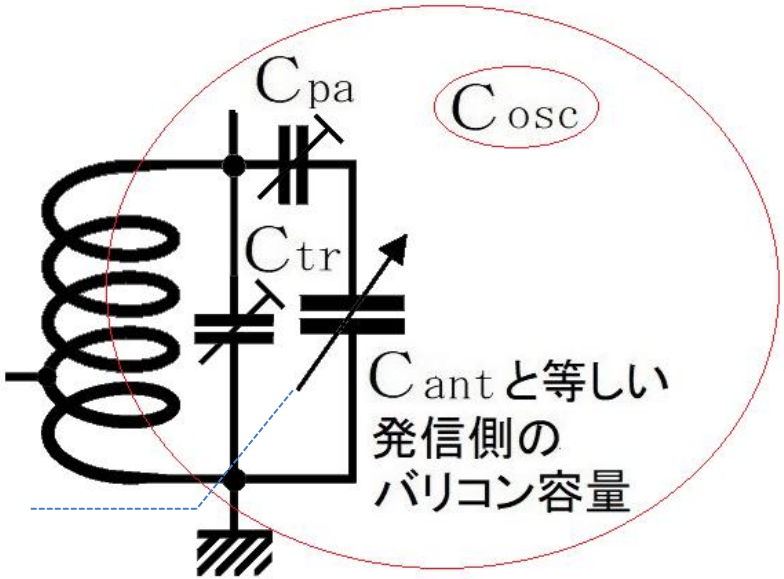
従って、紛らわしくてすみませんがここでは、発振側のバリコン容量と理解して下さい。

C_{osc} は、発振コイルに並列に入る合成容量

$$\frac{1}{C_{antとpa直列}} = \frac{1}{C_{ant}} + \frac{1}{C_{pa}}$$

$$C_{osc} = C_{antとpa直列} + C_{tr}$$

$$= \frac{C_{ant} \times C_{pa}}{C_{ant} + C_{pa}} + C_{tr}$$



単一調整

トリマーコンデンサーが発振コイルに並列に入っている場合

$$201.4 = \frac{343.2 \times C_{pa}}{343.2 + C_{pa}} + C_{tr} \quad \cdots\cdots ①$$

$$105.9 = \frac{123.6 \times C_{pa}}{123.6 + C_{pa}} + C_{tr} \quad \cdots\cdots ②$$

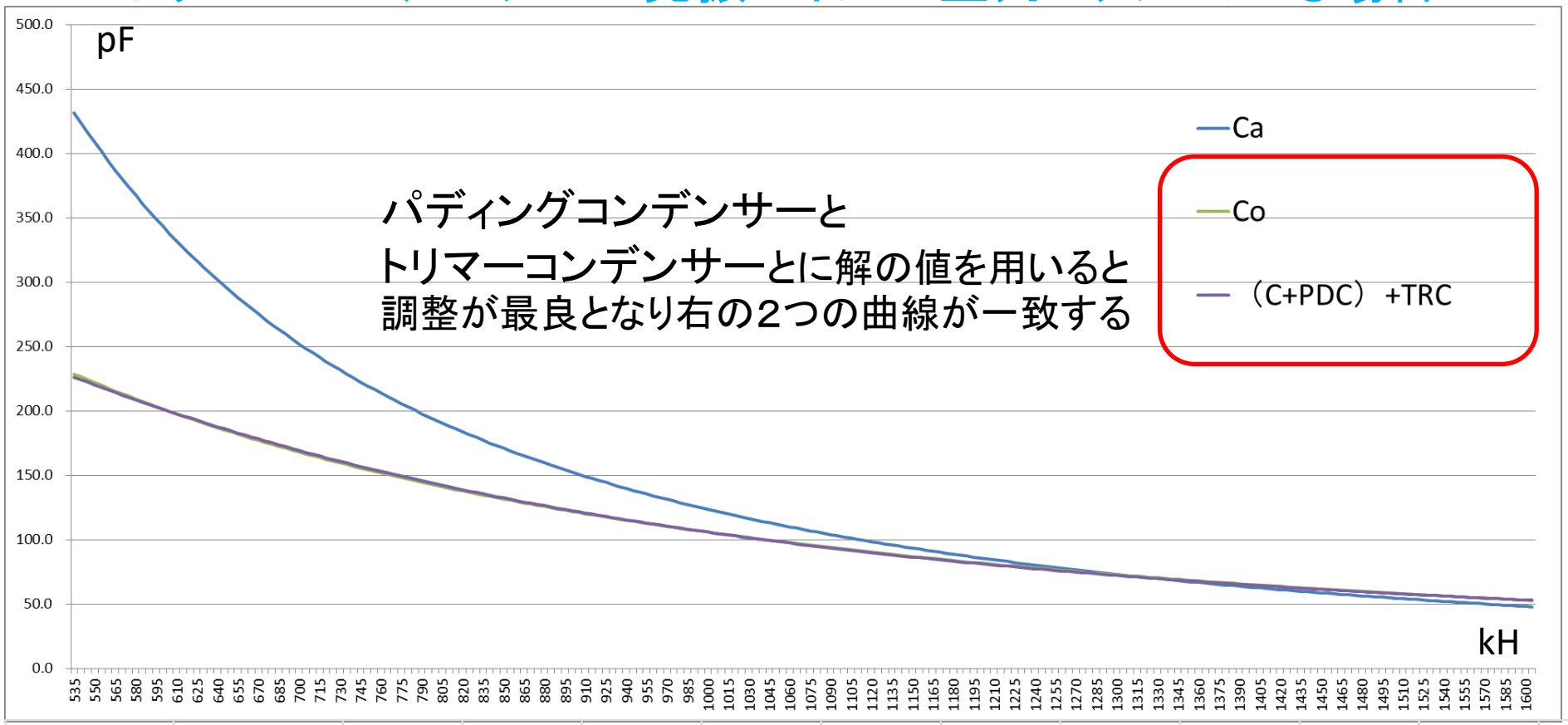
$C_{pa} = 434.4$

$C_{tr} = 9.68$

連立方程式①②の解

単一調整

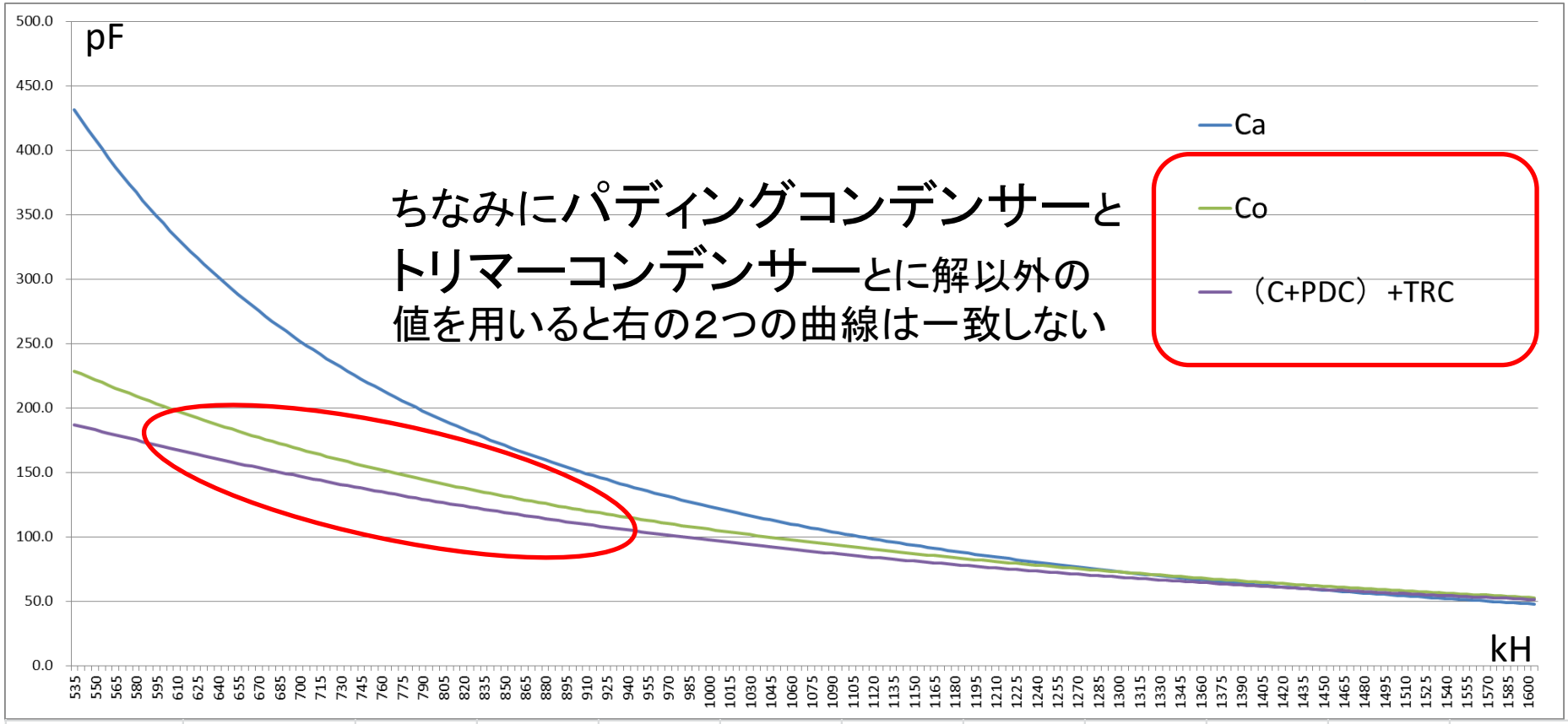
トリマーコンデンサーが発振コイルに並列に入っている場合



PDC	434.4										
TRC	9.68										
fa	535	540	545	550	555	560	565	570	575	580	585
fo	990	995	1000	1005	1010	1015	1020	1025	1030	1035	1040
Ca	431.7	423.7	416.0	408.5	401.1	394.0	387.1	380.3	373.7	367.3	361.1
Co	228.7	226.4	224.2	221.9	219.7	217.6	215.5	213.4	211.3	209.3	207.3
(C+PDC)+TRC	226.2	224.2	222.2	220.2	218.2	216.3	214.4	212.5	210.6	208.7	206.9

単一調整

トリマーコンデンサーが発振コイルに並列に入っている場合



PDC	300										
TRC	10										
fa	535	540	545	550	555	560	565	570	575	580	585
fo	990	995	1000	1005	1010	1015	1020	1025	1030	1035	1040
Ca	431.7	423.7	416.0	408.5	401.1	394.0	387.1	380.3	373.7	367.3	361.1
Co	228.7	226.4	224.2	221.9	219.7	217.6	215.5	213.4	211.3	209.3	207.3
(C+PDC)+TRC	187.0	185.6	184.3	183.0	181.6	180.3	179.0	177.7	176.4	175.1	173.9

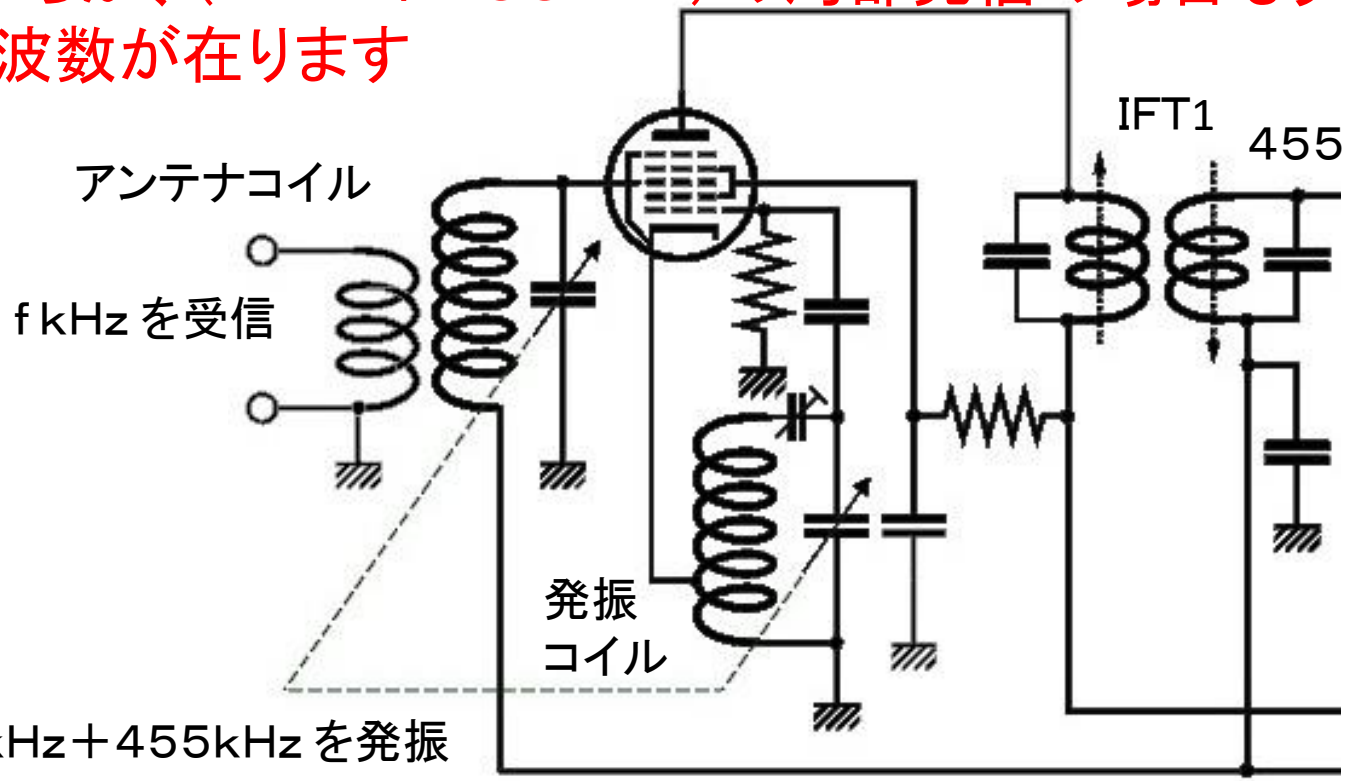
単一調整

アンテナ側のバリコン容量とアンテナコイルのインダクタンスとで決まる周波数に中間周波数分の455kHzを加えた周波数を発振するため、発振コイルのインダクタンスに対し
①要求される静電容量の変化と
②バリコン容量とパディングコンデンサーそしてトリマーコンデンサーからなる合成容量の変化とを
表すグラフで、判り易く説明できました。
① ②各々の曲線が一致する様に、パディングコンデンサーそしてトリマーコンデンサーを調整する事を単一調整と言いバリコンは受信周波数に連動して変化させるので、結局調整はパディングコンデンサーとトリマーコンデンサーとで行います。受信帯域内全ての領域内で一致させる必要があります。

ｆkHz＋455kHz－ｆkHz＝455kHz を出力

周波数変換回路　イメージ混信

ところが、(ｆkHz＋455kHz)の局部発信の場合もう一つの受信周波数が在ります



IFTは1次側も2次側も455kHzに調整されています

(ｆkHz＋455kHz×2)－(ｆkHz＋455kHz)＝455kHz を出力

その周波数に運悪く電波が在ればイメージ混信と呼ばれる現象で混信を発生してしまいます

中間周波増幅回路では、イメージ信号も同じ455kHzで区別がつかないので、このイメージ混信を防止するための方策はその前段までに施す必要があります。

①アンテナコイル側同調回路を正しく調整しイメージ信号が混入しない様にしっかり分離する

②高周波増幅回路を初段に追加、出力側にも同調回路を置き2つの同調回路を設ける

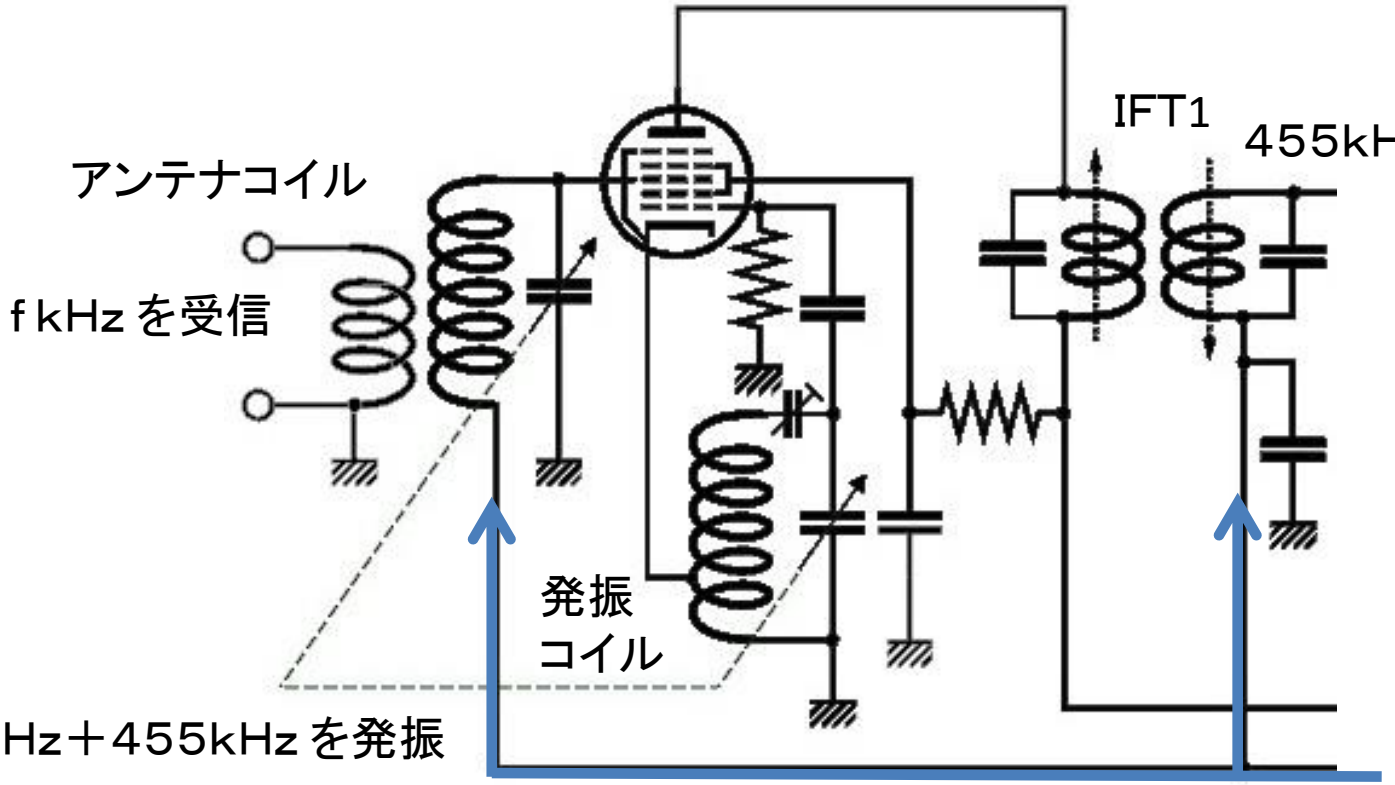
③中間周波数をもっと高く設定する

④しかし、中間周波数は低い方がイメージには弱いが、安定して増幅が出来るので、そのメリットを諦めるわけにはいかない。そこで、先ず高めの中間周波数に変換しその後の段で低い中間周波数にもう一度変換するというダブルスーパーヘテロダイン方式にすると素晴らしいものになる。

ＳＴ管　6WC5
ＭＴ管　6BE6

周波数変換回路

ｆkHz＋455kHz－ｆkHz＝455kHz を出力



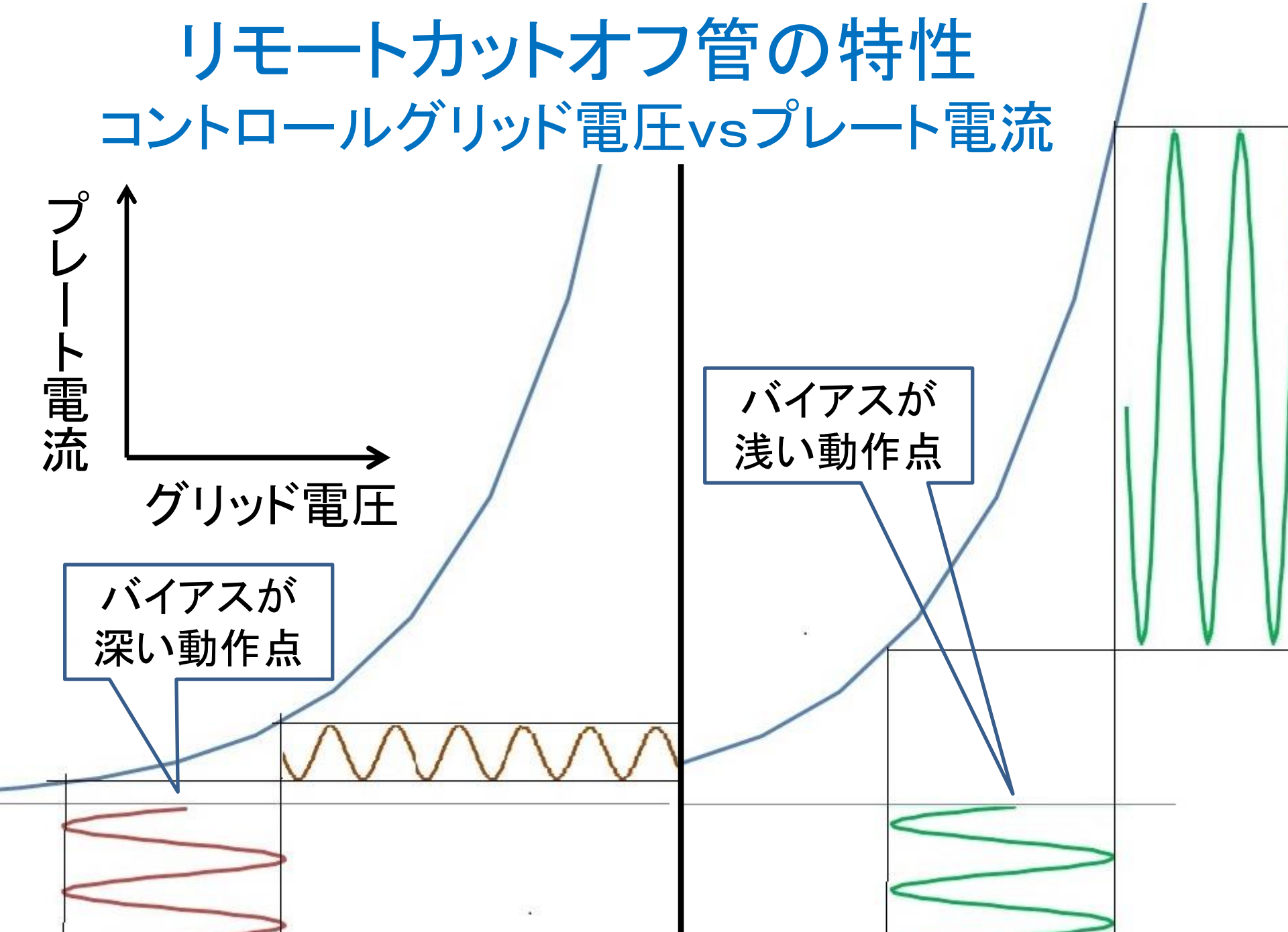
この回路はAVCです。過入力防止にも効果があります

Automatic Volume Control　又は　Automatic Gain Control

AVC回路は、初段と中間周波回路の入力グリッドにゲインを落とす向きのバイアスを掛けます
初段と2段目にはリモートカットオフ特性の真空管を用います
リモートカットオフ特性の真空管はカットオフまでの勾配がなだらかでバイアスが深い程ゲインが小さくなります

リモートカットオフ管の特性

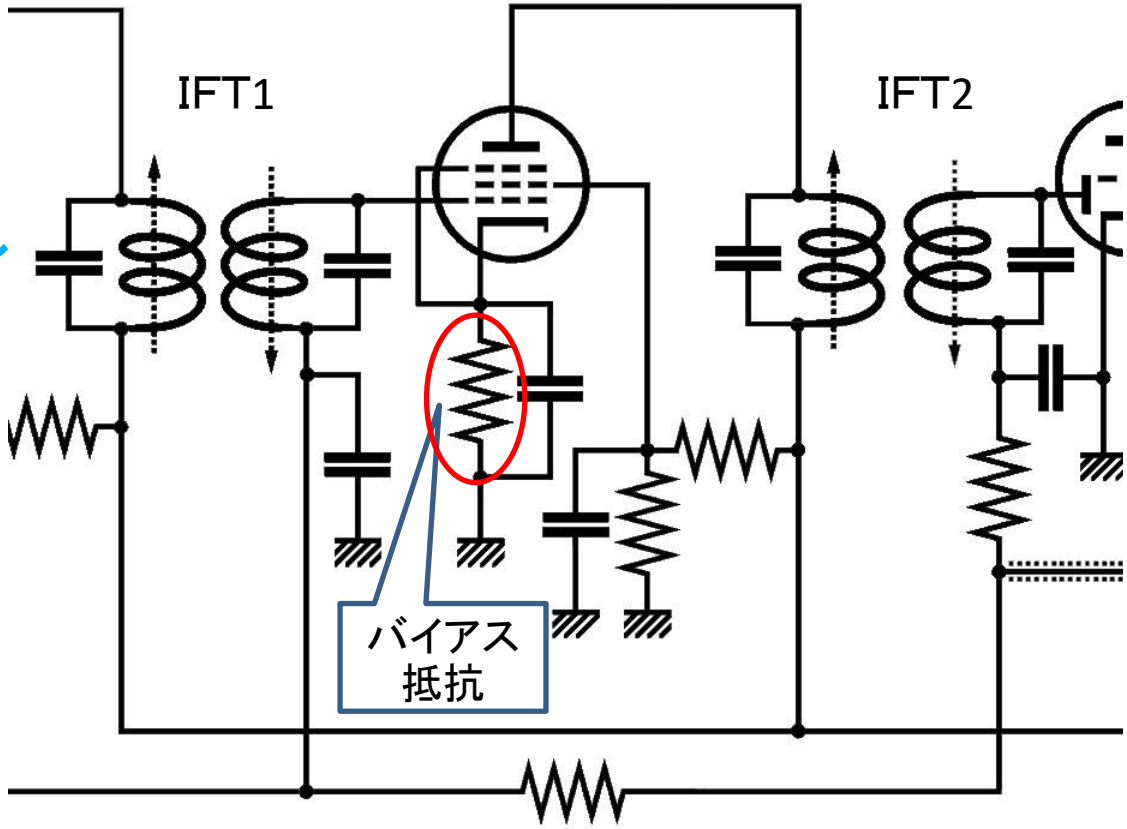
コントロールグリッド電圧vsプレート電流



ＳＴ管　6D6
ＭＴ管　6BD6

中間周波増幅回路

IFT1を通し前段からの中間周波信号を受けます



バイアス専用の電源であるC電源は、不要で自己バイアスと呼ばれる事もあります。

カソードとアースとの間の抵抗でバイアスの深さを決めます。A級動作は、平均電流が一定の為、この方法でバイアスをかける事ができます。

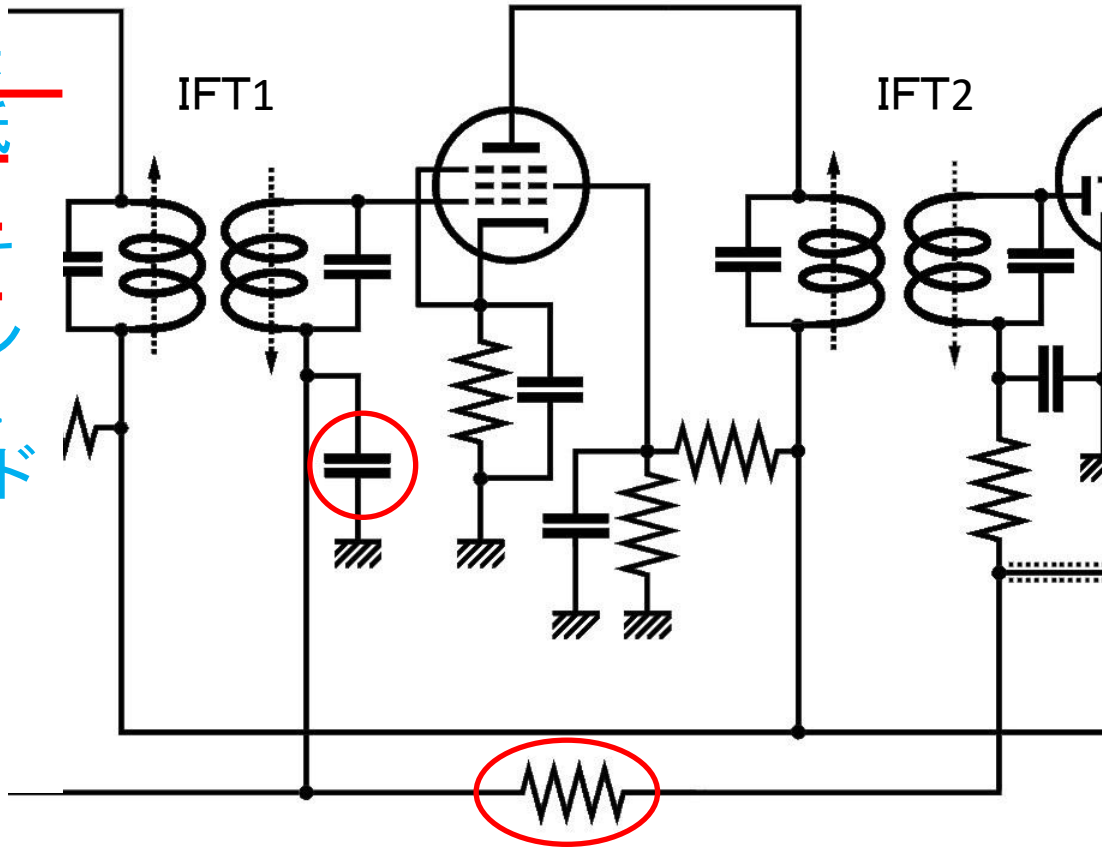
中間周波数455kHzに変換した信号を増幅

ＳＴ管　6D6
ＭＴ管　6BD6

中間周波増幅回路

時定数は赤丸で囲んだ抵抗とコンデンサーの積です

このコンデンサーは、IFT1 2次側コールドエンドの高周波アースを兼ねております



AVCは、初段の第3グリッドと中間周波増幅回路の第1グリッドとにゲインを落とす向きにバイアスを掛けます

中間周波数455kHzに変換した信号を増幅

ＳＴ管　6ZDH3A
ＭＴ管　6AV6

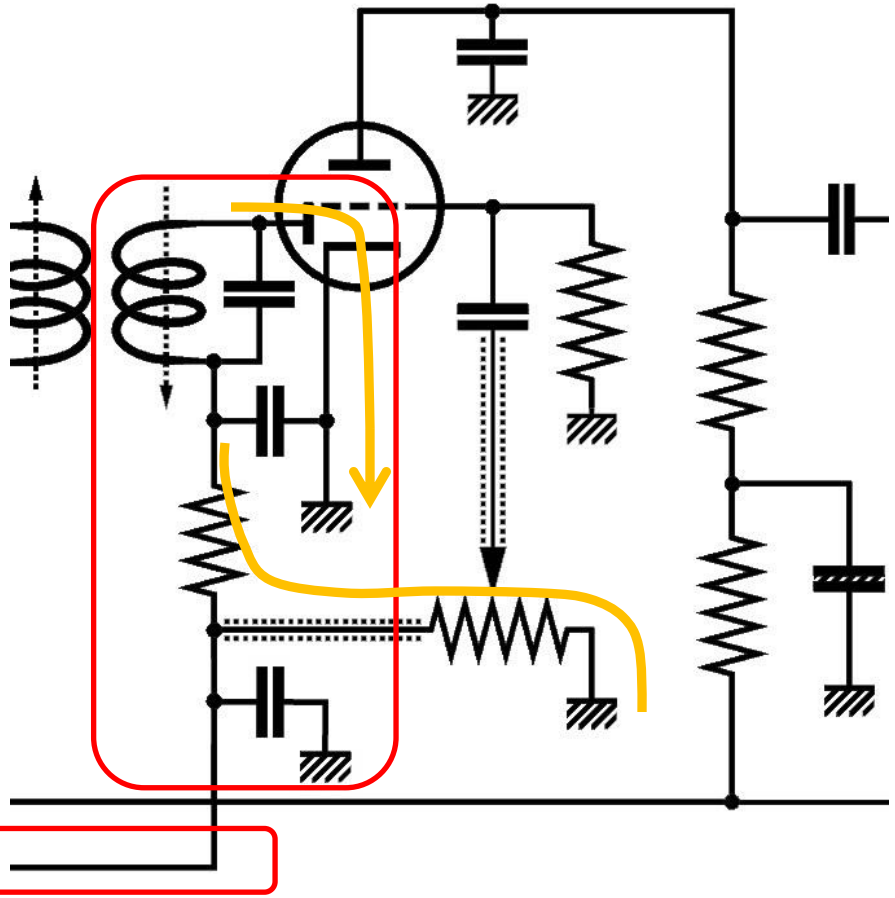
検波低周波増幅回路

この段では
沢山の事が
行われてお
ります

①中間周波
信号を検波

②音声信号
取り出し

③AVC電圧
取り出し



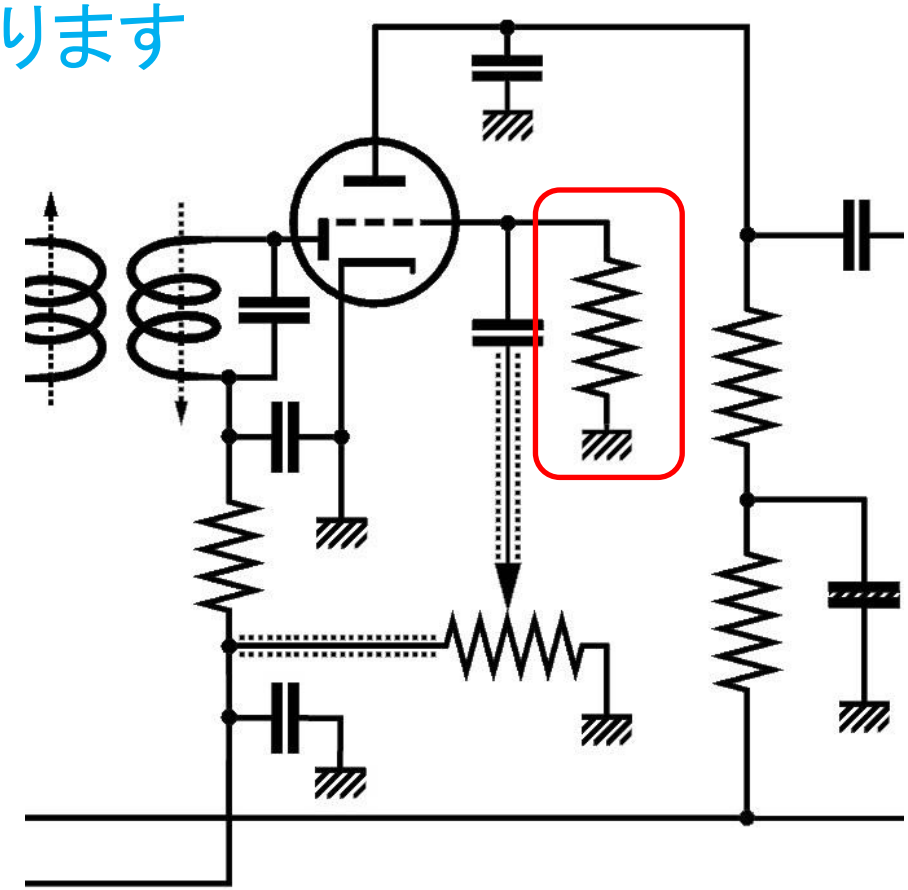
2極管と3極管
との複合管
ただし、
カソードは共通

中間周波を検波し音声周波数を電圧増幅

ＳＴ管　6ZDH3A
ＭＴ管　6AV6

検波低周波増幅回路

この段では
沢山の事が
行われてお
ります



④グリッドリークバイアス

　カソードは検波用の2極管と共通の為、自己バイアス用の抵抗をカソード、アース間に入れられない。依ってこの方法でグリッドにバイアスを掛けます。

　実は、カソードからの熱電子が、グリッドに命中しその一部は跳ね返されますが、他の一部はそのままグリッドに捕まりグリッドをマイナスに帯電させます。赤丸で囲ったグリッドリーク抵抗に電流が流れていなければ、グリッドはアースと等しい電位で同じ電位のカソードとの間のバイアスはゼロですが、

• 3極管部のバイアスの説明　つづき

　そのマイナスの電荷がグリッドリーク抵抗でアースに流れるためグリッドは、アース電位よりマイナスの電位を持ちます。そしてこのリーク電流の大きさは

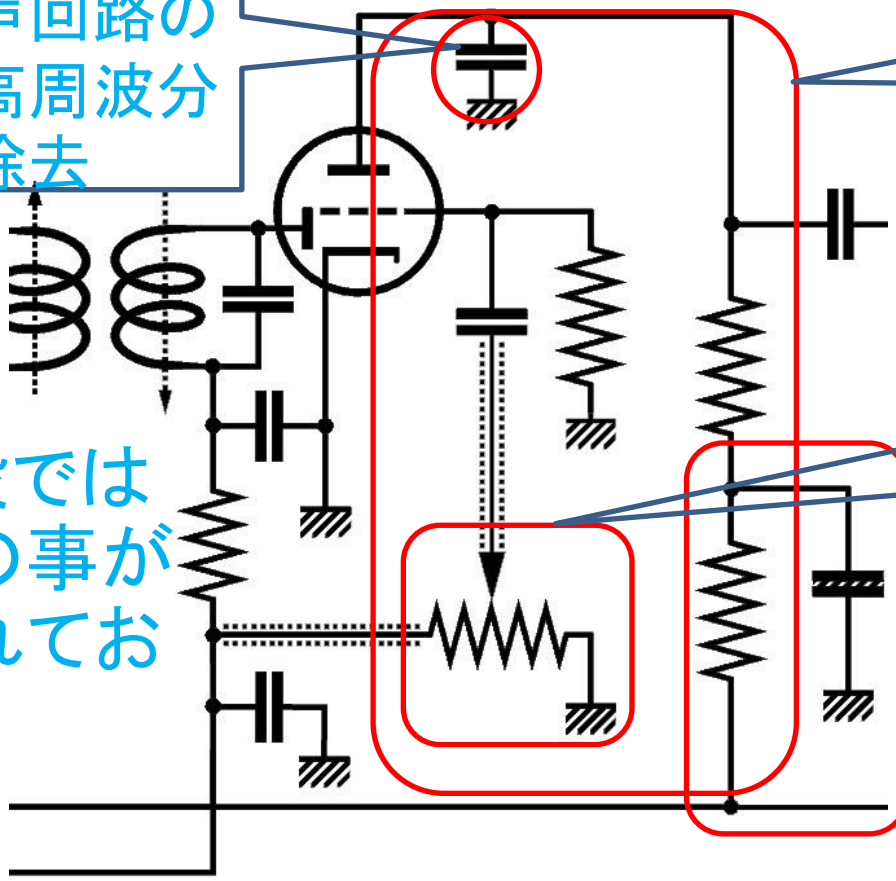
その電流値を安定させる向きに制御が掛かっているという非常にありがたい結果を得ており安定したバイアスをかけることが出来ています。

その制御のシステムは、グリッドのマイナス電荷が大きくなると、グリッドリーク抵抗の電流値が増加しグリッドのマイナス電位は更にマイナス側に変動する。

　グリッドのマイナス電位は、熱電子がグリッドに捕獲される量を減ずる方向の斥力に作用する。そして、定常的に安定なバイアス電圧を実現するという訳です。

ＳＴ管　6ZDH3A
ＭＴ管　6AV6

検波低周波増幅回路



⑥音声回路の残留高周波分除去

⑦低周波増幅をして出力管をドライブ

⑤音量調整
VRコントロール

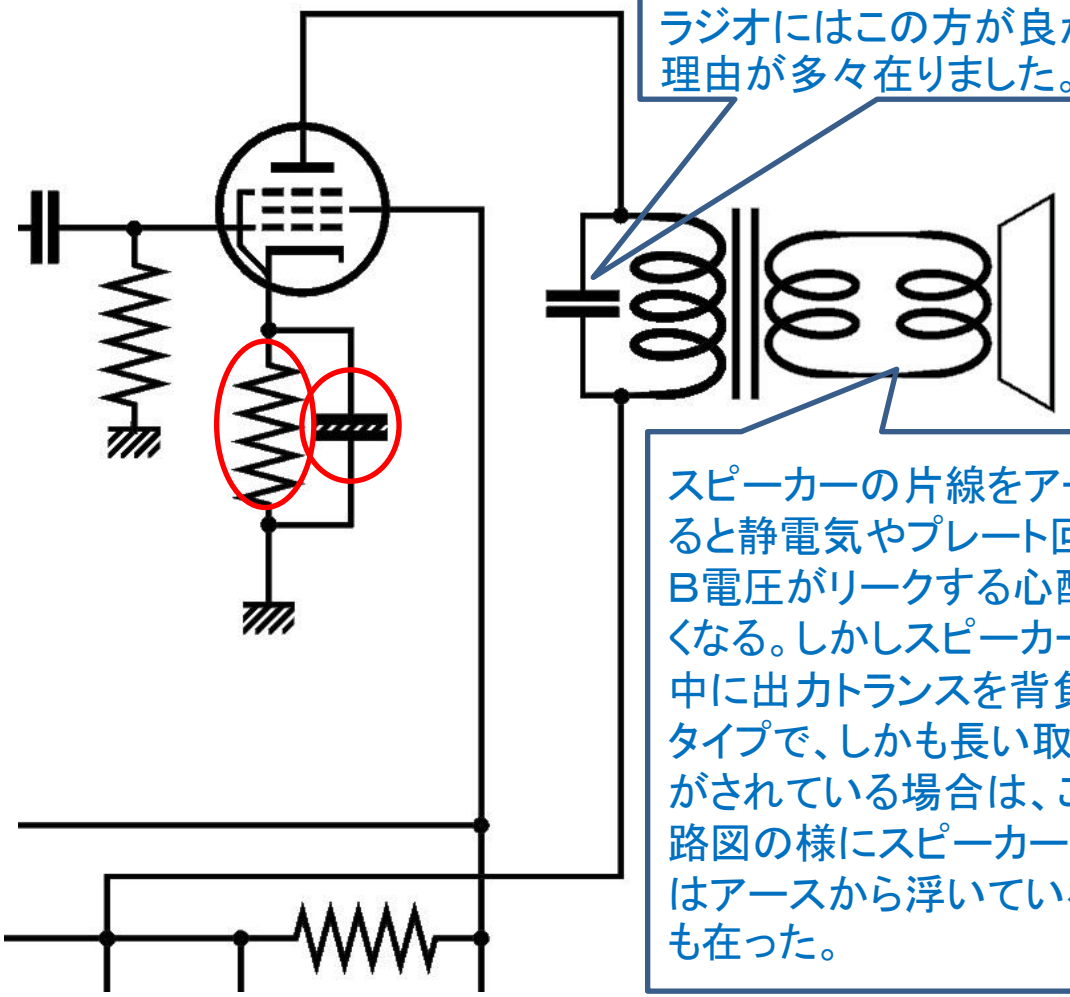
⑧デカップリング

この段では沢山の事が行われております

中間周波を検波し音声周波数を電圧増幅

ＳＴ管　42　または　6ZP1
ＭＴ管　6AR5

出力回路



このコンデンサーは、耳障りな高域を減衰させるために入っています。
あまりハイファイではないAMラジオにはこの方が良かった理由が多々在りました。

スピーカーの片線をアースすると静電気やプレート回路のB電圧がリークする心配は無くなる。しかしスピーカーの背中に出力トランスを背負ったタイプで、しかも長い取り回しがされている場合は、この回路図の様にスピーカーの線はアースから浮いているものも在った。

その抵抗のバイパスコンデンサーを敢えて使わずにネガティブフィードバックを掛けている回路も在ります。それは、電流帰還と呼ばれております。

グリッドバイアス電位
＝アース電位（ゼロＶ）
－カソード電位
－カソードの音声信号

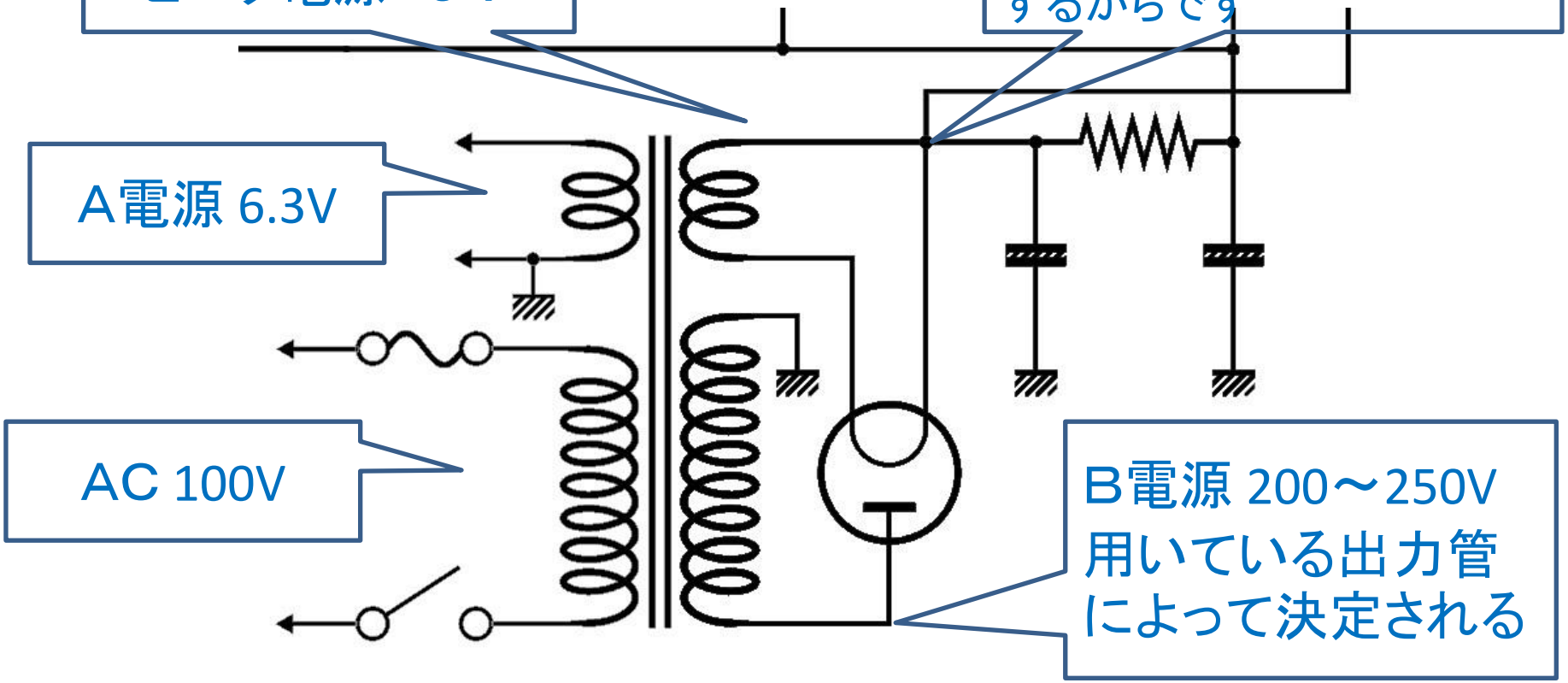
音声周波数を電力増幅してスピーカーに出力

ＳＴ管　12F　または　80BK
ＭＴ管　5MK9

電源回路

整流管用の
ヒータ電源　５Ｖ

出力管のプレートへは平滑回路の抵抗の前からとる設計が多い
この抵抗に大きな電流を流すとB電源全体が電圧降下するからです



A電源 6.3V

AC 100V

B電源 200～250V
用いている出力管によって決定される

ヒータ用のA電源、プレート、スクリーングリッド用のB電源を供給

蛇足

　かって、茶の間で活躍していた何の変哲もないラジオをネタにするだけで、多くのサイエンスが詰まっている事が判りました。

　真空管が、トランジスターやICに置き換わってもやはりそこには多くのサイエンスが存在し、サイエンスの楽しさや面白さを提供してくれます。

　それらに感謝しながら、自らもそれらに参加し「皆が幸福な人生」を享受できます様に！

YouTube でもご覧ください

- https://www.youtube.com/watch?v=mY5mqpHrbLU

スマホからは
このQRコードでどうぞ☞