

第10章 スーパーヘテロダインとは

現代市販されているラジオのすべてはスーパーヘテロダイン方式です。それほど優秀な方式です。第3部では、いよいよこの本格的なラジオであるスーパーヘテロダインラジオを製作します。まずこの章では、その原理を説明します。

●簡易ラジオの問題点

各種簡易ラジオを製作してきましたが、いろいろな問題点がありました。以下に列挙します。

1. 第8章で、B局より36kHz低いところに、かなり弱い局があると述べました。以降この局をK局とします。簡易ラジオではK局を全く聞くことができませんでした。ですから、高周波増幅回路のゲインをもっともっと上げる必要があります。
2. 混信の問題がありました。仮に簡易ラジオで高周波増幅回路のゲインを大きくしてK局を聞けるようにできても、おそらくB局が強力に混信してくるでしょう。
3. AGCがかかっておらず、電界強度が違うと、いちいち音量調整をする必要がありました。

いままでに製作してきたラジオの方式で以上を解決できるでしょうか。まず1. ですが、高周波増幅のトランジスタの数を増やせば可能に思われます。しかし、同じ周波数の信号を極端に大きく増幅すれば、その信号がアンテナに戻り発振しやすくなり、安定した増幅は非常に困難です。

次に2. ですが、共振回路が一つなので、混信をなくすには限界があります。では複数個使用すればよいと思われるかもしれませんが、バリコンを連動させるのは非常に困難です。困難ではありますが、専用のバリコンができれば、なんとかできるかもしれません。実は、ただ単に受信周波数の共振回路を増やして混信をなくす方法には、別の大きな欠点があります。それは信号の通過帯域幅です。図1-19に単一の共振回路の通過帯域幅を示しました。このように通過帯域幅は中心周波数(ここでは受信周波数)に比例します。複数の共振回路を使用するともっと複雑な式になりますが、やはり通過帯域幅は中心周波数に比例します。ですから、受信周波数が変化すると、通過帯域幅が変化してしまうのです。必要な通過帯域幅は受信周波数によらず、一定でなければなりません。

3. の問題はトランジスタの数を増やせば、いままでに製作してきたラジオの方式でも可能です。しかし、AGCをかけるには高周波増幅回路のゲインが十分大きい必要があります、1. の問題ともからんできます。

●スーパーヘテロダイン方式

以上の問題を解決するために発案された方法がスーパーヘテロダイン方式です。スーパーヘテロダイン方式の最も重要な機能は周波数変換です。二つの周波数の信号から、周波数の差の信号を作り出す機能です。スーパーヘテロダインとは、この機能より命名されています。ヘテロとは異質な二つのものを表す言葉です。ダインとは力の単位になっている言葉ですが、ここでのダイ

ンはラジオの方式でよく使用される接尾語で、特に意味はないと思います。ラジオの方式ではニュートロダインとかオートダインなどダインがよく使用されます。スーパーは、周波数変換された信号の周波数が可聴周波数ではないため用いられたと、よくいろいろな書籍で紹介されています。電信では搬送波の有無で通信しますが、搬送波が有るときに、搬送波に近い信号との差(ビート)で可聴信号に変換しています。これもヘテロダインの一種ですが、出力は可聴周波数です。ところがスーパーヘテロダインでは、出力が依然として高周波であるためにスーパーとよばれたというわけです。私は、この方式を発案した人が、あまりのすばらしさに「これはスーパーだ!」と叫んだためではないかと推測しています。

図10-1にスーパーヘテロダイン方式のブロック図を示します。まず、周波数 f_1 の受信信号を高周波増幅します。そして局部発振回路で発生させた周波数 f_2 の信号で周波数変換します。ここが前述した通り、スーパーヘテロダイン方式の最大のポイントです。周波数変換では f_2-f_1 という周波数の差の信号を作りだします。この f_2-f_1 という周波数の差の信号は中間周波数とよばれます。中間周波数は通常IF(アイエフ、Intermediate Frequency)とよばれますので、以降でもIFとよぶことにします。周波数変換については次の項で詳しく説明しますので、ここでは周波数変換は、とにかくIF信号を作るものと思ってください。IF信号を作ると、後はそれを増幅し、AM検波してラジオになります。

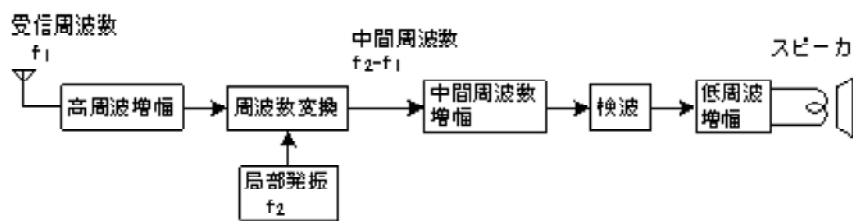


図10-1 スーパーヘテロダイン方式

IF信号を作るときに重要なのが、 f_2-f_1 を一定にするということです。ですから、 f_1 が変わると f_2 も変化させて f_2-f_1 を一定にする必要があります。図10-1では高周波増幅回路には f_1 に共振させるためにバリコンが必要ですが、局部発振回路の f_2 も変化させるために、この回路にもバリコンが必要です。そして、これら二つのバリコンは連動して動く必要があります。このバリコンは2連バリコンとよべます。

では、なぜIF信号にするのでしょうか。IF信号にして一体どういうメリットがあるのでしょうか。それは、前項の2.の問題を解決するためです。この問題を解決するには、受信している周波数の帯域のみ通過させるフィルタが必要です。AMラジオでは9kHz間隔でチャンネルがあるので、9kHz離れたところに隣の局があるとして、その隣の局の信号を十分減衰するような帯域特性が必要です。前項で述べた通り、受信周波数を中心としたフィルタでは、この帯域特性が受信周波数によって変化してしまいます。しかし周波数が一定なIF信号を作り出して、そのIF信号を中心周波数としたフィルタにすると、受信周波数に変化しても帯域特性は同じになるのです。

以上がIFに変換する大きな理由ですが、もう一つ理由があります。それは前項の1.の問題を解決するためです。スーパーヘテロダイン方式ではIFを大きく増幅します。こうすると前項の1.の問題である発振の問題もなくなります。周波数が変わっているので、大きく増幅された信号がアンテナに帰還されても発振が起こらなくなるからです。このようにスーパーヘテロダイン方式の

ラジオでは、ゲインおよび混信特性(選択特性)はIF増幅回路が担っています。また、前項の3.のAGCもIF増幅回路でかけています。

AMラジオのIF信号は455kHzが使用されます。例えば受信周波数 f_1 が1008kHzなら、局部発振周波数 f_2 は1463kHzとなります。周波数変換回路では差の周波数を発生させますから、 f_1 が1008kHzなら f_2 は553kHzでもいいのですが、そうすると f_1 が558kHzのように低い場合は、 f_2 は103kHzと極端に低くなってしまいます。ですからAMラジオの f_2 は、 f_1 より高い周波数が選ばれます。市販されているスーパーヘテロダイン用の2連バリコンも、このように使われるのが前提になっています。

以上の例で、局部発振周波数 f_2 が1463kHzのとき、受信周波数 f_1 は1008kHzが対象ですが、1918kHzも455kHzのIF信号になります。ですからこの周波数の信号もIF増幅回路で増幅されて通過してしまいます。この信号をイメージ信号とよんでいます。イメージ信号を受からなくするには、図10-1の高周波増幅回路で十分減衰させておく必要があります。このイメージ信号は希望する受信周波数より大きく離れていますので、高周波増幅回路に一つの共振回路があれば、十分減衰させることができます。ちなみに、AMラジオのIF信号の周波数は、必要な帯域のフィルタを作りやすくするように決められますが、このイメージ信号を十分考慮して決める必要もあります。

●周波数変換

第2章AM検波でAM波には搬送波周波数±音声信号周波数の成分があることを説明しました。AM波は、二つの周波数の異なるsin波の掛け算要素があるためでした。ですから、二つのsin波を掛け算すれば、二つの周波数の差のsin波が発生できるのがわかります。では、この掛け算はどうすればよいのでしょうか。一番手っ取り早いのは掛け算器を使うことです。ここでいう掛け算器とは、出力 z が二つの入力 x, y の掛け算、つまり $z=xy$ となる回路です。実際このような回路は構成可能ですが、回路が複雑で非常に高価でもあります。幸いなことに、ここで扱うのはsin波です。sin波ですと、掛け算器のように純粋な掛け算でなくともよくなります。いろいろな信号が発生しても、一部にsin波の掛け算の項が入っていれば、この項以外の余計な信号はフィルタで取り除けるからです。

具体的には、二つの信号を非線形回路、つまり歪みのある回路に入力します。これで掛け算ができることを以下説明します。

出力を e_o 、入力を e_i とします。 $e_o=Ae_i$ のとき線形で、もちろん歪みはありません。歪みのあるとき、すなわち非線形のときの入出力関係を $e_o=f(e_i)$ とします。ここで非線形関数 $f(x)$ は

$$f(x) = f(0) + \frac{f'(0)}{1!}x + \frac{f''(0)}{2!}x^2 + \dots + \frac{f^{(n)}(0)}{n!}x^n + \dots$$

と、べき級数に展開できます。このとき $f(x)$ は何回でも微分できる等の条件が必要です。

例えば、 $f(x) = e^x - 1$ とします。このときの入出力を図10-2に示します。この関係はトランジスタ増幅回路の入力電圧と出力電流に近いものです。ただし、直流バイアス分をシフトして、入力=0のとき出力=0にしています。

このとき $f(x) = x + \frac{1}{2}x^2 + \frac{1}{6}x^3 + \frac{1}{24}x^4 + \dots$ となります。

ここで、入力に角周波数 ω_1 、 ω_2 の二つの信号を入れます。

$$e_i = \sin \omega_1 t + \sin \omega_2 t$$

ここで、振幅=1としています。このときの出力は

x の項 → 線形の項であり、入力がそのまま出力されます。

x^2 の項 → $(\sin \omega_1 t + \sin \omega_2 t)^2 = \sin^2 \omega_1 + 2 \sin \omega_1 t \times \sin \omega_2 t + \sin^2 \omega_2 t$ となり、 $\sin \omega_1 t \times \sin \omega_2 t$ の項、すなわち必要な2波の掛け算が出現します。

x^2 以上の項 → いろいろな成分が発生しますが、2波の和差に関係ありません。

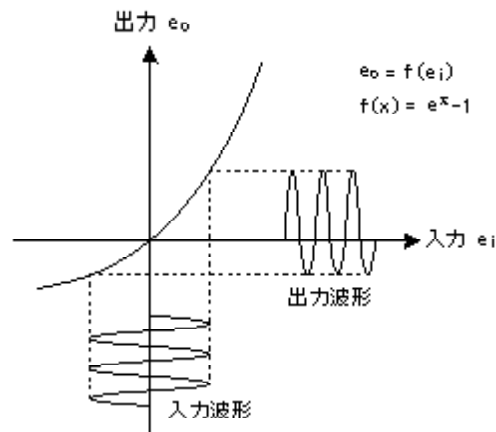


図10-2 $f(x) = e^x - 1$ のときの入出力波形

以上の方法では、一方が受信信号で、もう一方が局部発振信号です。掛け算の項を大きくするには、局部発振信号を大きくする必要があります。どのくらいにするかは、回路方式によります。次章で、具体的に周波数変換回路を製作しますので、そこで説明します。

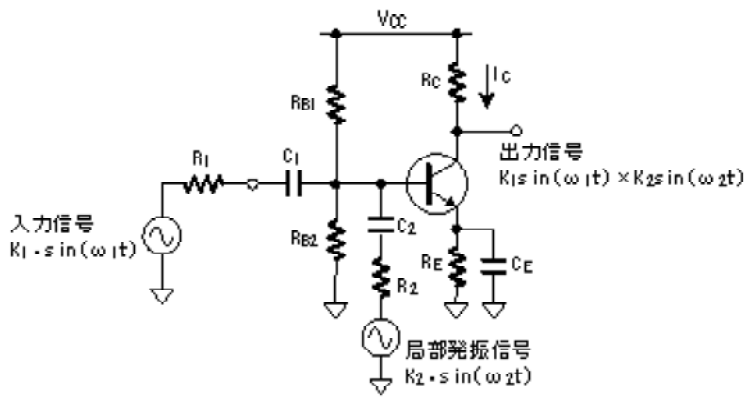


図10-3 周波数変換回路の一例

非線形回路を用いた周波数変換回路の一例を図10-3に示します。この回路で以上述べた周波数変換ができます。ところでこの回路は、図3-43のゲイン可変増幅回路でゲイン可変端子を一定にし、局部発振信号を別途コンデンサで加えた回路でもあります。そこで、この回路をゲイン可変増幅回路として見ることにします。この回路では局部発振信号として大きい信号を入力しますが、この信号の周波数を入力信号より低いとします。図10-4に、これら二つの信号が入ったときを示します。

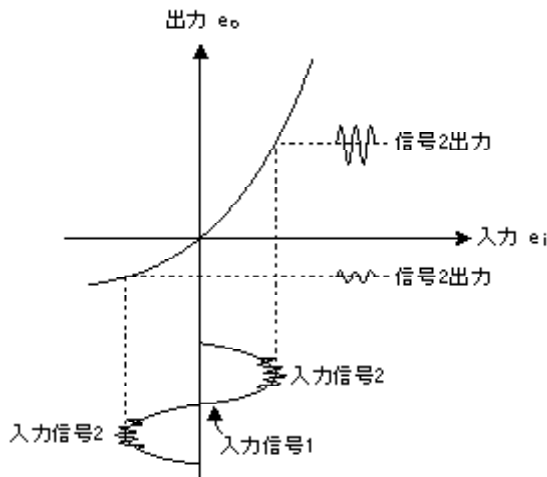


図10-4 大きい信号が低い周波数のとき

入力信号2にとっては入出力特性の曲線の微分がゲインになっています。ですから、入力信号2は入力信号1によってゲインを変化させられることになります。この様子が図10-4でよくわかると思います。これはまさにAM変調です。AM変調では掛け算の要素がありましたので、この図のように考えても非線形回路による掛け算機能が理解できます。

以上のように考えると、図10-3の周波数変換回路はAM変調回路でもあります。局部発振信号の代わりに音声信号を入れると、AM変調回路になります。かつての電子工作の本には、この回路によるAMワイヤレスマイクがよく紹介されていました。

非線形回路による周波数変換回路は簡単ですので、通常AMラジオにはこの周波数変換回路が用いられます。しかし、相互変調など厳しい特性が要求される受信機には不適です。このような受

信機にはDBMが使用されます。DBMはDouble Balanced Modulatorの略です。直訳すれば両平衡変調器といったところでしょうか。通常、ダブル・バランスド・モジュレータとかDBM(ディービーエム)とよばれます。この本ではDBMとよぶことにします。DBMでは掛け算の信号のみ出力され、それ以外の信号は発生しません。このためにダブル・バランスドとよばれています。DBMによる周波数変換回路も次章で製作します。ところで、掛け算した信号は変調波形です。ですから掛け算波形に着目した場合は、モジュレータ(変調器)です。一方、掛け算信号には和と差の信号が含まれています。その和と差の信号に着目する場合はミキサー(混合器)といいます。

●製作方法

以降の章でスーパーヘテロダイン方式のラジオを製作していきますが、その方法を説明していきます。図10-1のブロック図を三つのブロックに分けます。それを図10-5に示します。

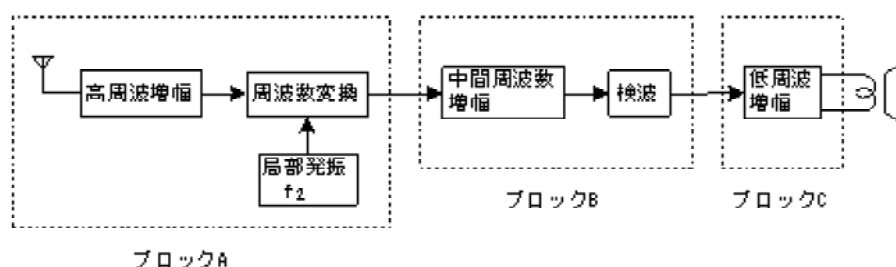


図10-5 三つのブロックに分ける

次項で製作するラジオは、この三つのブロックに分けて製作します。その基板構成を図10-6に示します。以降、ブロックAの基板をミキサー、ブロックBの基板をIFアンプ、ブロックCの基板をオーディオアンプとよぶことにします。厳密には、ミキサーに局部発振回路は含まれませんが、この本では周波数変換部であるブロックAをミキサーとよぶことにします。基板間を接続するコネクタには、写真4-1で紹介したものを使用しました。誤挿入には十分注意が必要ですが、抜き差し等は軽快です。簡易ラジオではクリスタルイヤホンのみ使用しましたが、スーパーヘテロダインラジオでは、いよいよスピーカを鳴らします。

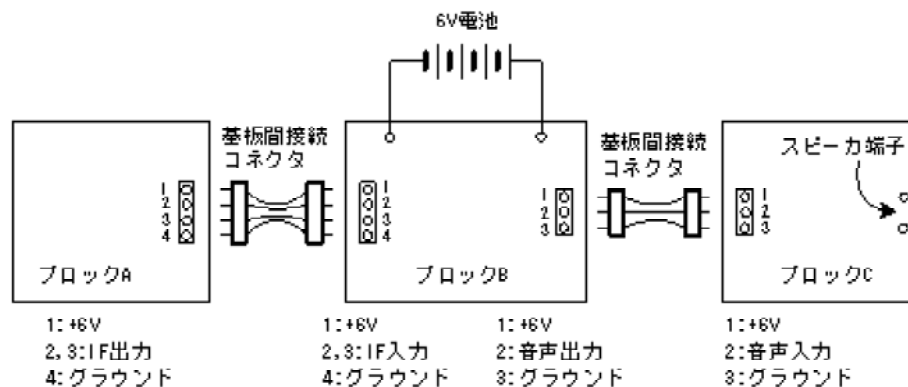


図10-6 製作する各ブロック基板

電源電圧はいろいろな回路を検討できるように6Vを使用しました。アウトプットトランスを用

いたオーディオアンプやDBMのICでは6V必要です。この電源はIFアンプに与えます。そしてIFアンプからミキサー、オーディオアンプに電源を供給します。6Vを使用しましたので、直流バイアス回路には図3-4で示した電流帰還バイアス回路を極力使用することにしました。

ここで、以降で製作するものを列挙しておきます。

第11章ミキサー

- ・トランジスタミキサー(非線形動作を用いたもの)で他励式
- ・トランジスタミキサー(非線形動作を用いたもの)で自励式
- ・ダイオードによるDBMを用いたもの
- ・ICによるDBMを用いたもの

第12章IFアンプ

- ・IFT(IF専用のトランス)を用いたもの
- ・OPアンプを用いたもの

第13章オーディオアンプ

- ・一石アンプ
- ・ニ石アンプ
- ・トランス式PP(プッシュプル)アンプ
- ・SEPP(シングルエンドPP)アンプ
- ・負帰還式SEPPアンプ

以上で製作したものは、どの組み合わせでもスーパーヘテロダインラジオになります。私は、ダイオードによるDBMを用いたミキサー、OPアンプを用いたIFアンプ、負帰還式SEPPオーディオアンプという、おそらく未だかつて誰も作ったことがないであろう組み合わせで、スーパーヘテロダインラジオを楽しんでいます。



ふじひら・ゆうじ

RFワールド・ウェブ・ボックス「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/>