

第9章

無線回路計算もおちゃのこさいさい



本書は無線，高周波回路を一つのテーマとしています。
本章では，実際の無線回路に関係した計算/数学について，
より詳しく実践的な説明をしていきます。

いままで説明してきた数学的思考から回路にアプローチする考え方が，
ここでもまったく同じように活用可能なことが理解できると思います。



9-1

高周波回路の基本を達観する

● 無線/高周波回路はデシベルで考える

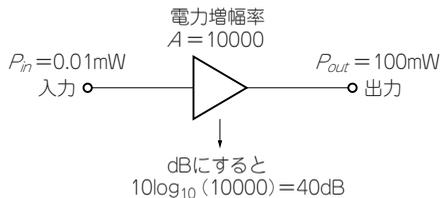
無線通信では，アンテナで受信した電力は非常に小さく，これを我々が普段取り扱っている数ボルトのレベルまで，かなり大きく増幅します。当然増幅率もそれに応じてかなり大きくなります。

この増幅率が100000，1000000と単純倍率になっている場合，ゼロがたくさんついでので一見しては何だかわかりません。また表すにも桁が長くなってしかたありません。財務計算であれば100,000とか1,000,000とかカンマを挟んで見やすくもするのですが，また数%程度の誤差を許容する電子回路の計算であれば，精度も2桁程度あれば十分です。

そこで高周波回路では，利得(および損失)をデシベル—[dB]で考えます。

図9-1は増幅器に入力される電力 $P_{in} = 0.01\text{mW}$ と，増幅されて出力される電力 $P_{out} = 100\text{mW}$ です。電力増幅率 A は，単純な倍率だと，

$$A = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{100}{0.01} = 10000 \quad \dots\dots\dots(9-1)$$



【図9-1】増幅率をdB(デシベル)で考える

と大きい数になりますが、これをdBの定義^{*1},

$$A_{(dB)} = 10 \log_{10} \left(\frac{P_{out}}{P_{in}} \right) \dots\dots\dots (9-2)$$

で計算してみると

$$A_{(dB)} = 10 \log_{10} \left(\frac{100}{0.01} \right) = 10 \log_{10}(10000) = 40$$

40dBという、普段でも使う量/大きさの“40”という値になります。このようにdBだと取り扱いやすい数値になります。

▶ 電圧増幅率は20logだが？

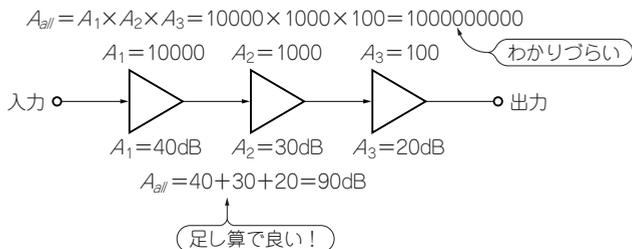
電圧で考える場合は係数が20になります。この理由はdBは基本的に電力で考えるためです。つまり、

$$A_{(dB)} = 10 \log_{10} \left(\frac{P_{out}}{P_{in}} \right) = 10 \log_{10} \left(\frac{\frac{V_{out}^2}{R}}{\frac{V_{in}^2}{R}} \right) = 10 \log_{10} \left(\frac{V_{out}}{V_{in}} \right)^2$$

$$= 2 \times 10 \log_{10} \left(\frac{V_{out}}{V_{in}} \right) = 20 \log_{10} \left(\frac{V_{out}}{V_{in}} \right) \dots\dots\dots (9-3)$$

と2乗が2×10として計算できるためです(log A² = 2log A)。電流も同じです。ここでポイントとして抵抗Rは同じである必要があります。こうしないと基本的なつじつまが合いません。しかし現実の電圧増幅率のdB計算では、これを無視する場面が多いこともポイントです。なお高周波では規格インピーダンスとして50Ωとか75Ωが使われ、これが信号源インピーダンス、負荷インピーダンスになります

※1：dBは自然対数ではなく、底を10とする常用対数である。



[図9-2] dBで考えると直列に接続された複数の増幅器の増幅率も足し算で計算できる

ので、問題はありません。

dBで考えると、図9-2のように複数の増幅器が直列に接続された場合でも、単純な足し算で計算することができます。

● マッチング回路を手計算でやってみる(その前座)

▶ 最大電力伝達の式を交流回路(高周波回路)で考える

第5章5-4のp.121で説明しましたが、「負荷抵抗 R_L (R-load) が信号源抵抗 R_S (R-source) に等しいときに、負荷抵抗 R_L に最大の電力が供給される」という最大電力伝達条件というものがあります。このことを「 R_L と R_S がマッチングした」といいます。これを交流回路に広げてみましょう。

負荷抵抗には望まれざるインダクタンス(コイル成分)や容量(コンデンサ成分)の寄生成分(浮遊成分)が、だいたいの場合存在しています。交流回路の場合、これがあると最大の電力は伝達できません*2。たとえば図9-3(a)のように、抵抗のリード線などで生じるインダクタンス成分があります。これをキャンセルすることを考えてみましょう。

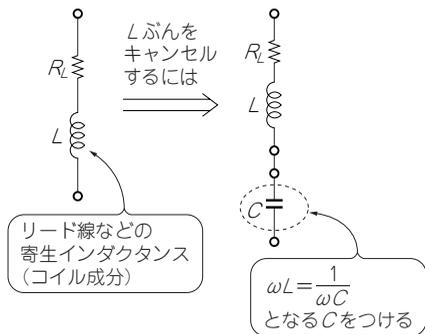
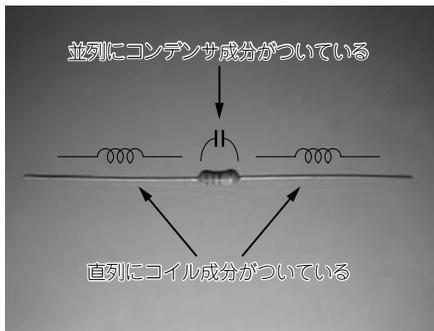
$R_S = R_L$ だとして考えます。図9-3(a)のようにコイル成分が寄生(浮遊)インダクタンス成分としてある場合、直列にコンデンサ C をつけてみると、

$$P = R_L \left(\frac{V}{R_S + R_L + j\omega L - j\frac{1}{\omega C}} \right)^2 \dots\dots\dots (9-4)$$

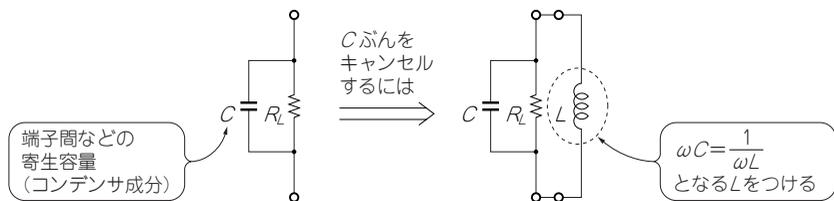
となり、 $\omega L = 1/\omega C$ のときに虚数 j の部分がキャンセルされ、 R_L に最大電力が得ら

*2: トランジスタなどの個別電子素子も、その入出力インピーダンスは 50Ω になっているわけがない。その点からも、最大電力を伝達させるためには、必ずマッチングを考える必要がある。





(a) 直列にコイル成分(寄生インダクタンス)がついている(抵抗のリード線など)ときは直列にコンデンサをつける



(b) 並列にコンデンサ成分(寄生容量)がついている(端子間の浮遊容量など)ときは並列にコイルをつける

[図9-3] 負荷抵抗 R_L についている寄生(浮遊)成分とキャンセルの方法

れます。ここで ω は「角周波数」 $\omega = 2\pi f$ ですが、以後も「周波数」として説明します。さてこれは、何のことはない、直列共振しているだけです。こうすることで寄生成分がキャンセルできるのです。ポイントとしては直列共振しているだけなので、ある特定の周波数だけでしか、この「キャンセル」というものは成立しません。

図9-3(b)のようにコンデンサ成分が寄生(浮遊)容量成分としてある場合は並列共振させるだけです。つまり同図のように並列にコイルをつけます。そうすると、

$$P = R_L \left(\frac{V}{R_S + \frac{1}{\frac{1}{R_L} + j\omega C - j\frac{1}{\omega L}}} \right)^2 \dots\dots\dots (9-5)$$

となりますから、ここでも $\omega C = 1/\omega L$ のときに虚数 j の部分がキャンセルされ R_L に最大電力が得られます。

▶これだけしか方法はない？……なんてことはない！それがインピーダンス変換によるマッチングの基本

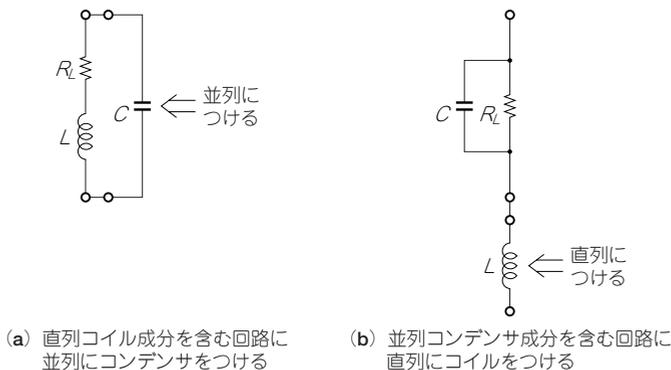
ここから説明することはとても大事なので、よく読んでください。ここまでは直列寄生成分には直列に、並列寄生成分には並列に補正素子を入れてきました。ところが実際には、図9-4のような方法も考えられるでしょう。

この方法で適切に L や C の大きさを選ぶと（ここまでは寄生成分として考えてきた部分も、適切な大きさだと考える必要があるが）、ある抵抗の大きさ（たとえば $50\ \Omega$ ）から違う抵抗の大きさ（たとえば $100\ \Omega$ ）にインピーダンス変換をすることができます。これを高周波回路では「インピーダンス変換によるマッチング」というかたちで積極的に活用します。

次の直列/並列変換でこの考え方の基本を説明し、その次のインピーダンス変換で実際にどうするかを示していきます。とはいえ、実際は手で計算することはまれであり、スミス・チャートを使ってグラフィカルに答えを求めることが一般的です。このやり方は参考文献(48)をはじめとして、いろいろな本に紹介されているので、そちらを参照してください。本書では本書らしく、その数学的背景を説明します。

●「インピーダンス変換によるマッチング」のために直列/並列変換を考える

最初に言うておきますが、この直列/並列変換では、変換した結果は周波数によって答えが変わってきます。これは結果に ω の項があるため、周波数に依存してしまうからです。そのため**特定の、ある周波数**だけでこの変換は成り立ちますので、「特定の」という点に十分注意してください。



【図9-4】 キャンセルの方法は別にある？