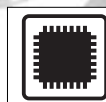


携帯電話で使われる高周波
アナログ回路

デバイスの記事



システムの記事

谷口研二

無線通信技術が誕生したのは、今から100年ほど前のことです。1901年にはイタリア人のマルコーニが大西洋横断の無線通信を行いました。また、フレミングによる真空管の発明(1904年)、無線電話の実験(1906年)、フランスのエッフェル塔からのラジオ放送(1908年)など、現代の無線通信の基礎技術が次々と試されました。連載の最終回の今回は、この無線通信に関連するアナログ技術についてお話ししましょう。(筆者)

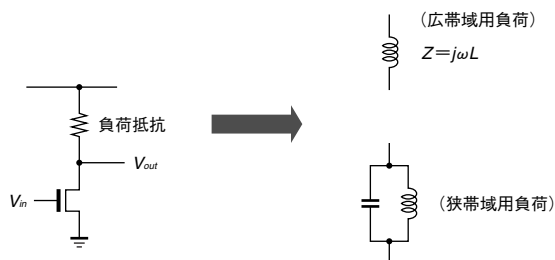
100年前と言えば、日本では明治時代の後半になるのでしょうか。一般の家庭にはまだ電気が行き渡っておらず、ランプの明かりで夕食を食べ終わるとすぐに寝て、日の出とともに起きるといった規則正しい生活が行われていた時代です。もし、この時代に生きていた人が現代に足を踏み入れたなら、大きなカルチャ・ショックを受けるに違いありません。街の中は深夜まで明るく電灯がとまり、街角の大型ディスプレイには米国のメジャー・リーグの試合が放映されています。そして街路は走り過ぎていく自動車であ

ふれかえり、歩道に目を移せば携帯電話で友だちと話をしている若者が大勢います。

今では小学生も所有している携帯電話ですが、その中には無線固有の回路技術だけでなく、数々の先端的なアナログ回路技術が含まれています。携帯電話では、回路ブロックで扱う周波数帯域によってフロントエンド部とベースバンド部に大別されます。低周波信号を取り扱うベースバンド部では、信号処理のほとんどがデジタルで行われています。本稿ではアナログ信号を処理するフロントエンド部に限定して話を進めることにします。アナログ回路を理解するまでに5年の経験が、信号応答が複雑な高周波回路ではさらに5年の合計10年の経験が必要だと言われています。連載の最終回ではこの常識を破って、みなさんを高周波回路の世界にお誘いしたいと思います。

高周波回路を少しでも勉強したことのある読者はご存じだと思いますが、無線通信回路にはインピーダンス・マッチングという高周波回路特有の概念があります。これは、ある回路ブロックから次の回路ブロックに高周波電力を効率良く伝達するための「おまじない」なのです。しかし、高周波回路の教科書などではこのインピーダンス・マッチングの記述が多すぎるあまり、高周波回路はとても難しい回路のように感じられてしまうのです。高周波回路からインピーダンス・マッチング部を除去すれば、高周波回路の中に埋もれているアナログ回路が見えてきます。

高周波回路には、特徴的なもう一つのアナログ回路との違いがあります。それは、図1に示すように、出力負荷抵抗がインダクタやLCタンク(インダクタとキャパシタの並列回路)に代わっていることです。しかし、インダクタは高周波では高インピーダンスになることやLCタンクが共振周波数で高インピーダンスになることを理解していれば、



〔図1〕高周波回路の特徴

高周波増幅回路では出力負荷抵抗がインダクタやLCタンクに置き換えられる。広帯域の増幅回路では負荷抵抗(負荷MOSFET)の代わりにインダクタが、狭帯域の増幅回路ではLCタンク(右下の図)が用いられることが多い。

出力負荷としてインダクタやLCタンクが使われていることは不思議ではありません。このことに気が付けば、高周波回路なんてそんなに難しいものではありません。

電波に組み込まれた信号

まず、どうやって信号を電波に組み込むのでしょうか。

電波法によれば、各送信機(放送局)にはそれぞれ周波数が割り当てられています。その周波数の電波を搬送波(キャリア)と呼びます。図2に示す送信器の例では、DSPで送りたいデジタル・データを作り、それをD-Aコンバータでアナログ値に変換し、続いてミキサで搬送波との積をとった結果を電力増幅して、アンテナから電波として送り出します。

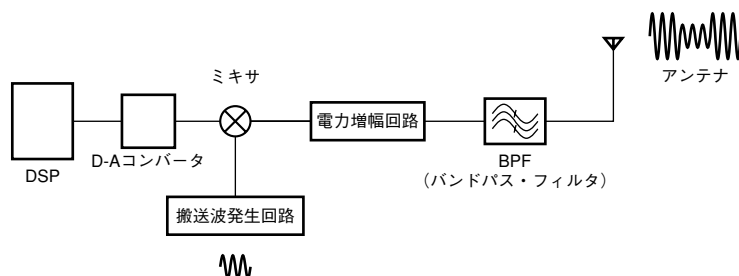
図2に示す回路では、送信器の周波数混合(ミキサ回路)や増幅回路(電力増幅回路)で発生した高調波を除去するためのフィルタがアンテナの手前で使用されています。もっとも、高周波の送信機や受信機にはこの種のフィルタ回路があらゆる箇所で使用されています。それらは不要電波の発生を抑制したり、所望の電波だけを選択する役割を果たすのですが、誌面のつごう上、すべてを説明するわけにはいきません。重要なフィルタにのみ焦点を当てて説明したいと思います。

●電波に信号を載せる

信号を組み込む電波(搬送波)の周波数を ω_c とすれば、その電波は一般的に次の式で表されます。

$$f(t) = A \cdot \sin[(\omega_c + \Delta\omega) \cdot t + \phi] \quad (1)$$

この式には振幅 A 、周波数 $\Delta\omega$ 、位相 ϕ の三つの属性が



〔図2〕高周波送信回路の例

D-Aコンバータ(DAC)でデジタル信号をアナログ値に変換し、それと搬送波の積算結果を電力増幅して、アンテナから送信する。バンドパス・フィルタ(BPF)は、搬送周波数以外の高調波を除去する目的で使用されている。

ありますから、信号を電波に載せる方式としては3種類ありそうです。一つは、キャリアの振幅 A を情報に応じて時間変化させる振幅変調法(AM)、もう一つは周波数 $\Delta\omega$ を可変とする周波数変調法(FM)、残りの一つは位相 ϕ を時間とともに変えて情報を伝える位相変調法(PM)です。

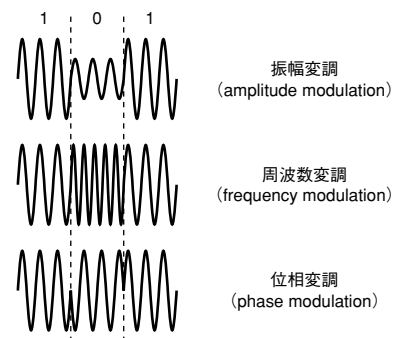
読者のみなさんは、ラジオにAM放送とFM放送があることはご存じでしょう。AM放送では信号を振幅 $A(t)$ で変調しているのに対して、FM放送では信号の大きさを周波数の偏移量 $\Delta\omega(t)$ に対応させた電波を送り出しています。これに対して、最新のデジタル携帯電話では位相変調法が使われています。図3に、デジタルの‘1’、‘0’に対応させたAM、FM、PMの波形を示します。この図から、三つの変調方式の違いがわかっていただけるでしょう。

なお、送信器側で電波(搬送波)に信号を組み込むことを「変調」というのに対し、受信器側で電波から元の信号を取り出すことを「復調」といいます。わかりやすく表現すると、「変調」は3種類の方式(AM、FM、PM)のいずれかで伝えたい信号を搬送波(キャリア)に詰め込むことを、「復調」は変調信号が組み込まれた電波からキャリアを取り除いて信号を取り出すことを意味しています。

●電波から信号を取り出す

読者のみなさんは、受信信号と搬送波を掛け算することでキャリアを取り除けることはご存じでしょうか。例えば受信したAM波 $A(t) \sin(\omega_c t)$ に対してそれと同一の周波数の正弦波(キャリア) $B \sin(\omega_c t)$ を掛け算すると、

$$A(t) \sin(\omega_c t) \cdot B \sin(\omega_c t) = \frac{A(t)B}{2} [1 + \sin(2\omega_c t)] \quad (2)$$



〔図3〕ビット・データ(‘1’、‘0’)を送信する三つの変調方式の比較

振幅変調(AM)は信号を振幅に、周波数変調(FM)は周波数の高低に、位相変調(PM)は位相の反転に対応させている。上部に記載してある数字は論理値を表している。