

デジタルとアナログの 変調/復調

畔津明仁

今月は、変調/復調回路について考える。変調/復調といってもアナログ対応、デジタル対応で、それぞれいろいろある。まず最初に変調/復調回路の基本原理を示す。続いてアナログ変調回路の基本構成をみていく。一般的には、フィルタ、積和演算回路、正弦波発生回路などから構成される。デジタル変調回路はさらに特異な回路構成が必要である。デジタル時代での変調回路は、じつはアナログ世界とデジタル世界の微妙に混ざり合った技術であることを示している。(編集部)

スト(外乱や変動に強い)な方法として広く使われています。

■CWとSSB

では、放送よりも歴史の長い“無線通信”の世界はどうだったのでしょうか。

無線通信は、マルコーニ以来、トン・ツー(モールス符号)の時代が長く続きました。それも、搬送波を強制的に断続するという簡単な方法です(図3)。これは究極の振幅変調であり、しかもデジタル変調です。

モールス符号そのものは、すでに主役の座を降りました(1999年)が、2値のデジタル変調という方式は現在でも非常に幅広く使われています。

一方、2値信号ではなくアナログ信号(音声など)を伝える方法としては、図1の振幅変調からスタートしたのは前述のとおりですが、通信分野では片側波帯(SSB; single-side-band)に移行していきます。

この違いは図4のとおりで、情報を伝えるには片方の側波帯があれば十分というわけです。占有帯域幅も送信電力も半分以下ですむことになります(電力比は変調度によって異なる)。また、それまで1チャンネル分だった帯域の上下の側波帯に別々の信号を載せて通信する(図4(c))といった多重化技術も、ここから急速に進み始めます。

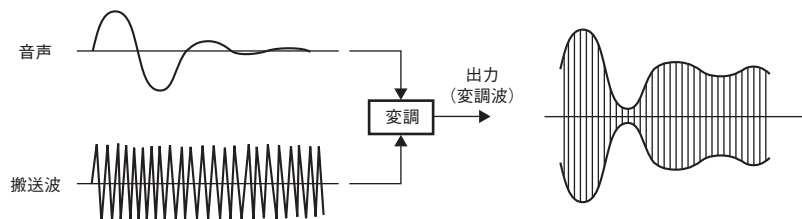
変調/復調の基礎

■振幅変調

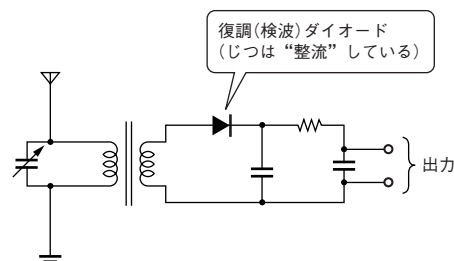
筆者が「ラジオ少年」として物心ついたころ、世の中で“変調・復調”といえば、振幅変調(図1)のことでした。今では、このような単純な振幅変調を見て“原始的”と思う人もいるかもしれませんが、占有帯域幅や電力に比較して伝送できる情報量が少ないという重大な欠点があります。

しかし、この単純な振幅変調はダイオード1本で復調できる(これは“復調(検波)”というより“整流”と呼ぶのが正しい)というすばらしい長所があります(図2)。S/Nが悪化しても“同期ハズレ”が起こるわけではありません。このため、今日でも、中波帯のラジオ放送^{注1}をはじめとして簡単かつロバ

注1: AMステレオ放送が始まってから、話は少し複雑になったが…。

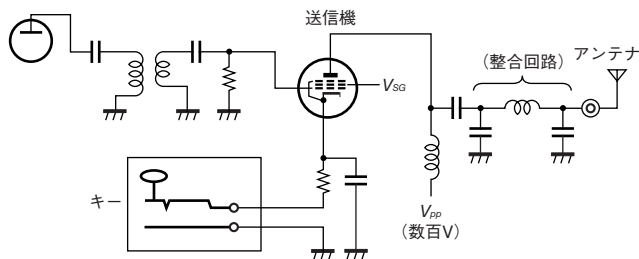


〔図1〕基本的な振幅変調

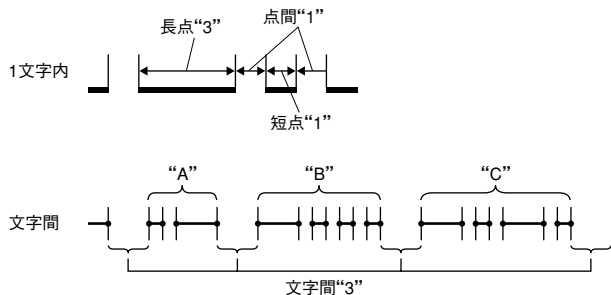


(これは“ゲルマニウム・ラジオ”)

〔図2〕復調回路



(a) 電信の回路例



(b) モールス符号

〔図3〕モールス符号のしくみ

つまり、昨今のデジタル変調技術の目的であるデジタル信号伝送・帯域の有効利用・多重化などの緒端は、かなり古くからスタートしていたと言ってよいでしょう。

■変調・復調の方法

すでに変調・復調（アナログ/デジタルを問わず）の経験をおもちの方には蛇足でしょうが、ここで簡単に復習をしておきましょう。

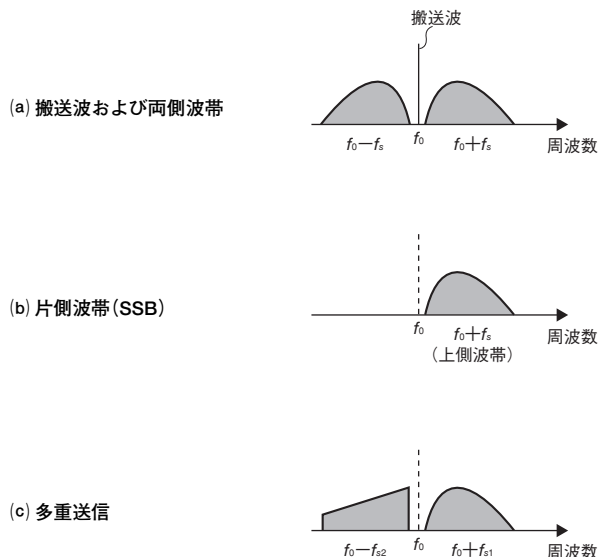
図1および図4(a)に示すような振幅変調は、アナログ的には図5(a)のような回路で実現できます。これは図5(b)と等価で、図4(a)のようなスペクトラムが得られます。

では、図4(b)のような片側波帯を得るにはどうしたらよいでしょうか。これにはいくつかの方法がありますが、その一つを図6(a)に示します。

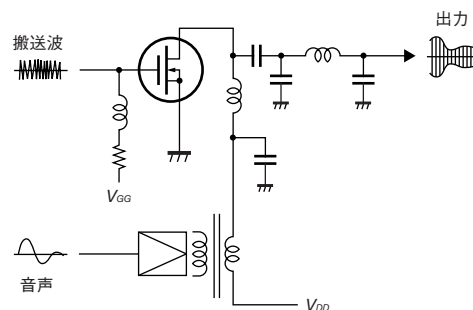
いったん両側波帯を得ておいて、その一方をフィルタ操作でカットします。30年以上前から、無線通信機器ではこの方法が主流でした。このような急峻な特性の周波数フィルタはLCR（集中定数）ではむずかしいので、いわゆるメカニカル・フィルタ（実際には圧電素子によるフィルタ）が使われました。

この方法は少し乱暴にも思えるのですが、通過帯域幅3kHzの圧電フィルタは量産すれば数十円にすぎず、音声通信としては内容も判別できる（音質についてうるさいことは言わない）といった条件から、広く使われています。

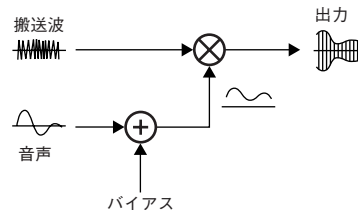
これに対して別の方法もあります。それは図6(b)のような方法で、かつてはPSN方式（phase shift network）などと



〔図4〕振幅変調のスペクトラム



(a) 回路例



(b) ブロック図

〔図5〕振幅変調の方法

も呼ばれました。この方法の特徴は、入力（音声）・搬送波ともに2相信号を使うことです。

通信技術の発展に大きな役割を果たしたアマチュア無線界^{注2}では、自作派の中にPSN方式愛好家がいたように思います。圧電フィルタの特注ができない（経済的に）立場からは、アルゴリズムおよび回路設計でこれを補える方式には魅力がありました。

注2：もともと無線通信にはアマチュアしかいなかった。SSBを実用にもちこんだのも彼らである。