

連載

PSoC マイコン活用講座

変調のしくみからスイッチングによる
振幅変調の実験まで

第9回 AM 送信機の製作(後編)

桑野 雅彦
Masahiko Kuwano

前編(2006年1月号)では、PSoCから電波を出す方法と変調の種類、振幅変調のしくみを解説し、信号波形をキャリアでスイッチングすることにより、PSoCを使ってAMワイヤレス・マイク(AM送信機)が実現できることを確認しました。

今回は、通常の振幅変調からキャリアを取り除いたDSB(Double Side Band)のしくみと実装方法、全体の製作と実験を解説します(写真9-1)。

DSBとSSBの概念

● キャリア成分を送らないAMの高効率版 DSB

前編で、基本的な振幅変調の実験はうまくいきました。このまま周波数を上げてやれば、アマチュア無線バンドなどでも利用できる送信機も実現できそうです。

しかし、現在ではアマチュア無線で単純な振幅変調が用いられることはほとんどなく、振幅変調の高効率版とも言えるSSB(Single Side Band)という方法が使われています。これをスペクトルで表すと、図9-1のようになります。

まず、(a)のようなスペクトルをもった音声が入っ

てきたとします(右に行くほど周波数が高いことを示す)。これを振幅変調すると(b)のようにキャリア周波数のスペクトルとその両側に音声スペクトルの形が広がります。このキャリアの上下に広がっている部分を側帯波と言います。

この図を見てもわかるとおり、音声情報はあくまでも両側に広がった部分に含まれており、キャリアそのものに情報は含まれていません。

電波として放出されるエネルギー自体は、キャリアとその上下に広がった音声信号成分の和なので、情報をもたないキャリアを送るということは、それだけ電力のむだになります。

そこで、キャリアを削ってしまえばよいではないか、ということが出てきたのがDSBです。

● DSBから片側の側帯波を取り除いてさらに高効率にしたSSB

DSB波形を見ると、キャリア周波数の上下に広がっている側帯波は、キャリア周波数を中心に対称です。つまり、受信側としては、どちらか一方の側帯波だけあれば十分受信できるはずですが。

この考えに基づいて片側の側帯波を切り落としたのがSSBです。SSBの場合、キャリア周波数よりも高い周波数側を残したものをUSB(Upper Side Band)、低い周波数側を残したものをLSB(Lower Side Band)と言います。

DSBの実現方法

● AM, DSB, SSBの関係を数式で確認

数式を使ってAM, DSB, SSBの関係を明らかにしてみましょう。キャリアの角周波数を ω_C 、振幅を $\pm A_C$ とします。すると、キャリアは、

$$A_C \sin(\omega_C t)$$

と表すことができます。これに角周波数 ω_S 、振幅 $\pm A_S$ の信号で振幅変調(AM)をかけたとします。

変調波形の上側のエンベロープを見れば、これは信

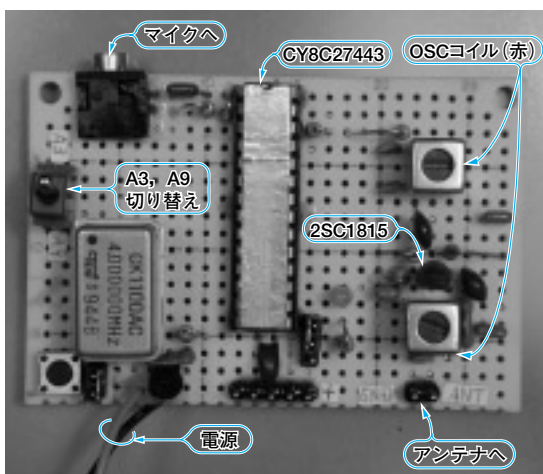


写真1 試作中のPSocワイヤレス・マイクの基板

号波形に A_C だけ上側にオフセットをかけた波形そのものです。また、下側はこれをそっくり上下にひっくり返したのと同じです。

上側のエンベロープは、

$$A_C + A_S \sin(\omega_S t)$$

なので、出力波形 $Y(t)$ は、

$$\begin{aligned} Y(t) &= \{A_C + A_S \sin(\omega_S t)\} \sin(\omega_C t) \\ &= A_C \sin(\omega_C t) + A_S \sin(\omega_S t) \sin(\omega_C t) \\ &\quad \dots\dots\dots (9-1) \\ &= A_C \sin(\omega_C t) \\ &\quad + \frac{A_S}{2} \{\cos(\omega_S t - \omega_C t) - \cos(\omega_S t + \omega_C t)\} \\ &= A_C \sin(\omega_C t) + \frac{A_S}{2} \cos(\omega_S t - \omega_C t) \\ &\quad - \frac{A_S}{2} \cos(\omega_S t + \omega_C t) \dots\dots\dots (9-2) \end{aligned}$$

となり、ちょうど $A_C \sin(\omega_C t)$ 、すなわちキャリア信号を中心に両側に広がっていることがわかります。

また、送りたい情報である ω_S ぶんが入っているのは後ろの2項だけであり、そのいずれか一方があれば

元の信号を再生できそうなこと、そしてキャリアである、

$$A_C \sin(\omega_C t)$$

が、不要であることもわかります。

式(9-2)の第1項、第2項、第3項を含むのが通常のAM、キャリアである第1項を取り除いたのがDSB、さらに第2項と第3項のうちいずれかを取り除いたのがSSBということになります。

式からわかるとおり、SSBの場合には、入力の子音が正弦波の場合に出てくるのは、

$$\cos(\omega_S t - \omega_C t)$$

または、

$$\cos(\omega_S t + \omega_C t)$$

となり、単にキャリア周波数と入力された周波数の差、または和の正弦波が出てくるだけということになります。

● DSB 変調は乗算動作そのもの

SSBは少し難しいので、その前段階としてDSBを考えてみましょう。キャリアを削ると、式(9-1)から

$$Y(t) = A_S \sin(\omega_S t) \sin(\omega_C t)$$

となります。これがどのような波形であるかを簡単に考えてみましょう。

今回は、高周波に音声で変調をかけるので、キャリア周波数 ω_C は変調信号 ω_S よりもはるかに高い周波数です。オシロスコープなどで見ると、0と $A_S \sin(\omega_S t)$ の間を $\sin(\omega_C t)$ の正弦波で塗りつぶしたようになるはずですが、

これを図にしたのが図9-2です。ここで行われているのが乗算なので、信号の正負が入れ替わる時にキャリアの位相が反転することに注意が必要です。

このような波形を作るのは面倒なので、少し変形してみます。今回は相手が高周波です。最終的にアンテナから飛び出して生かせるのはキャリア周波数前後の周波数だけなので、音声周波数でのレベル変動は消されてしまいます。

つまり、アンテナから出て行く波形や、受信アンテナを付けて受信された波形を見ると、キャリアの振幅の半分のところが基準となって上下対称に振れるような波形になるわけです。これを図にしたのが(b)です。

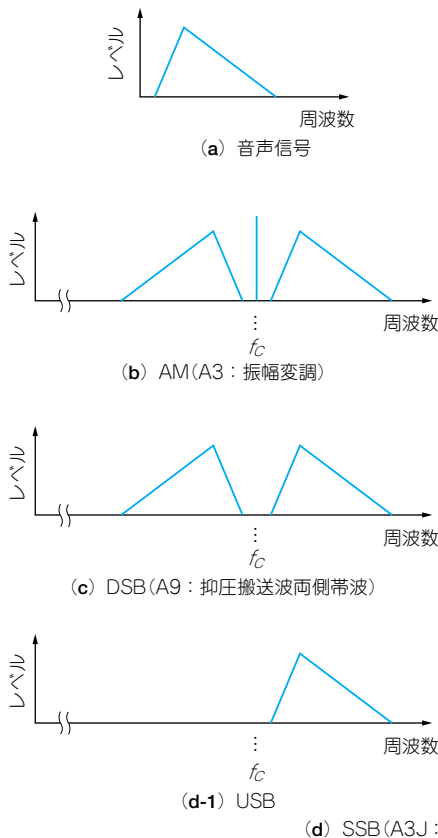


図9-1 AM, DSB, SSBの周波数スペクトル(f_c : キャリア周波数)