

第9章 変調と検波

電磁放射によって空間を經由して情報を伝達することは、低周波では満足にできない。これにはいくつかの理由がある。(1) 低周波では、アンテナの放射効率が非常に低いため、到達範囲が狭くなる。(2) 電磁波を効率的に放射し受信するには、その波の周波数に同調したアンテナと回路が必要である。低周波に必要なアンテナは、非常に長く、また音声周波数すべてに対して一様に応答することができないので、実用的ではない。(3) 仮に送信を低周波で行なえたとしても、すべての送信機が同じ周波数範囲で動作するので、受信機ではさまざまな送信機のプログラムが同時に聞こえることになる。これらの問題は、送信したい低周波信号に従って、振幅、周波数、位相を変化させた高周波を放射することによって回避できる。受信機では、受信した波の振幅、周波数、位相の変化を低周波電圧に再変換する。無線送信を可能にする変調と検波の過程は、真空管の応用の非常に重要な2つの領域である。

9-1 変調

時間的に変化する他の電圧、電流またはその他の量に従って、正弦波状に変化する電圧、電流またはその他の量の特性(通常、振幅、周波数、位相)を変化させる過程を、変調(modulation)という。搬送波(carrier)という用語は、特性が変化させられる量のことであり、変調信号(modulation, signal)は、それに従って変化が行なわれる量のことである。搬送波周波数(carrier frequency)は、変調されていない搬送波の周波数である。通常、変調信号周波数は、搬送波周波数よりもかなり低い。

人声および楽器の音には、同時に生成された数多くの周波数が含まれているため、変調信号の波形が正弦波であることはほとんどない。しかし、理論的な解析を簡単にするため、一般に、変調信号は正弦波であるという仮定をおく。その場合、複雑な変調波の2つ以上の成分による、変調の過程および被変調波からそれらの成分を再生する過程における、相互作用の影響も調査する必要がある。

変調の過程、および検波(detection) (9-10節) というより一般的な過程の一つの形態である元の変調信号周波数を復元する過程の両者において、印加された信号には存在しない周波数が生成される。真空管による変調と検波の過程の類似性は、特に振幅変調の場合に著しい。両者は、おもに回路に印加される周波数、およびある種のフィルタによって出力から選択される周波数が異なっている。

振幅変調電圧の生成と検波は、ある種の整流器(振幅が等しく符号が逆の電圧の変化に対して、電流の変化が等しくない素子)を使って、電氣的に行なわれる。整流は、一方の符号の電圧の変化に対して電流の変化が0であるとき、完全であるという。完全整流は、一方向のみ導通する素子によって得られる。そのような

素子は、完全整流器と呼ばれる。不完全(部分)整流は、整流器の電流-電圧特性の曲がりにより、または2つの方向に流れる電流に対する抵抗が異なることにより生じる。高真空二極管は、完全整流および不完全整流のいずれにも使用される素子の例である。整流器の特性の曲がりにより整流が行なわれるとき、通常、動作の範囲全体にわたって特性曲線は連続である。その場合、変調器または検波器の理論的な解析に、電圧に対する電流の級数展開を使うことができる。しかし、完全整流の場合のように動作点が特異点にあるとき、または動作の範囲が特異点を含むほど非常に広いときは、別の解析法を用いなければならない。この理由から、変調および検波を、特性の曲がりによるか、完全整流によるかによって分けて考えると都合がよい。

電極に交流電圧を加えることによりその電極の平均電流が変化する整流を単純整流 (simple rectification) といい、他の電極に交流電圧を加えることにより電極の平均電流が変化する整流を伝達整流 (transrectification) という。

9-2 振幅変調

振幅が A で正弦波状に変化する量 y と、角周波数 ω_k 、位相角 ϕ は、次の式で関係づけられる。

$$y = A \sin(\omega_k t + \phi) \quad (9-1)$$

振幅変調では位相角 ϕ は一定であり、位相角は、観測を始める時刻における搬送波の周期中の点によって決定されるので、 ϕ を0としても一般性を大きく失うことはない。

位相角を0とし、振幅が、次の式で表されるように、変調信号周波数 ω_m で $1+M$ から $1-M$ の範囲で正弦波状に変化すると仮定する。

$$A = K(1 + M \sin \omega_m t) \quad (9-2)$$

ここで、 K および M は定数であり、 ω_m は ω_k より小さい。すると、式(9-1)は、次のようになる。

$$y = K(1 + M \sin \omega_m t) \sin \omega_k t \quad (9-3)$$

式(9-3)は、さまざまな M の値について図9-1に示したように、周波数が一定で、振幅が、変調信号周波数で $1+M$ から $1-M$ の範囲で変化する波を表す。係数 M は、変調率 (modulation factor) または変調度 (degree of modulation) といい、搬送波が変調される大きさを決定する。 M が0のとき、図9-1の曲線 a で示されているように、搬送波は変調されておらず、その振幅は一定のままである。 M が0から1の間するとき、被変調波は図9-1の曲線 c のような形状になる。 M が1のとき、図9-1の曲線 d で示されているように、振幅は、0から非変調時の2倍まで変化し、変調が完全 (complete) であるという。

被変調波 c または d の包絡線の振幅と、それに従って変調が行なわれる変調信号 b の振幅との間には、直接的な関係がないことに注意せよ。ある振幅の変調励振に伴う変調度は、搬送波および変調励振の振幅に依存するだけでなく、搬送