

第6章

直流モータのPWM制御と回転計

PWM制御とは／モータの定速制御／モータ・ドライバ／
マイクロコンピュータによる制御／ITU利用のPWM／ITU利用の回転計

<概要>

コンピュータと制御機器などの接続対象との間をとりもつ部分を**インターフェース**(interface)と呼びます。international, intercontinentalなどの単語と同様, face(面)同士を接続するもので, 接続対象の種類だけインターフェースは存在します。ここでは小型直流モータの回転制御をするインターフェースを考えます。インターフェースの製作に際しては当然のことながら, 制御対象と制御装置双方の特質を理解してはなりません。

直流モータ(motor: 電動機)の速度制御に, 従前は直列の抵抗などを使って電流制御をしていました。しかし効率が悪い, つまり無駄にエネルギーを浪費することから, 現在はパルス幅変調(PWM)方式による駆動が主流になっています。我々が実験などに使う直流電源もスイッチング電源になっているのと同じ理由です。ACモータにおいても, SCR(Silicon Controlled Rectifier)を利用するなど効率化がはかられています。この章では, パルス幅変調の方式, H8マイクロコンピュータによる制御方法などを考察します。

6.1 PWM制御とは

PWM(Pulse Width Modulation)とは, 日本語では**パルス幅変調**といいます。つまり入力信号のレベルに応じて, パルスの幅を変えるという変調方式です。入力信号のレベルに応じた振幅に変調するAM(Amplitude Modulation)や, レベルに応じた周波数の違いに変調するFM(Frequency Modulation)などと同様, 入力信号を変調する方式の一種です。AMやFMは放送でもお馴染みの方式です。

PWMのイメージを図6.1に示します。ここで, 出力波形の周期と印加期間の比を**デューティ・レシオ**(duty ratio: デューティ比)などと呼びます。

6.1.1 直流モータの速度

モータというのは周知のとおり, 電気エネルギーを運動エネルギーに換える機械です。主には回転エネルギーですが, 最近では直接直線運動エネルギーに換えるリニア・モータ(Linear Motor)もあります。直流モータの回転速度は一般には与えたエネルギー, 主に電流に比例します。モータの回転速度を制御しようとする, 図6.2に示したような回路で, 与える電圧ないしは電流を制御することが必要になります。ここでは電流制御にトランジスタを例示しましたが, 古くは抵抗器なども利用されましたし, 現在では他の

6.1.3 誘導に対する保護

前述のようにモータは電気エネルギーを運動エネルギーに変換するものです。このエネルギーの変換には電磁気現象を利用します。必然的にコイル状の誘導性の負荷が必要ということになります。

ここで誘導性の負荷に対して、パルス状の電流を流そうとしても、その性格上、流させまいと、流れを断ち切ろうとしても流し続けようとする現象が発生します。いわゆる自己誘導であり、逆起電力です。力学における慣性のような動きです。逆起電力は供給していた電力を断ち切ったときに、電流をそのまま流し続けようとするエネルギーですから、**図6.4**に示した矢印の流れです。等価的に矢側をプラス(+)にした電池があることです。この電圧は、元々の電源と加算されて、電流を遮断した調整機に印加されることとなります。

この逆起電力は意外に大きく、コイルのインダクタンスにもよりますが、電源電圧の数倍になることもあります。この電圧により調整機のトランジスタなどを破壊することにも繋がります。そこで、同図に示したように、この逆起電力を流す方向にダイオードを挿入します。このダイオードにより、トランジスタにかかる電圧は電源電圧以上にはならず、調整機を保護することになります。半導体によって、リレーやソレノイドなど他の誘導性の負荷を駆動する際に必要な部品です。

さらにこのダイオードを付加することにより、コイルに発生した電力を、コイル、ダイオードの経路で流しきることになりますので、コイルの電磁力も持続するという効果もあります。つまり前述からのパルス状の電力を、スムーズな流れにするという効果も発生し、モータの動きはより滑らかになるということです。一般にこのダイオードは逆起電力防止の保護ダイオードと呼ばれますが、PWM方式においては、負荷電流をよりスムーズにするという働きもあります。このため、このダイオードをフライ・ホイール(flywheel：はずみ車)ダイオードと呼ぶこともあります。

6.1.4 回転方向制御とHブリッジ

モータは右回転、左回転と双方の回転が要求されます。直流モータにおいては、印加する電源の極性を反転することにより行うのが、機械的な切り替えもなく、簡便です。そのために通常**Hブリッジ**と呼ばれる回路が利用されます。**図6.5**にその例を示します。ここでは4個のトランジスタを使用しています。たとえば、トランジスタA₁とB₂をONにしたとすると、図ではモータに右向きの電流が流れます。いっぽうB₁とA₂をONにすれば、左向きの電流が流れることとなります。このように4個のトランジスタを対角線状にON-OFFすることによって、電流の向きが制御できます。ただし、A₁とA₂、あるいはB₁とB₂が同時にONとなることは、電源を短絡してしまうこととなりますので、絶対に避けなければなりません。防御の方法は後述しますが、この電流を**貫通電流**と呼びます。

6.1.5 Hブリッジによる制動

電動機(モータ)と発電機には可逆の性質があります。つまりモータは電気を運動エネルギーに、発電機は運動エネルギーを電気エネルギーに換える機器です。ここでモータが外部の力により、回転させられたとすると発電機の働きとなってしまいます。

発電機が発生したエネルギーがどこにも消費されなければ、つまり負荷がないときには、小さな力で動かすことができます。逆に負荷が加わると、つまり発生した電力を消費させると、大きな力が必要です。このことは自転車の前照燈発電機も電球が切れているときと、点灯しているときではペダルの重さがちが

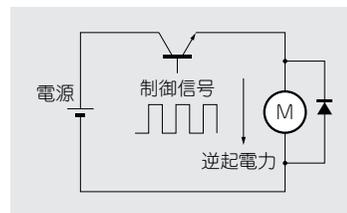


図6.4 逆起電力の抑止

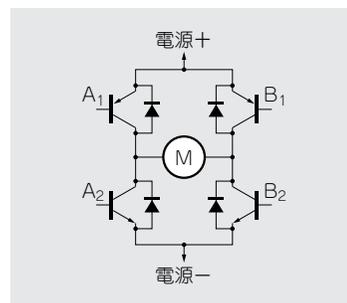


図6.5 Hブリッジの例

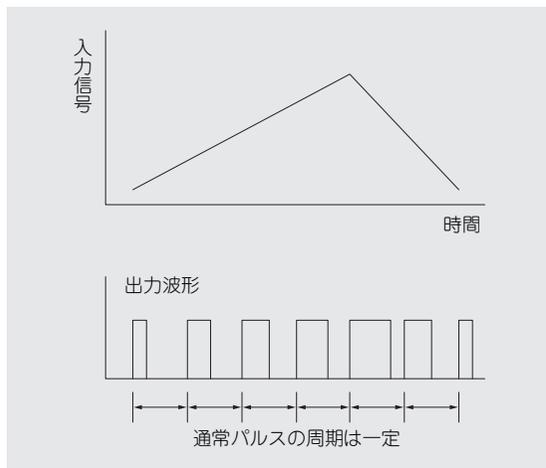


図6.1 PWM波形

半導体も利用されています。

モータに与えるエネルギーを調整しようとする
と、残りのエネルギーは調整機で負担しなければ
なりません。昔の地下鉄は暑くて乗ってられな
かったというエピソードは、現在では知る人も少
ないでしょうが、昔はこの調整に抵抗を利用し、抵抗器にその電力を熱として消費させていました。そしてこの熱がトンネル内にこもってしまったのです。

図6.2の例でもトランジスタで消費する電力は、

$$P = V_{ce} \times I_c$$

です。このように負荷に直列に挿入した調整機で電流などをリニアに(アナログ的に)制御する方式をリニア制御などと呼びますが、全体としては必ずしも効率的な方法ではありません。

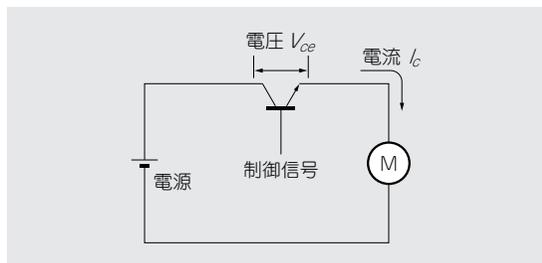


図6.2 制御部の消費電力

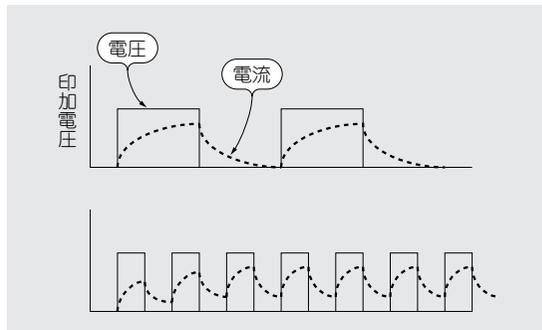


図6.3 印加電圧と電流波形

6.1.2 PWM制御にすると

モータに与える電圧をパルス状にしても、モータのもつインダクタンス(inductance：誘導)のために、電流は急激な断続波形にはならず、ある程度連続の流れになります。パルスの周期を短く(周波数を高く)すれば、なお顕著になります。図6.3に示すように、パルスの周期が長い場合には、流れる電流も断続的になります。しかし周期が短いと、脈流にはなるものの、途切れることはなくなります。そして与えられるエネルギーは、その平均値ということになります。しかも、調整機側での消費電力を考えると、負荷に電圧を与えているときには、トランジスタはONし、飽和状態となっています。つまり前述電力の式の V_{ce} がほぼゼロですから、その積である電力もほぼゼロになります。

一方、印加電圧を遮断しているときには I_c がゼロですから、ここでも消費電力はゼロになります。いずれの場合にも調整機側での電力の消費はゼロに近い状態ですから、電源から出力されたエネルギーの大部分はモータに与えられることとなります。そしてモータに流れる電流の平均値は、デューティ比に比例します。この意味では、調整機でのエネルギーの浪費が僅少で効率的な手法ということになります。

そして、調整機においても、浪費した電力による発熱が小さいことから、電流容量、電圧容量が耐えられれば、耐熱の面からは小型化できるということになります。ただしスイッチングには多少の時間がかかりますから、その途中で消費はありますので、周波数が高すぎると問題になることがあります。