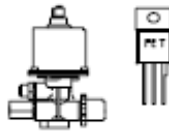


電磁ポンプ 制御の基礎



日本コントロール工業株式会社

駆動入力について

電磁ポンプは往復動ポンプの一種で、電磁コイルに、ダイオードにより交流電源を半波整流した電圧を印加させることにより、繰り返し電磁吸引力とバネの反動力によってピストンを上下運動させています。

図1には、ポンプ両端の電圧波形を示します。負側に発生しています電圧は、インダクタンスを含む負荷の電流を遮断した時、即ち電圧が零になった時に発生する逆起電力による逆起電圧です。この逆起電圧によるコイルに逆方向に流れる電流は、磁極を一方向にしか持たない圧力型電磁ポンプにおいては特に、ピストンのバネによる復帰に作用して、ピストンと磁極との磁氣的吸着を防いでいます。

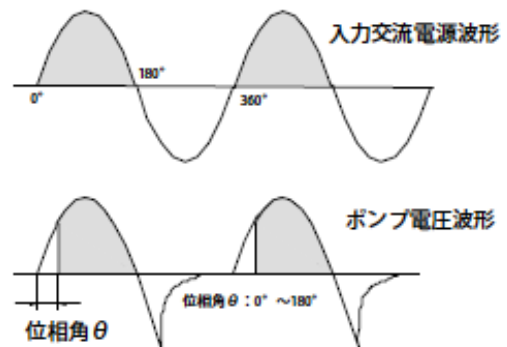
出力制御方式

ダイオードによる半波駆動に対して、吐出の圧力あるいは流量等を可変する場合には、制御用駆動回路を使用する必要があります。駆動方法には、交流電源をそのまま制御する位相制御と（AC制御）と、交流電源を整流平滑した直流電源を断続する直流パルス制御（DC制御）があります。

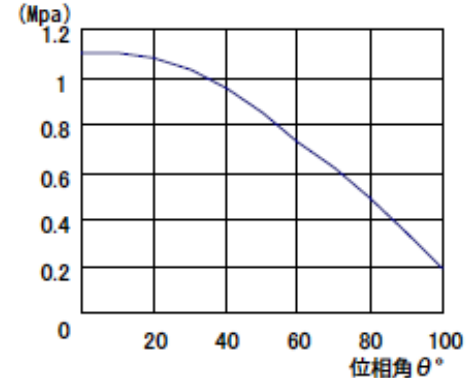
位相制御

図2には、位相制御の電圧波形を示します。図中の位相角（ θ° ）の大きさを可変することにより、電磁コイルに流れる電流を可変することになります。図3には、位相角と圧力型電磁ポンプの吐出圧力との関係の一例を示します。図4は、トリガー用に PUT を使用した回路例です。なお位相制御方式は、電圧変動による吐出圧力または流量の変動が大きいため、回路的に対策が必要となります。

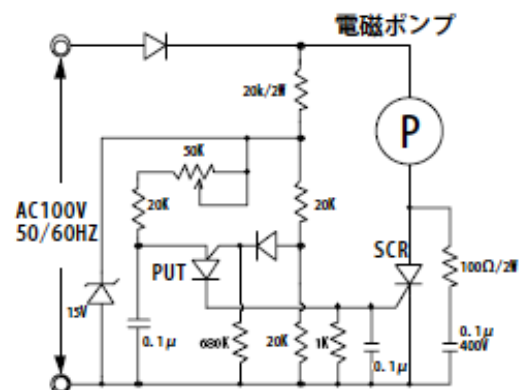
<図 2> 交流電源の位相制御の回路例



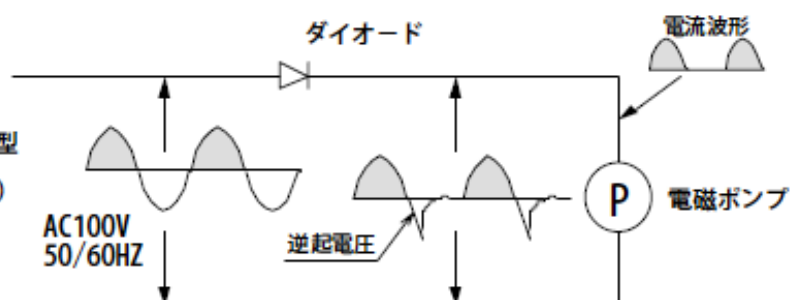
吐出圧力 <図 3> 位相角 - 吐出圧力特性



<図4> 位相制御の回路例



<図1> 交流電源による圧力型電磁ポンプの駆動 (各波形は電圧波形)



直流電源による方形パルス制御

直流電圧を断続通電して得られる方形パルスを印加して制御する方法は、電磁ポンプの吐出圧力、流量を制御するのに適しています。制御には、パルス周波数を固定してパルス通電時間を可変する PWM方式と (Pulse Width Modulation)、パルス通電時間を固定してパルス周波数を可変制御する PFM方式 (Pulse Frequency Modulation) との二通りがあります。圧力型の電磁ポンプの場合は、広い範囲で周波数を変化させるとノズルからの噴霧状態に不具合が生じる場合がありますが、図5に各制御特性を簡単に表します。尚、ダイヤフラムポンプは、流量型ポンプに準じます。

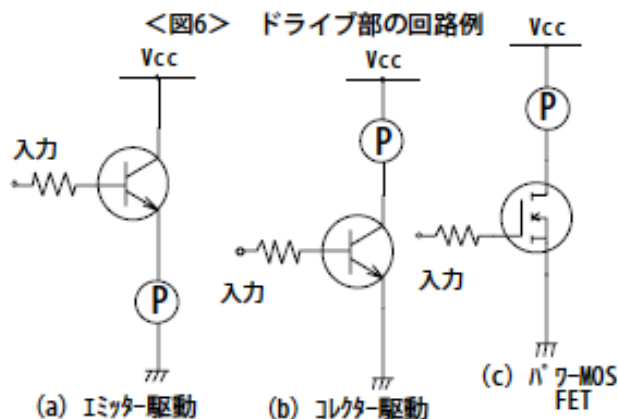
<図 5> 各制御性の比較

ポンプ種 制御方式	圧力型ポンプ	流量型ポンプ
位相制御	良好だが電源電圧変動の影響大	良好だが電源電圧変動の影響大
PWM制御	比較的良好	比較的良好
PFM制御	ノズルとの整合性悪し	比較的良好

駆動方法

図6は、電磁ポンプの駆動部の回路例をいくつか示したものです。(a)は、パワートランジスタのエミッターに電磁ポンプを接続したのですが、トランジスタを十分飽和させるという点では不利な回路例です。

図6(b)はこれに対して、ポンプをコレクター側に接続したもので、ドライブ能力が高く、制御利得も大きくなります。一般的にはこちらのコレクター駆動で行われます。図6(c)はパワ-MOSFETを使用した回路例であります。基本的に(b)と同じです。



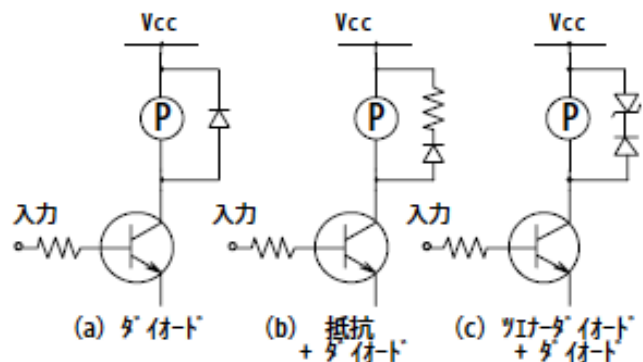
逆起電圧

電磁ポンプのコイルのような、インダクタンスを含む負荷に流れている電流を断続すると、コイル両端には、電流遮断時にコイル両端にそれまで加わっていた電圧と反対方向に数倍もの電圧、所謂、逆起電圧が発生する現象が現れます。

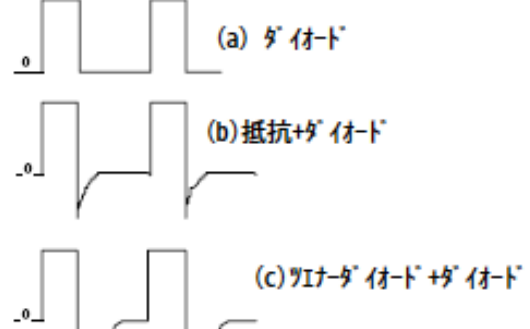
この逆起電圧は、ドライブ用パワートランジスタの耐圧を一瞬にして超えて、トランジスタを破壊させるため、通常図7(a)のようにダイオードを接続して、逆起電力による電流をポンプに還流させて保護する方法が広く行われております。この方法は、回路電流の減衰が遅く、ピストンの復帰時間が遅くなり、特に圧力型ポンプでは、前述の交流制御と同様に、ピストンの吸着という問題と同時に、出力低下という現象が現れてきます。この場合のコレクター側から見たコイル両端の電圧波形は図8(a)になります。

図7(b)は抵抗を直列に追加接続した方法で、コイル両端の電圧波形は図8(b)のようになります。発生した逆起電圧による電流をコイル側に分流して、オフ時の電流の減衰を、ダイオードだけを用いる図7(a)よりも改善させております。この時の電流波形を図9の(a)、(b)に示します。

<図7> 逆起電圧の対応方法



<図8> ポンプ両端の駆動電圧波形



<図9> コイルを流れる電流波形
(負荷コイル直流抵抗=65Ω)

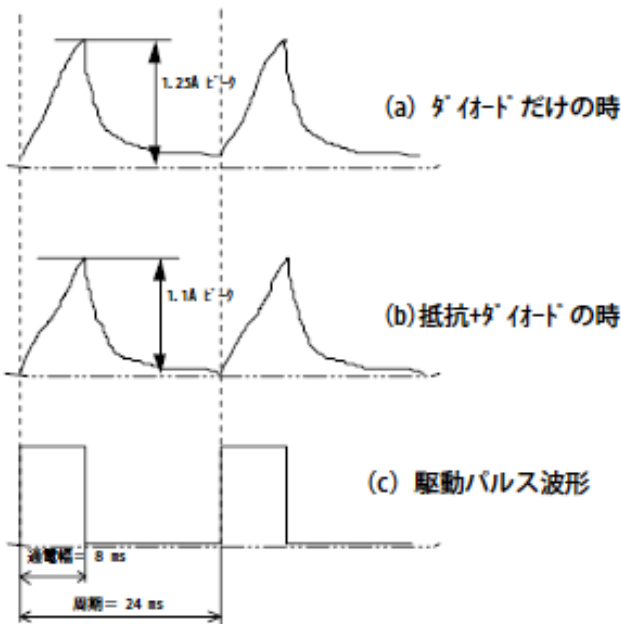
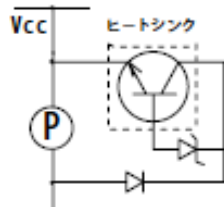


図7(c)は、ダイオードとツェナーダイオードを組み合わせたものです。これはコイル電流の減衰が比較的早く、(b)の抵抗を用いる方法と比較すると、駆動電流の変化による逆起電圧値がほぼ一定なので、広い範囲の制御にも適しています。しかしながら、ツェナーダイオードの発熱が極めて高いため、実際の回路は図10のように、ヒートシンク付のパワートランジスタを使用します。図11は以上の比較表です。

<図10> ツェナーダイオードの
パワーアップ化



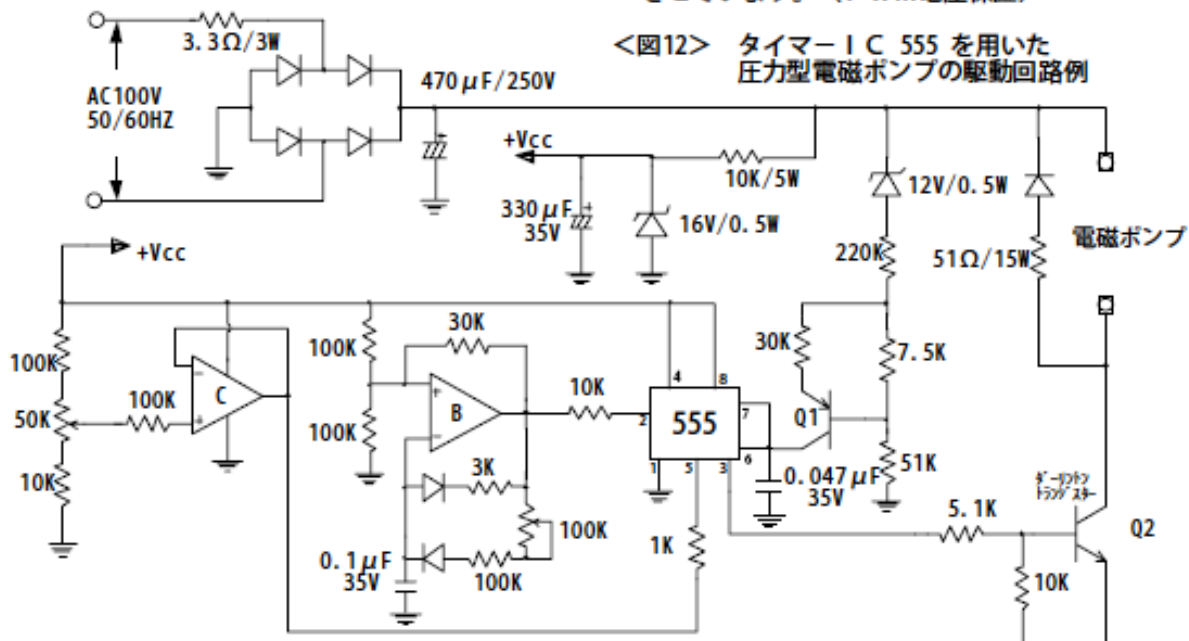
<図11> 最適な逆起電圧対策の比較

ポンプ種 逆起吸収	圧力型ポンプ	流量型ポンプ
	ピストンが磁氣的ロックを引き起し作動不良が発生する事あり	通常用いられる
	比較的ピストンの磁氣ロック発生無し	特性及び性能上大きな差異無し 通常用いない
	比較的ピストンの磁氣ロック発生無し	特性及び性能上大きな差異無し 通常用いない

圧力型電磁ポンプの回路例

図12はタイマーICを用いた、圧力型電磁ポンプの駆動回路の一例です。電源入力には、突入電流抑制用の抵抗を入れる必要があります。負荷である電磁ポンプのコイル直流抵抗は、50Ω前後で、ドライブ用トランジスタには、十分な電流増幅率を得るためにダリントンを使用します。図中の回路定数で、駆動周波数 30 Hz から 60 Hz、駆動パルス幅 2 ms から 10 ms 前後の可変範囲を得られます。図中の直流駆動電源に接続されている、抵抗 220K とツェナーダイオード 12V/0.5W は、入力交流電圧変動に対する、直流電圧の変化による、電磁ポンプ吐出量の増減割合を低減させるために、トランジスタ-Q1からのコンデンサーへの充電電流を可変させて、駆動パルス通電幅を増減させています。(PWM電圧保証)

<図12> タイマーIC 555を用いた
圧力型電磁ポンプの駆動回路例



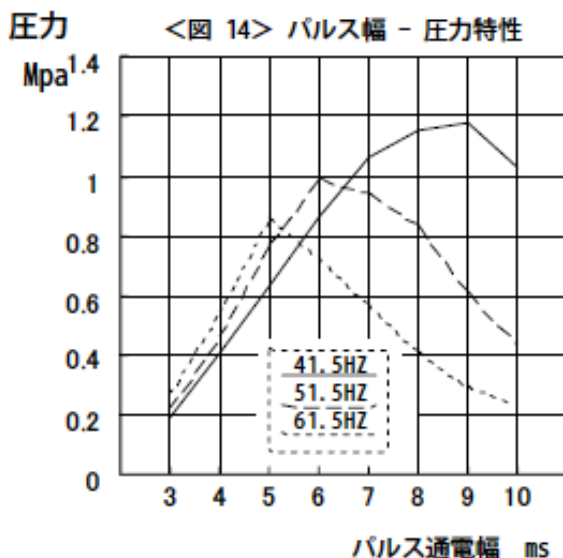
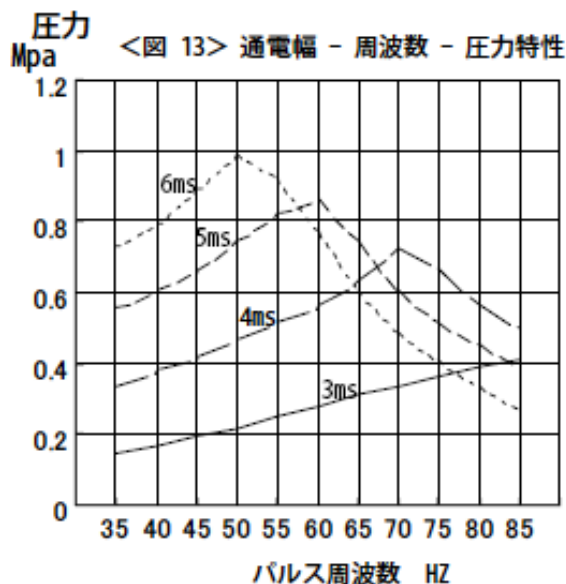
圧力型電磁ポンプの特性例

図13及び図14には、図12に示すような回路を用いた時の圧力型電磁ポンプの特性例を示します。パルス幅を固定して周波数を可変した場合、0.8Mpa以上の圧力を得るために、通電幅を5ms以上にした際の周波数が60HZ以上の領域では急激に圧力が低下してくるのが解かります。通常、弊社の圧力型電磁ポンプの駆動周波数は、41.5HZ前後を使用しており、周波数が、50HZ、60HZ、25HZ、30HZ、あるいは40HZといった周波数は、電源リップルの影響を受けて、圧力振れを発生しますので通常は使用いたしません。図14には各周波数における、通電幅と圧力の関係例を示します。

パルス通電幅に対する圧力の変化は、通電幅を上昇させて行きプランジャーピストンが磁的に飽和する領域にはいりますと、磁極がプランジャーを引きつける力が弱まり、ピーク位置から急激に圧力低下します。通電時間幅と周波数との比、即ちデューティ比は、コイルの巻線仕様によっても異なりますが、通常は50%以内であります。

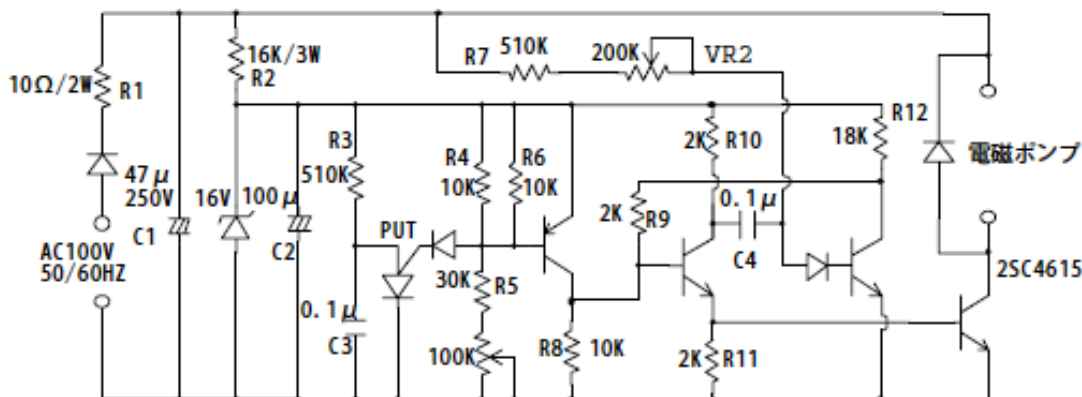
流量型電磁ポンプの回路例

図15には、汎用部品を用いた流量型電磁ポンプの回路例を示します。PUTによるトリガーパルス発信回路部と、トランジスターで構成された、ワンショットマルチ回路部及び、電源部より構成されています。図16は、同じく汎用部品を使用した、駆動部がコンパレータを利用した回路例です。圧力型と流量型ポンプの駆動回路は、電源部とドライブ部の電気的容量が異なるだけで、基本的には同じ回路構成です。

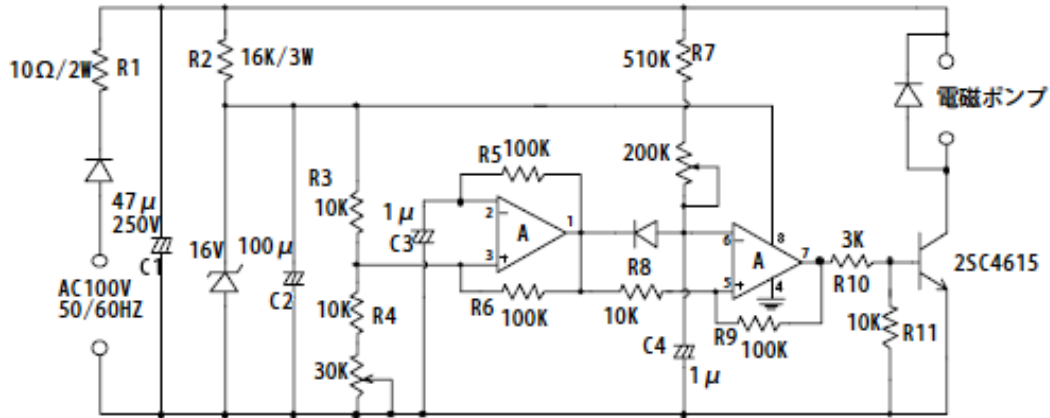


圧力型と流量型各ポンプの制御的に大きく異なる点では、圧力型ポンプの場合は周波数が固定ですが、流量型ポンプの場合は、周波数並びにデューティ比両方とも可変制御するという事です。

<図 15>ワンショットマルチ式流量型電磁ポンプ用駆動回路例



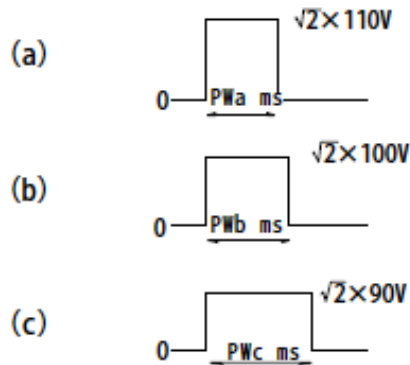
<図 16>コンパレータ式流量型電磁ポンプの駆動回路例



直流矩形パルス駆動において、電源電圧の変動は、そのまま矩形電圧の波高値でありますから、これを補正する必要があります。補正には電源電圧の変化によって、パルス幅を変化させるというPWM電圧補正が多用されます。この関係を図17に示します。図中の通電幅は、 $PW_a < PW_b < PW_c$ です。

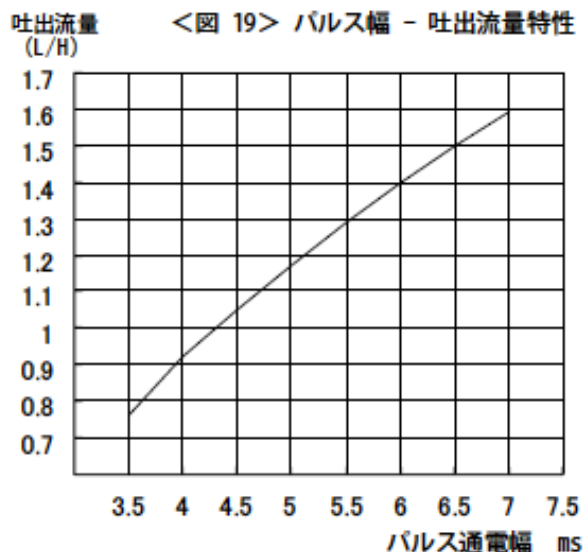
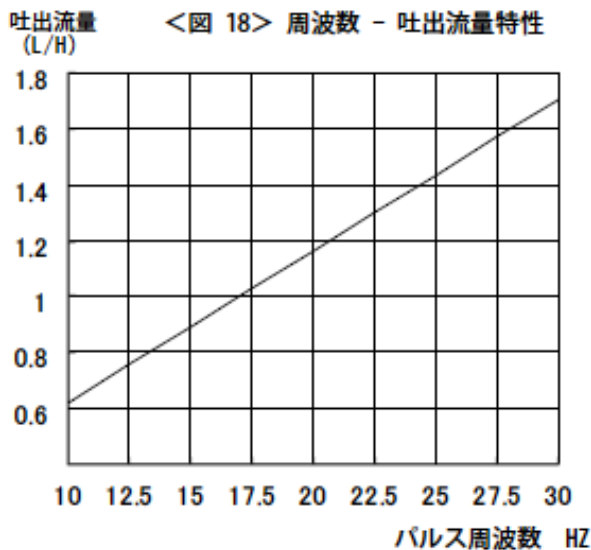
具体的には、図15の回路例では、電源電圧が上昇すると、R7及びVR2を介してC4を充電する電流が増加して、通電幅を決定するコンデンサーC4の充電時間、即ち通電幅が短くなり、電圧減少時にはその反対の動作を行います。同様に図16の回路例も同じ動作を致します。

<図 17> PWM電圧保証 (コイルの電圧波形)



流量型電磁ポンプの特性例

図18及び図19には、流量型電磁ポンプの特性例を示します。図18はパルス幅を固定して、周波数を可変した場合の流量特性です。一般的に流量型のポンプは周波数特性が良好で、40HZ程度までは、ほぼ周波数比と流量比は一致します。図19は周波数を20HZに固定して、通電幅を可変した場合の流量特性です。



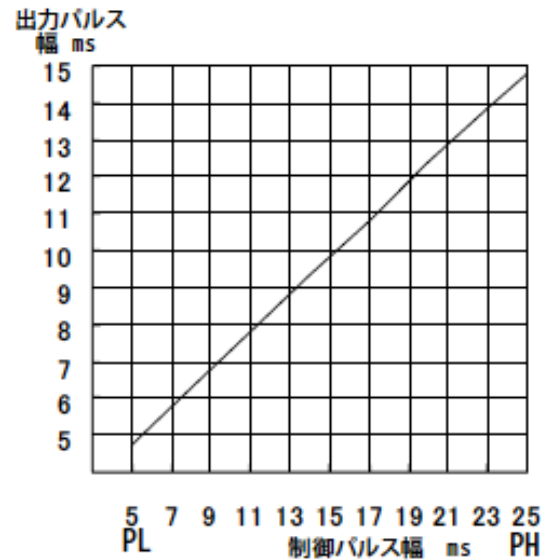
制御信号によるPWMリニア制御

駆動回路のドライブ出力パルスを、外部の制御信号を可変することで変化させて、電磁ポンプの出力をリニア的に可変制御しようという場合の参考回路例を、図19に示します。この回路例は、駆動回路の制御入力に、周波数固定でパルス幅を可変させる制御パルスを入力させています。回路例では、周波数 40Hz でパルス幅を 5ms から 25ms の間で、変化させて電磁ポンプの吐出流量をほぼ直線的に制御しております。図20に駆動通電幅が直線的に変化する様子を示します。

フォトカプラP.Cを介してトランジスタQ1のコレクターに表れるパルスをボルテージフォロワーA1、A7に接続します。A1の出力は、CRの平滑回路で直流電圧に変換され、この直流電圧は入力制御パルスに比例しており、A2により適当な電圧V1に増幅された後は、A3からA6までの減算回路の入力となります。

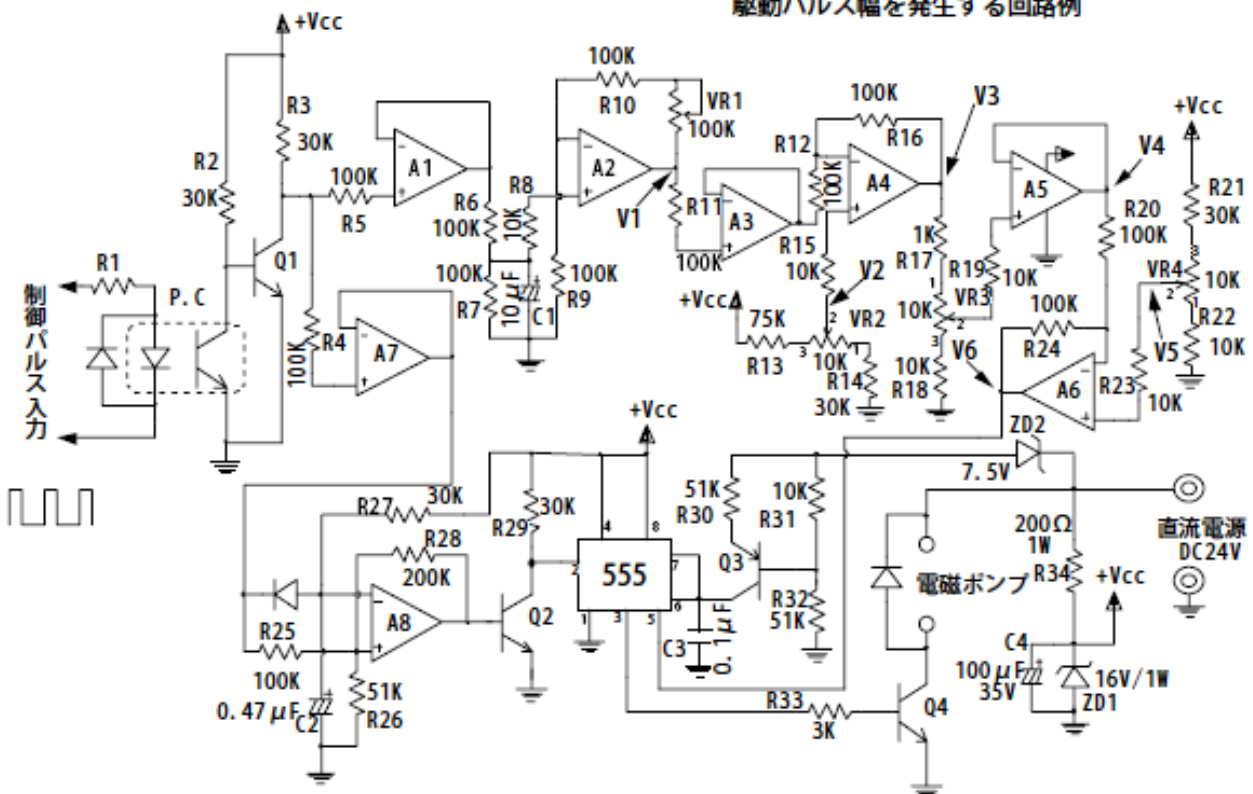
A4は減算回路で、その出力電圧をV3、反転入力電圧をV-、非反転入力電圧をV+としますと、いま $V- = V1$ $V+ = V2$ ですから、 $V3 = V2(1+R16/R12) - V1(R16/R12)$ の関係が成り立ちます。R16=R12=100Kですから、この

<図 20>入力制御パルス幅に比例した出力駆動パルス幅



式は、 $V3 = 2 \times V2 - V1$ となります。即ち、VR2で設定されますV2 を V1の1/2にすることにより、A4の出力電圧を0にできるわけであります。V1は制御パルスのパルス幅により増減しますので、制御パルスの最大値をPHとした時のV1 を V1H とし、制御パルスの最小値をPLとした時のV1 をV1L とします。

<図 19>入力制御パルス幅に比例した出力駆動パルス幅を発生する回路例



制御パルス入力が PH である時の V1 を VR1 により V1H に調節した後 VR2 により V2 を V1H/2 に設定します。この時、V3 の電圧は 0 になりますから、もう一つの減算器であります A6 の反転入力には 0 が入力され、A6 の出力電圧 V6 は、VR3 の影響無しに VR4 だけによって決められることになります。

制御入力パルスが PL の時の V3 は、前述の式による電圧 $V3 = 2 \times V2 - V1$ が現れ、VR3 により分圧されてから減算器 A6 の反転入力になります。非反転入力には前に VR4 により分圧設定された電圧が入力されています。

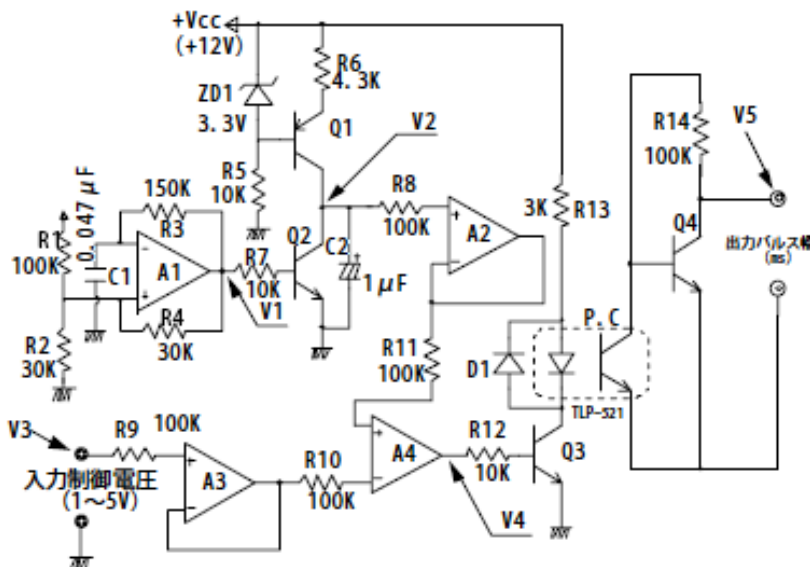
ここで、入力制御パルスを PL から PH まで連続変化させた場合、V6 の値は 図21のように変化します。制御パルスが PH 以上になった時には、V3 が 0 になるので V6 は飽和します。

A6 の出力電圧 V6 はタイマー IC の遅延時間を決める制御電圧端子 (5pin) に接続されており、この電圧と、コンデンサー C3 が接続しています。6、7pin の電位が交錯した時間がタイマー IC の出力パルス幅、即ち駆動パルス幅となります。トランジスタ Q3 は、コンデンサー C3 を定電流充電しており、その電圧波形は直線充電カーブを有する三角波なので、出力パルス幅の変化は、V6 の電圧に対して比例します。

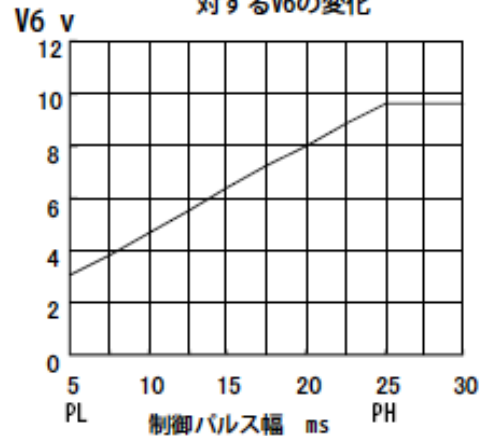
直流電圧による PWM リニア制御

交流電源ラインから、直接整流平滑した直流電圧を駆動電源として、外部からの制御信号で

<図 22> 汎用部品を使用した入力直流電圧に比例したパルス発生する回路例



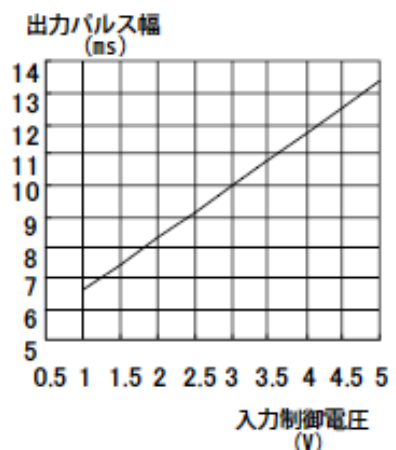
<図 21> 入力制御パルスに対する V6 の変化



電磁ポンプを制御する場合には、信号側とメイン回路との絶縁をとる必要があります。信号がパルスである場合には、前述のような回路例が用いられますが、直流電圧を制御信号とする際には、アナログ用のフォトカプラーを用いて、信号の非直線性を補正するために、出力側に同じ特性のカプラーを帰還回路内に入れる回路例等が考えられますが、ここでは汎用部品を用いた比較的簡単な、直線性の良い回路例を図22に示し、1V から 5V の直流制御電圧に対する出力パルスの特性を図23に示します。

オペアンプ A1 は、図24(a) に示す矩形パルスが発生させ、出力がゼロになっている間、トランジスタ Q1 によりコンデンサー C2 へ定電流充電することから、図24(b) のような三角波 V2 が得られます。

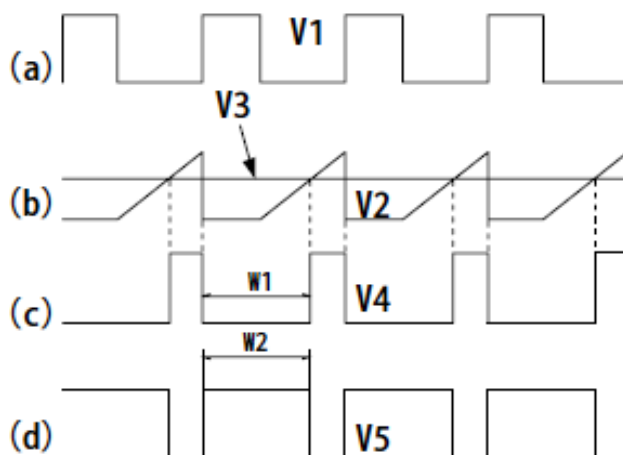
<図 23> 入力制御電圧に対するパルス出力



A4 はコンパレータであり、非反転側には、三角波 V2を入力して、反転側にはボルテージフォロワー A1を介して、1V から 5V の直流電圧を入力させます。その結果 A4 の出力には 図24(c) に示す矩形パルス V4 が得られます。V4 のオフ時間 W1は、図24 から理解されるように、入力制御電圧に比例します。次に V4 のパルスはフォトカプラーを介して、トランジスター Q4 のコレクターに、直流制御電圧 V3 に比例するオン時間を有する矩形パルス V5 を発生させます。この関係は図23に示しています。

図25は AC100V 入力で、外部直流制御電圧で圧力型電磁ポンプをコントロールしようとする回路例です。

<図 24> 各部の電圧波形



<図 25> 制御電圧によるPWM制御

