

ホイスト用 PA 形多重信号遠隔制御装置

Type PA Multiplex Signal Equipment for Remote Control of Hoist

小野瀬 章 夫* 鈴木 徳 昭*
Akio Onose Noriaki Suzuki

猪瀬 文 之** 烏 野 武***
Fumiyuki Inose Takeshi Uno

要 旨

ホイストの遠隔操作や、自動操作は、従来一つの操作信号に対し1本の信号用トロリ線を架設する必要があった。したがってトロリ線は7本から15本になるが、このことは工事費の増加や、コレクタのトロリ線からの脱線を招きがちであった。これを解決するため1本のトロリ線で多数の信号を送ることのできる PA 形多重信号遠隔制御装置を開発した。信号の多重化の方式は、パルス波と半波による4重化で、外部雑音に強い電流方式によるものである。

1. 緒 言

荷役作業におけるホイストの一般的な使用法は、操作者が常にホイストに随伴し操作する床上操作であるが、最近作業の能率化から操作者が常に随伴する必要のない遠隔操作や自動操作のホイストが利用される傾向が多くなってきた。自動操作の場合、種々の運行指令をホイストに伝達し、また逆にホイストから信号を主制御盤へ伝達する必要のあることから、当然ホイストと制御盤の間を往復する信号用トロリ線が多くなる。このことは単にトロリ線の工事費の増加をもたらすばかりでなく、コレクタがトロリ線から脱線しやすくなるなどの欠点を生む。上記の点に関し、信号用トロリ線を減少するため PA 形多重信号遠隔制御装置を開発した。

本装置は有線による4重信号伝送装置であり、PA-1F形送信器は、シリコンパルス素子とシリコン交流制御素子の組合せによりパルス（以下P信号と称する）信号を、ダイオードにより半波（以下A信号と称する）信号を発信させる方式のものである。受信器はダイオードおよびツェナダイオードなどにより信号を分離し、トランジスタを介してリレーを動作させる方式のものである。以下本装置について述べる。

2. 開 発 方 針

2.1 従 来 の 方 式

遠方操作7線式ホイストの例を図2に示す。トロリ線は電力線

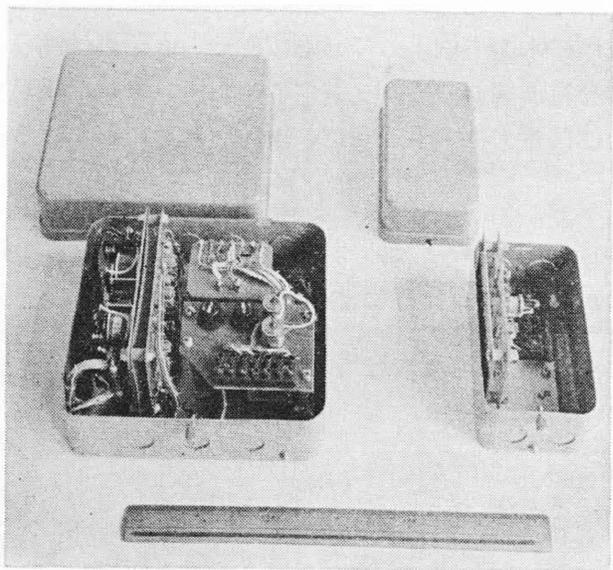


図1 PA-3R 受信器と PA-1F 送信器

(動力線)3線のほか、制御器（押ボタンスイッチ）からの信号、上、下、左、右の4信号に対し4線、計7線である。自動ホイストの場合には信号線がさらに増して7本から15本の信号用トロリ線が用いられる。本研究は信号の多重化を図りこれら信号用トロリ線を減らすことを目的とするものである。

2.2 ホイストの電気的環境条件

ホイストは作業の安全に関係する機械であるから、操作の確実性は重要である。研究に先立ちホイストの環境を検討した。ホイストの多重信号遠隔制御方式を構成するにあたり留意すべき点として次のようなものがあげられる。

(1) 信号回線の雑音

ホイストの制御信号用トロリ線は電力用トロリ線と平行して張られ、かつ帰線を電力線と共用にすると、電力線の自己および相互インピーダンス電圧降下により信号線に商用周波数の雑音が発生する。一般にトロリ線のインピーダンスはIビーム、ホイスト本体、その他の影響を受けるので複雑であるが、トロリ線に誘起される起電力 e_N は概略(1)式で示される。

$$e_N \approx R \cdot i_1 + \frac{\mu_0 l}{2\pi} \left(\frac{1}{2} + \log_e \frac{d_1}{r} \right) \frac{di_1}{dt} \dots\dots\dots (1)$$

- ここに、 R : トロリ線の抵抗 (Ω)
- i_1 : トロリ線に流れる電流 (A)
- μ_0 : 空気中の誘磁率
- l : トロリ線の全長 (m)
- d_1 : トロリ線の間隔 (m)
- r : トロリ線の半径 (m)

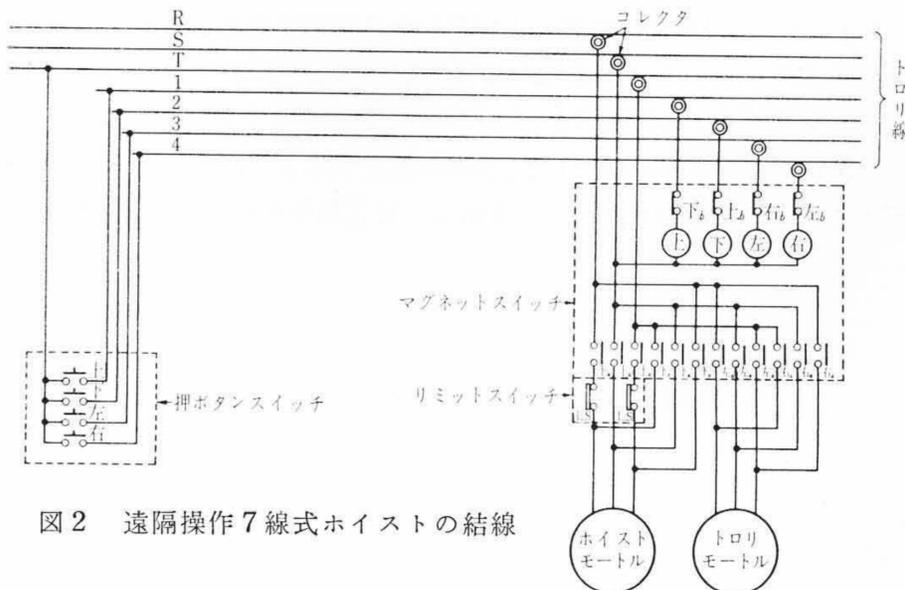


図2 遠隔操作7線式ホイストの結線

* 日立製作所多賀工場
** 日立製作所中央研究所 工学博士
*** 日立製作所中央研究所

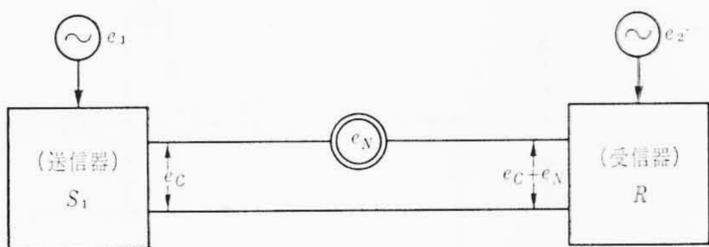


図3 電圧方式

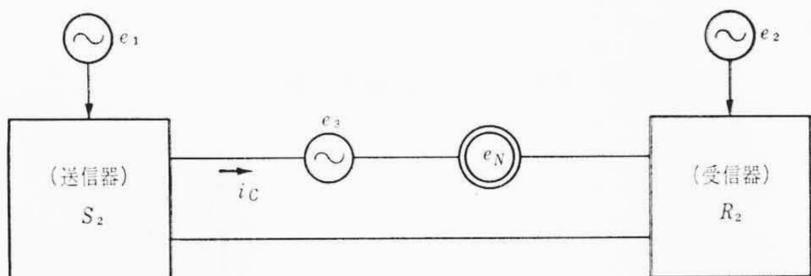


図4 電流方式

ホイストモータの起動電流は約 150A であるのでこの雑音電圧は数ボルトになることがある。

また、一般にホイストは電磁スイッチで ON-OFF 制御されるが、これらの電磁スイッチの断続に伴いホイストモータの回路、電磁スイッチの回路などのエネルギーが急激に変化し、これがトロリ線、ケーブル、機器などの L-C 回路をトリガし、高周波雑音が発生する。また、断続アークを伴うときは、その負性抵抗特性により高周波発振回路が形成される。測定によると高周波雑音の最大値は百数十ボルトである。高周波雑音の低減対策として 0.1 μF のコンデンサを並列に接続すると数ボルト以下となる。

(2) 振動, 衝撃

ホイスト積載の制御装置に電子部品が使われると、電子部品ははんだによる取付けが多いので振動や衝撃に対する考慮が必要である。

(3) コレクタの脱線およびジャンプ

これはホイスト特有のものであって、ホイストが走行中にコレクタが脱線することがある。また、コレクタはトロリ線から短時間 (10~100 ms) ジャンプすることがしばしばある。このときホイストあるいはトロリのモータは当然停止するが、制御系もまた安全に動作し、かつ、制御装置自体も保護されなければならない。

多重信号遠隔制御装置により、コレクタが少なくなりコレクタの脱線事故は少なくなるが、コレクタのジャンプは変わらない。

コレクタのジャンプは、コレクタとトロリ線間の電路の断続、抵抗の変化となり、信号の変調あるいは信号の減衰となる。

コレクタとトロリ線の接触状態は、ホイストの使用ひん度が高い所ではトロリ線がみがかれた状態となり接触は良好であるが、あまり使用されない所や、酸性ガスが発生している所ではトロリ線に緑青が出たりして非常に導電性が悪くなっている。

2.3 信号の形式

ホイストの電気的環境条件は、前述のようになりに悪いものであるからこれに十分耐え得るものでなければならない。

信号の伝達方式には有線式と無線式が考えられるが、無線式は、伝達エネルギーが小さく、信号の増幅装置が大きくなることや、外部雑音電波の影響を受けやすい欠点がある。有線式は信号線を必要とするが、伝達エネルギーを大きくすることができ、外部雑音の影響を受けないので確実である。PA 形多重信号遠隔制御装置は確実な信号伝達をする有線式である。

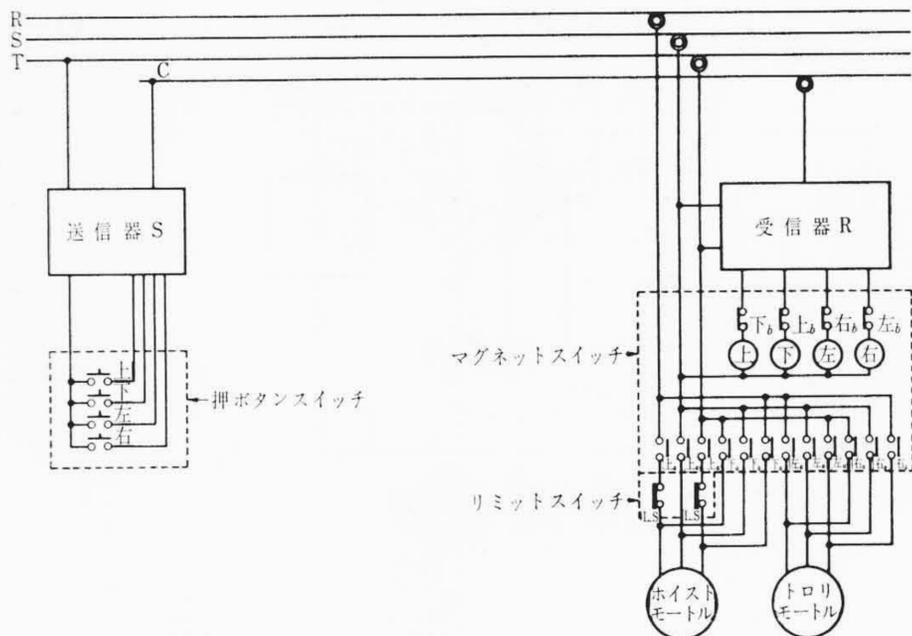


図5 PA 形多重信号遠隔制御装置による遠隔操作ホイストの結線

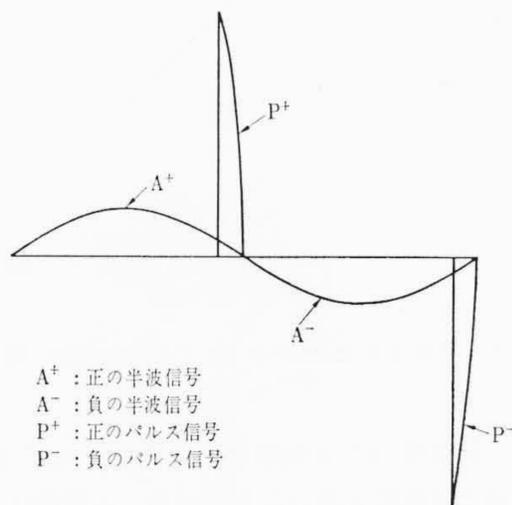


図6 PA 方式の信号波形

有線式では、信号が電圧であるものと、電流であるものがある。電圧方式は図3のように構成され、送信器 S1 の出力は電圧である。また受信器 R1 にはいる信号は S1 の出力電圧 eC に雑音電圧 eN の加わったものである。電力用コレクタ離脱時の eN は電源電圧と同程度であり、これに対し S/N 比のよい信号を用いることは容易ではない。なお R の電源 e2 は補助的なものである。

電流方式は図4に示すように構成され、送信器 S2 の出力は電源 e3 による電流 iC であり、電流信号により受信器 R2 が動作する。この方式では電力用コレクタが離脱すると信号回路も開路するので、電圧方式におけるような雑音効果はない。そして実際的な効果をもつ eN は十分小さいので、大きな S/N 比を得ることができる。このような理由から PA 多重信号遠隔制御装置には電流方式を採用した。

3. PA 形多重信号遠隔制御装置

PA 形多重信号遠隔制御装置の信号形式を以下 PA 方式と呼ぶ。PA 方式の原理は図5に示すように、送信器 S、受信器 R が直列に接続され、T-S 相間の電源波形が送信器 S が変形されて受信器 R への信号電流となるものである。

いまホイストの四つの操作 (上, 下, 左, 右) に対応して、図6の A+ で示した波形を第1操作, A- 波形を第2の操作, P+ 波形を第3の操作, P- 波形を第4の操作と対応させる。

PA 方式の送信器は上記の電流信号を各操作別に分離して出し、受信器では逆に上記電流信号を各操作別に分離して、それと対応するリレーを駆動させホイストを操作させるものである。

図6に示した信号波形は、以下の説明でわかるように容易に分離できる。電源が交流単相であるので正と負の信号はダイオードによ

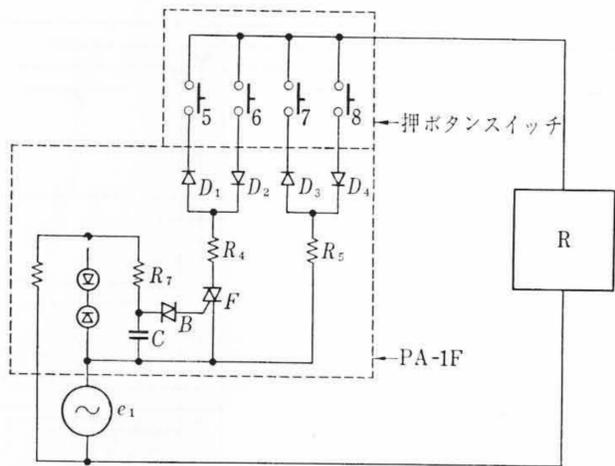


図7 PA-1F送信器回路 (原理図)

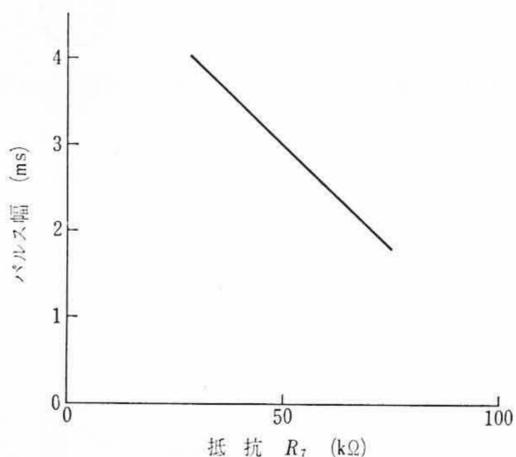


図8 PA-1FにおけるR7とパルス幅の関係

り分離される。P信号(P⁺またはP⁻)とA信号(A⁺またはA⁻)の分離は、P信号は波高値が高いことにより、A信号は通電時間が長いことにより分離される。

3.1 PA-1F送信器

PA-1F送信器は、サイリスタによってパルスが発生しているものである。図7のPA-1F回路において、e₁は電源電圧、Rは受信器、R₄、R₅、R₆、R₇は抵抗器、Cはコンデンサ、D₁~D₄はダイオード、Bはシリコンパルス素子(BIAC)、Fはシリコン交流制御素子(FLS)である。5と6はP信号発生用の押ボタンスイッチである。

BIACはベース開放のnpnトランジスタで負性抵抗を有するダイオード特性であるので、Cのチャージ電圧が上がっていくとブレイクオーバーする。ブレイクオーバーするとFLSにゲート点弧信号を与えパルスが発生させる。パルス幅はCのチャージ時間を加減することにより行なわれる。つまりR₇の抵抗を大きくするとCのチャージ時間は長くなりパルス幅はせまくなる。またパルスのサイクルは電源周波数で行なわれる。図8はR₇とパルス幅の関係を示したものである。

3.2 PA-3R受信器

図9のPA-3R受信器の基本回路において、Ⓢは電力用トロリ線のS相に、ⓐは信号用トロリ線Cに接続されている(図5参照)。したがって信号はⓐ-Ⓢ回路により伝送される。

ⓐよりはいった信号の正と負の信号分離はダイオードD₁、D₂(P信号回路)とD₃、D₄(A信号回路)によって行なわれる。

送信器の出力は電流であるから受信器端ではこれをR₁、R₂、R₃、R₄にして電圧に変換する。P信号はA信号より波高値が高いのでA信号をマスクする電圧不感帯たとえばツェナーダイオードD_zを通せばその出力はP信号のみとなる。P信号はⓐ-Ⓢ間に電圧を発生する。ⓐが負でありかつD_zのツェナー電圧より高いときはⓈ→R₄→R₃→C₂→D₁→D_z→ⓐと電流が流れ、コンデンサC₂を充

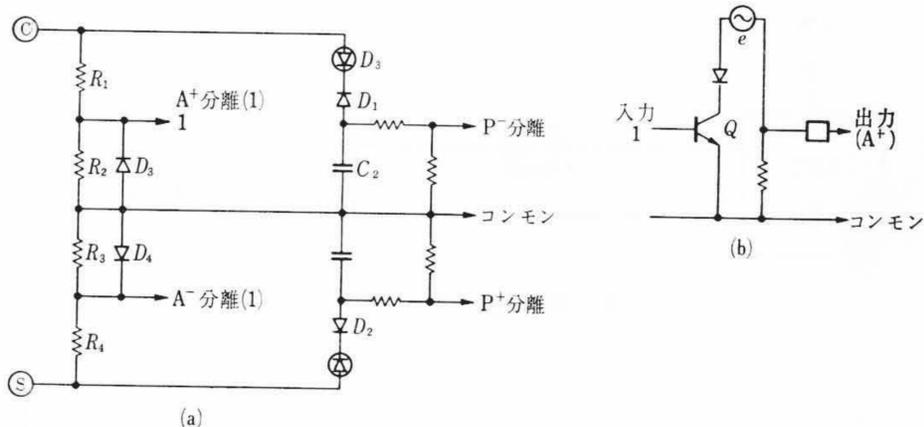


図9 PA-3R受信器基本回路

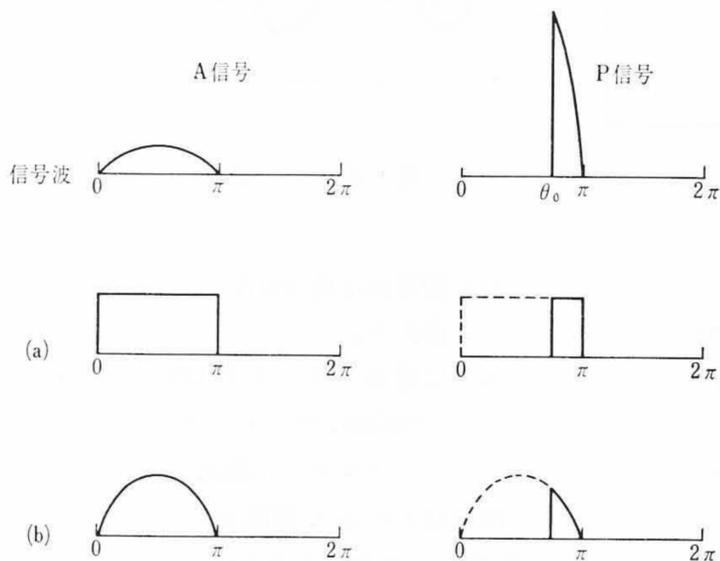


図10 直流励振と半波励振

電して、この端子電圧がP信号出力となる。これをトランジスタを介し増幅しリレーを駆動させる。P信号の符号弁別はD₁、D₂により行なわれる。A信号受信回路は、ⓐに正のA信号(A⁺信号)がかかると、ⓐ→R₁→R₂→D₃→R₄→Ⓢと電流が流れ、R₂の電圧降下による端子電圧がA信号(A⁺信号)の出力となる(D₄は短絡なのでR₃の電圧降下はない)。A信号の符号弁別はD₃、D₄により行なわれる。回路より明らかなように、A分離(1)のところではAおよびP信号の両方で出力が出るので、その弁別が必要である。A信号とP信号では通電時間の差があるのでこれを図9(b)により弁別される。この弁別動作を図10によって説明すると、A信号は長さπだけ持続するのに対し、P信号は(π-θ₀)だけしか持続しない。この差を直流電圧の大小に変換すると(a)で示されるようになる。この直流出力電圧の高さをVとすれば、A信号による直流出力は

$$V_A = \frac{\pi V}{2\pi}$$

P信号による直流出力は

$$V_P = \frac{V(\pi - \theta_0)}{2\pi}$$

である。V_PとV_Aの比で弁別比を定義すれば、弁別比γは

$$\gamma = \frac{\pi}{\pi - \theta_0}$$

である。以上からP信号の導通角が小さいほどγは大きくなり受信回路が楽になる。そこで、弁別回路への供給電圧を直流とするより適当な波形の交流とするほうが弁別比が向上する。

いま、供給電圧を

$$V_s = \begin{cases} V_s \sin \theta & (0 \leq \theta \leq \pi) \\ 0 & (\pi \leq \theta \leq 2\pi) \end{cases}$$

なる半波電圧とすると、A信号に対しては0からπまでonであるから、出力電圧の平均値は

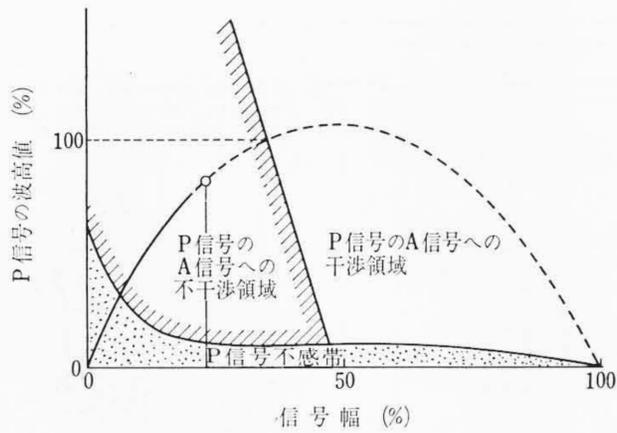


図11 P信号のA信号への干涉

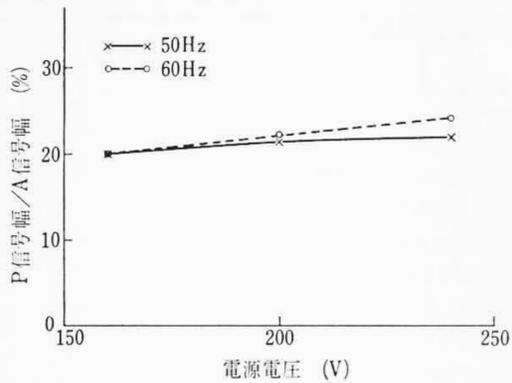


図12 電圧変動によるP信号幅の変化

$$V_A = \frac{1}{2\pi} \int_0^\pi V_s \sin \theta d\theta = \frac{V_s}{\pi}$$

P信号によるものは

$$V_P = \frac{1}{2\pi} \int_{\theta_0}^\pi V_s \sin \theta d\theta = \frac{V_s(1 + \cos \theta_0)}{2\pi}$$

信号の弁別比 γ は

$$\gamma = \frac{2}{1 + \cos \theta_0}$$

となり、 $\theta_0 > \frac{\pi}{2}$ では直流より交流のほうが有利である。

このようにして受信器では信号が分離されて、それぞれの信号に対するリレーが動作する。

3.3 PA方式の設計例

本装置の回路設計の主体はP信号とA信号の弁別回路であるが、主要な設計方式として次のようなものがある。

- (1) A信号による弁別器出力(リップル)の最小値をリレー動作レベルより高くする。
- (2) P信号の過渡および定常状態によるA信号弁別器出力のリップルの最大値がリレー動作レベルより十分小さくなるようにすること。
- (3) 応答時間ができるだけ短いようにすること。

などである。

PA-1Fは、まずパルス信号幅の決定と幅の安定化が重要である。受信器の保護装置としては、大電圧が③—⑤間に加わったときトランジスタも保護するトランジスタ用速断ヒューズを付ける。また、トランジスタをサージ電圧に対し保護するために信号入力側および補助電源側にサージアブソーバーを付ける。

4. 特 性

4.1 信号に対する動作特性

A信号の波高値を大きくするとP信号への干涉となり、またP信号のパルス幅を大きくすることはA信号への干涉となる。

A信号はP信号の波高値の約10%以上になるとP信号に干涉するが、PA-1Fの R_5 を十分大きくし、さらにPA-3Rの内部抵抗が加わるため、電源電圧が250V(定格の125%)になってもA信号に

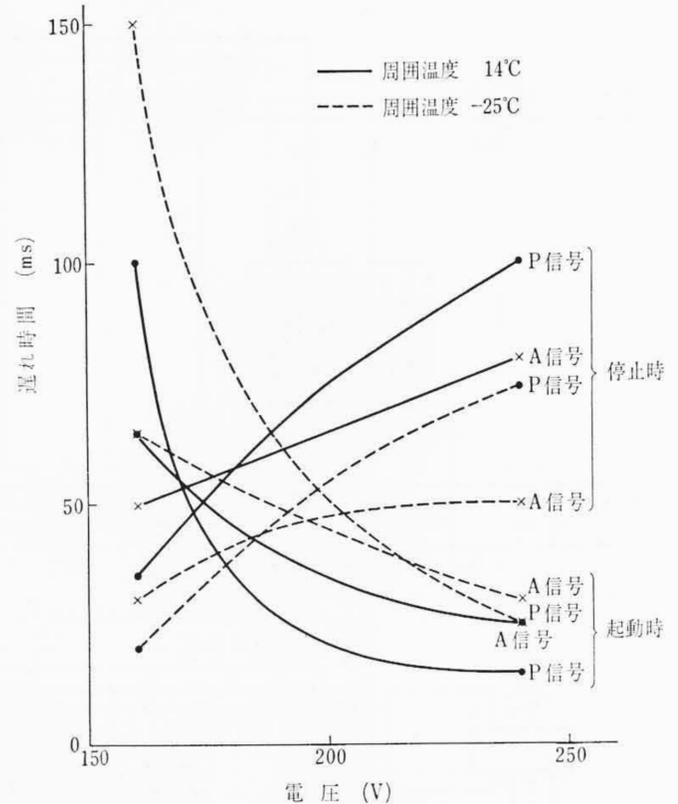


図13 PA装置の遅れ時間

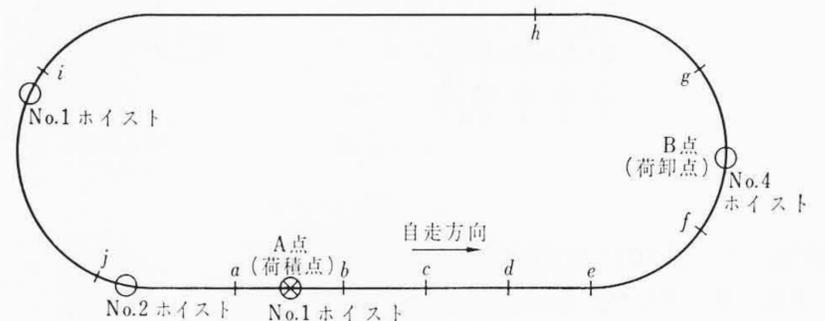


図14 自動ホイストの運行図

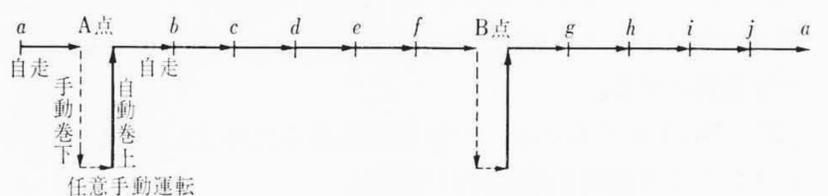


図15 自動ホイストの行程

よるP信号への干涉は起こらない。P信号のA信号への干涉の限界は図11に示すとおりであり、P信号の幅がA信号幅の35%以上になるとA信号に干涉するが、送信器のFLSのゲート信号回路を定電圧としたため電圧変動によるパルス幅の変化は図12に示すように20~22%以内にはいってしまう。したがって信号の干涉による誤動作は起こらない。

4.2 操作の遅れ時間

ホイストを運転する場合、押ボタンを押してからホイストが動き出すまでの時間と、押ボタンを切ってからホイストが停止するまでの時間は、短いほうが良い。しかし、遅れ時は200ms以下であれば実際の操作に支障はない。本装置による遅れ時間の測定結果は図13に示すとおりである。電圧が低いと信号電流が小さいため起動するまでの時間が長くなるが、停止する時間は短くなる。また、周囲温度が低いとコンデンサ容量が低下して、起動の時間は長くなり、停止する時間は短くなる。

5. 自動ホイストへの応用

ホイスト走行レールがループになっていて、そこで数台のホイストが、自動巻上、走行するホイストの例として、図14は4台のホイストがループ上を走る場合である。図15のような行程で運転する

