# 配電線搬送方式による開閉器遠隔監視制御システム

Supervisory Remote Control Systems for Pole-mounted Switches Using Power Distribution Lines as a Signal Path

近年,都市化に伴う情報化社会への進展は、社会構造のいっそうの高度化をもたらしており、より高品質・高信頼度の電力供給が要求されている<sup>1)</sup>。このような社会的要請にこたえるためには、今後ますます複雑化し、拡大する配電系統で、配電自動化の推進による供給信頼度の向上、設備運用の効率化および保守の省力化を図ることが重要な課題である。

日立製作所では、これらの問題を解決するため配電線をそのまま信号伝送路 とした零相キャリア伝送方式を開発し、高信頼度で経済的な情報伝送システム の構築を可能にした。 宮崎照信\* Terunobu Miyazaki 中村知治\* Tomoharu Nakamura 西島一夫\* Kazuo Nishijima 工藤博之\*\* Hiroyuki Kudô

# 1 緒 言

高度情報化社会の進展に伴い、高品質で安定な電気の供給が求められている。また、各電力会社では供給信頼度の向上を図るために、柱上開閉器の遠隔監視制御や将来に向けての負荷集中制御・自動検針などを目的とした配電の自動化が推進されている。

この配電自動化システムを実現するためには,面状に分散 配置されている配電機器との情報伝送が必要であり,より高 信頼度で経済的な信号伝送システムが要望されている。 この要求にこたえるため開発した零相キャリア伝送方式は, 配電線をそのまま信号伝送路とし,系統の対地静電容量を一 相だけわずかに変化させることによって,高信頼度な通信を 確保できる伝送方式である。

# 2 零相キャリア伝送方式

配電線搬送方式による開閉器の遠隔監視制御システム体系を図1に示す。営業所から面状に分散配置されている柱上設備(開閉器,変圧器など)を監視制御するためには,効果的な

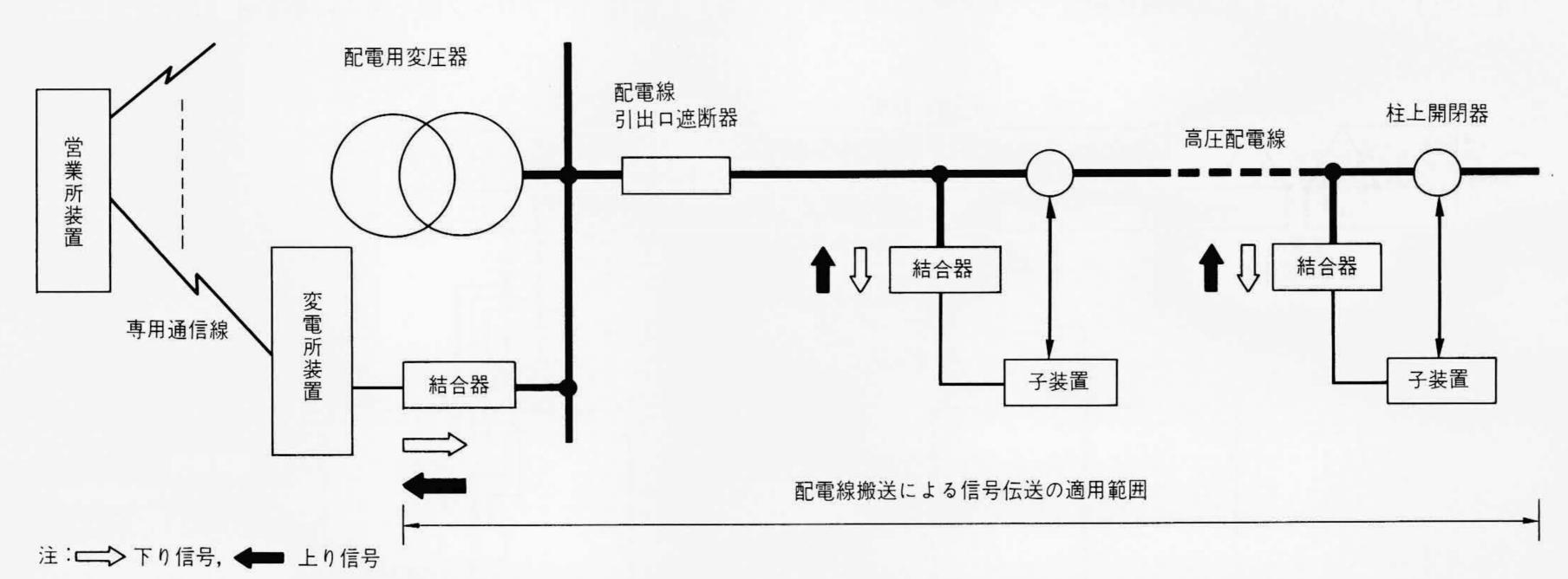


図 I 配電線搬送方式による開閉器の遠隔監視制御システム体系 設けることなく、開閉器の遠隔監視制御システムを構築できる。

配電線そのものを信号伝送路とする配電線搬送方式では, 専用の通信線を

<sup>\*</sup> 日立製作所国分工場 \*\* 日立製作所日立研究所

情報伝送が必要である。

# 2.1 配電自動化用信号伝送方式

零相キャリア伝送は、配電線そのものを信号伝送路として 利用する電力線搬送方式の一つであり、伝送路の構築とその メンテナンスが不要であるうえ、下記のような特長がある。

- (1) 負荷の影響を受けない安定した通信ができる。
- (2) 同一原理で双方向通信を可能とし、装置の小形化が図れる。
- (3) 伝送信号の漏れがなく、信号の伝送範囲を独立させ、システムの分割構成が容易となる。
- (4) ケーブル系にも安定した適用ができる。

#### 2.2 伝送原理2),3)

零相キャリア伝送方式は、わが国の配電線路が大部分非接 地系で、零相回路の残留電圧も小さいことに着目したもので、 以下にその原理について述べる。

零相キャリア伝送方式の構成を図2に、各部の波形を図3に示す。

#### (1) 送信方法

図2に示すように、送信側では三相中の一相を基準相(ここではa相とする。)として、基準相と大地間に小容量のコンデンサ $\Delta C$ (対地静電容量の1%程度の大きさ)を設置する。これを送信信号に合わせて系統周波の1サイクル単位で入・切し、基準相の対地電位をわずかに変化させる。この結果、保護継電器の検出レベルに比べて微小な零相電圧が発生する。この1サイクル分の信号を1ビットに割り付けて、情報伝送に使用する。

すなわち、図3に示すような送信信号(波形a)に対応して、 系統の零相電圧をわずかに(完全一線地絡事故時に発生する零 相電圧の1%程度)発生させる(波形b)。

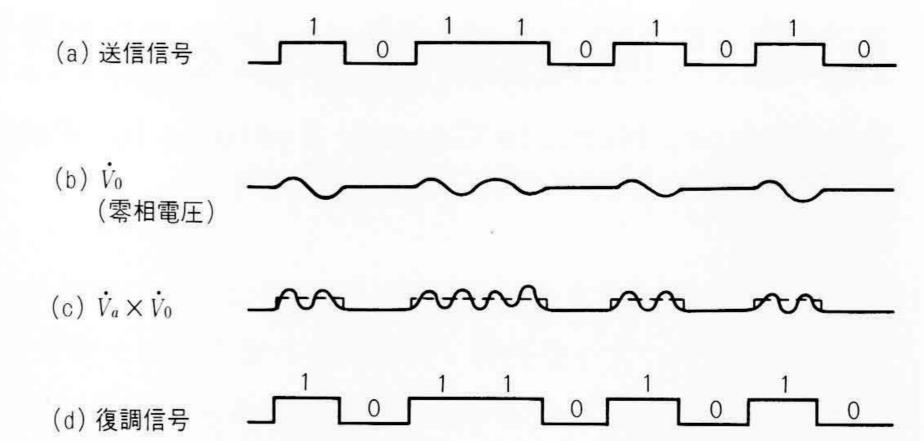


図3 零相キャリア伝送方式の各部波形 送信信号に合わせて微小に変化させる零相電圧(信号分)を同期検波によって抽出し、直流分だけを受信信号として復調する。

# (2) 受信方法

受信側では、コンデンサー分圧器を介して零相電圧を検出する(波形b)。

実際の配電系統では、大地間の静電容量が各相バランスしていることはまれであり、常時2~3%程度の残留零相電圧が発生している。このため、検出した零相電圧をそのまま信号成分として利用するとSN比が悪いため、この残留零相電圧に含まれる信号成分だけを抽出する必要がある。信号成分、すなわち零相電圧の変化分を抽出する方法として、基準相(信号注入相)と零相電圧との積演算(同期検波)を行い(波形c)、さらに、この中に含まれる直流成分だけを抽出して復調信号(波形d)とする。

# (3) 復調方式

零相キャリア伝送方式の中心技術である復調方式をもう少 し詳しく説明すると次のようになる。

復調原理を示すブロック図を図4に示す。図4でCp, Ccは,

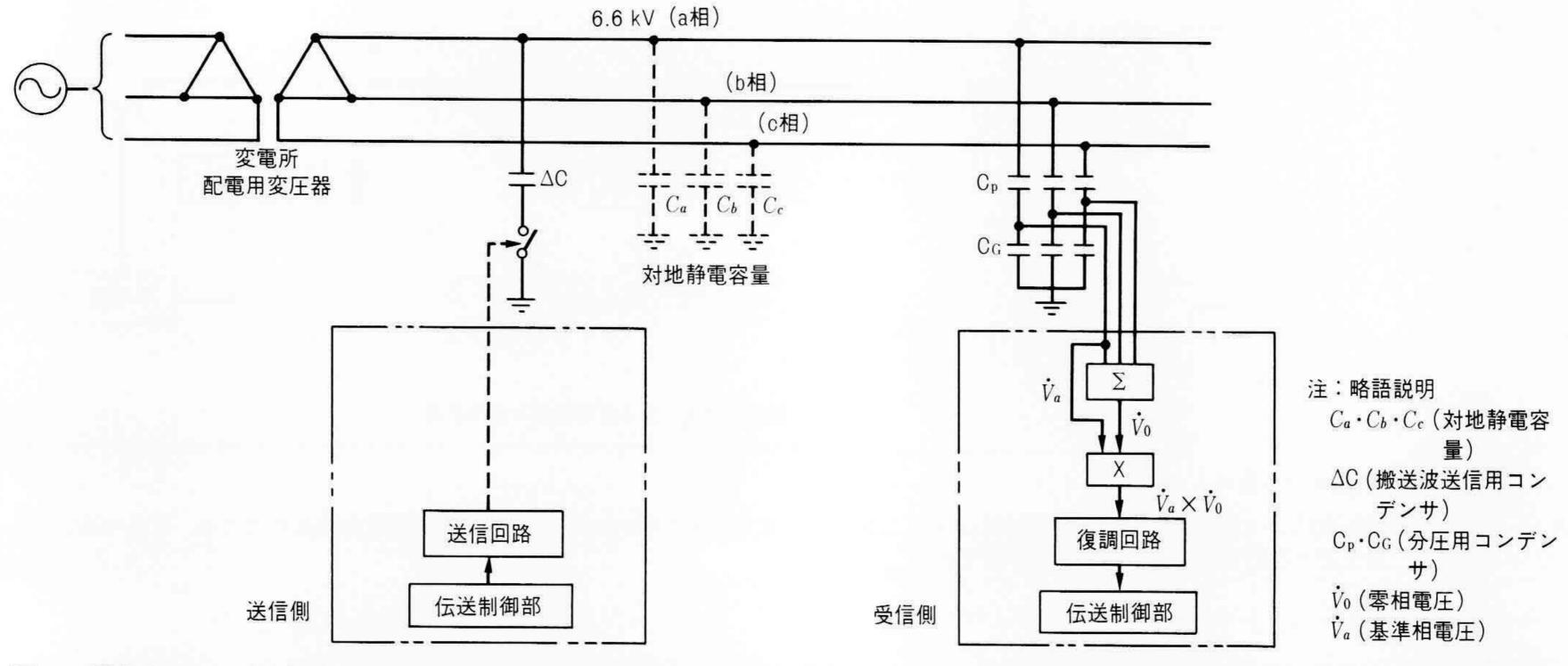
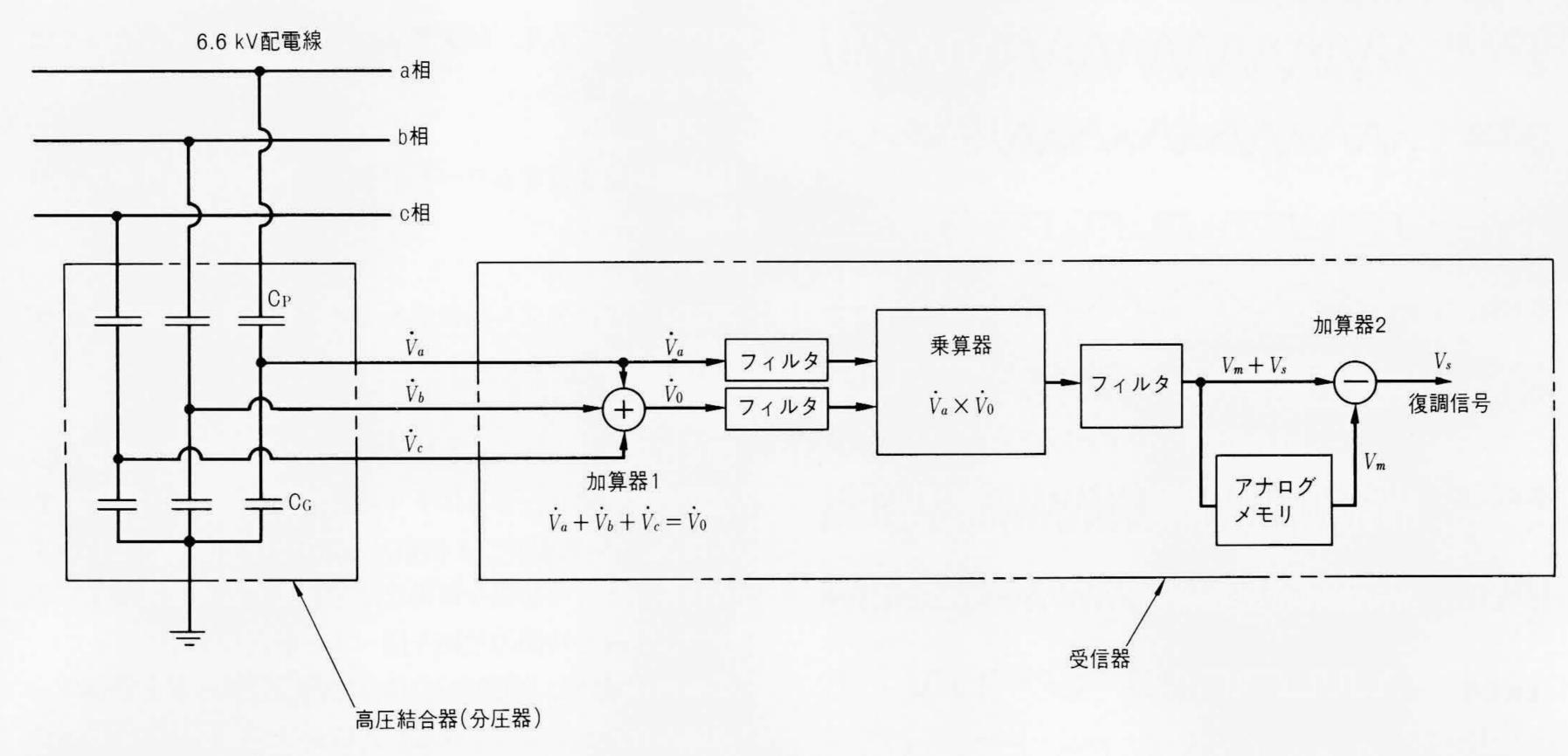


図 2 零相キャリア伝送方式の構成図 高圧配電線のa相と大地間に零相キャリア信号を注入,抽出する場合の零相キャリア伝送方式構成図を示す。



注:略語説明  $\dot{V}_a$ ,  $\dot{V}_b$ ,  $\dot{V}_c$  (各相大地間電圧),  $V_m$  (残留電圧成分),  $V_s$  (信号電圧成分)

図4 復調原理ブロック図 基準相電圧 $\dot{V}$ aと零相電圧 $\dot{V}_0$ は,系統周波成分だけを通過させるフィルタを介することによって,高調波成分などによる雑音に強いSN比が得られる。

配電線の大地間電圧を分圧して取り出すための分圧器で、大地間電圧に比例した電圧 $\dot{V}_a$ 、 $\dot{V}_b$ 、 $\dot{V}_c$ を受信器が取り込み、以下の演算処理を行う。

- (a) 加算器 1 で零相電圧 V<sub>0</sub>の導出を行う。
- (b) 乗算器で基準相電圧 $V_a$ と零相電圧 $V_0$ の基本波成分 (高調波成分はフィルタで除去)の掛け算を行う。この結果, 直流分と 2 倍の周波数成分が得られる。

$$\begin{split} \dot{V}a \times \dot{V}_0 &= Va\sin(wt) \cdot V_0 \sin(wt - \varphi) \\ &= \frac{Va \cdot V_0}{2} \Big\{ \underbrace{\cos \varphi - \cos(2wt - \varphi)}_{\widehat{\underline{a}} \widehat{\underline{k}} \widehat{\underline{G}} \widehat{\underline{C}} \widehat{\underline{G}} \widehat{\underline{C}} \widehat{$$

(c) 2倍の周波数成分はフィルタで除去し、直流成分だけとする。

信号のないとき、フィルタの出力には残留零相電圧成分  $V_m$ が発生しているが、信号を受信すると  $V_m$ の大きさは信号電圧成分  $V_s$ の分だけ変化  $(V_m + V_s)$  する。

(d) 残留零相電圧成分 $V_m$ をアナログメモリに記憶しておき、これとフィルタ出力 $(V_m + V_s)$ との差分をとる。この結果、信号成分である復調信号 $V_s$ を得る。

以上の復調方式によって, 系統に残留零相電圧がある場合でも, 十分信頼度の高い伝送が可能となる。

零相キャリア伝送方式は,以上に述べたように配電線の対 地静電容量がわずかに変化したときに発生する零相電圧の変 化分を伝送信号としているため,送信用電力はほとんど 0 で ある。

# 2.3 各部波形の実測例

残留零相電圧を持つ配電線での実測波形例を図5に示す。 図5(a)は、送信信号レベル(零相電圧変化分・対地電圧)が

約1%の場合で、信号伝送によって零相電圧の大きさがわず かに変化しているのが識別できる。

図5(b)は、同じ系統で送信信号レベルを約0.1%とした場合を示す。送信信号に対応した零相電圧の変化は残留零相電圧の中に見いだせないほど小さいが、正しく復調できている。ただし、復調信号の波形幅が狭く復調の限界に近いことがわかる。したがって、実用化に当たっては通信の安定化を図るために、信号成分を復調限界の10倍以上とし、送信用コンデンサ容量の選定は、送信信号レベルが約1%となるようにした。

#### 2.4 特 長

零相キャリア伝送方式の主な特長は次のとおりである。

- (1) 現状の配電線をそのまま信号伝送路として使用するため, 通信路の形成・維持費用が不要な経済的システムが構築でき る。
- (2) 信号の伝送範囲は、配電用変圧器単位に分離されるためシステムの分割構成が容易にできる。
- (3) 商用周波を利用するため、架空系に限らずケーブル系にも安定した適用ができる。
- (4) 双方向伝送が簡単な装置構成で実現できる。
- (5) 大地帰路を利用しているため、負荷電流に影響されない 安定した通信を確保できる。

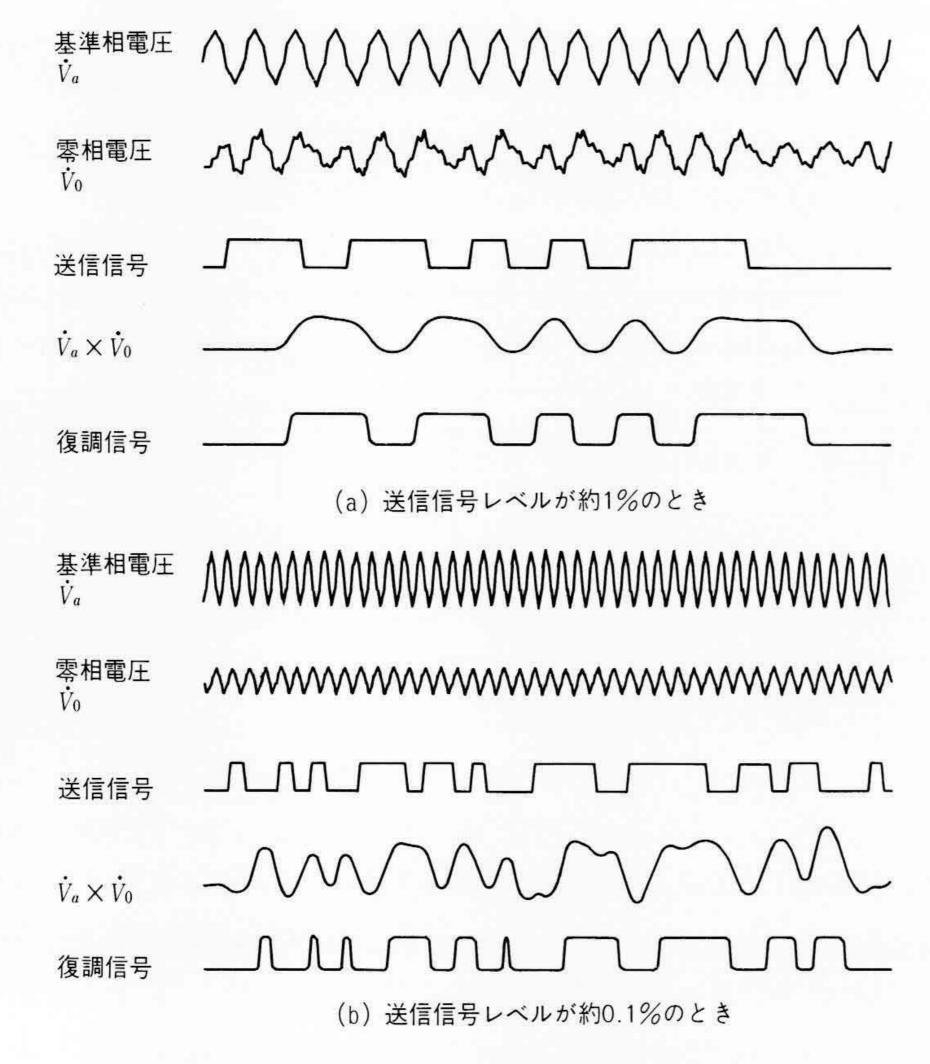


図5 各部波形の実測例 送信信号レベルが約0.1%でも通信可能であるが、復調の限界に近いことがわかる。伝送信頼度を十分に確保するため、20 dBの余裕をとり送信信号レベルを1%に管理している。

(6) 伝送信号は、小容量のコンデンサを半導体素子で入・切して発生させる零相電圧の変化分を利用するため、装置は電子回路主体で小形とすることができる。

(7)・零相回路を利用しているため、地絡や断線検出などの異常探査システムへの拡張が容易である。

# 3 零相キャリア伝送の具体化

使用する信号の符号構成、伝送手順などについて各種検討を加え、信頼性の確保と伝送所要時間の短縮を図った伝送システムとしている。以下に、伝送の具体化に関する一例を示す。

# 3.1 符号構成

1ワードは6ビット構成とし、 $_6$ C $_3$ の定マーク符号(20通りのワードに限定)を4種のコード群に分けて、各コードの意味を識別させ目的に応じて使い分けている。

#### (1) 数値コード

ビット 5 を「1」(固定マーク)とした10種類のワードであり、 $1\sim 0$  の数値を表現し、制御データ、子装置アドレスなどの各種情報として使用する。

#### (2) 機能識別コード

ビット5を「0」、ビット3を「1」(固定マーク)とした6

種類のワードであり、制御データとの組み合わせによって伝 送内容を識別する。

# (3) 同期コード

伝送開始を宣言するワードであり,下り用と上り用の二つ を準備している。

#### (4) テストコード

同期コードに先立ち送信するコードであり,送信用コンデンサ容量を選定する。

# 3.2 伝送フォーマット

図6に示すように、伝送フォーマットは上記コード群の伝送位置を体系化し、さらに下り用(変電所→柱上:2種類)と上り用(柱上→変電所:1種類)に使い分けている。これらを伝送内容によって必要な情報だけを伝送する可変長フレームとし、伝送所要時間の短縮を図っている。

指令内容(監視,制御など)は、機能識別コードと制御データの組み合わせによって決定し、伝送に必要なワード数も決まる。

指令内容の一例を表1に示す。

#### 3.3 誤り検定方式

誤制御や情報の誤認識をなくすために、各種誤り検定を実施し、誤りを検出した場合には再び指令を発することによって、監視制御の成功率の向上を図っている。誤り検定は、1ワード単位のワード検定と全ワードにまたがるフレーム検定の2方式によって実施している。具体的検定内容の一例を以下に記す。

#### (1) ワード検定

(a) 同期信号検定

伝送内容の誤認識を避けるため、下り・上りの伝送方向 を検定する。

(b) 定マーク検定

<sub>6</sub>C₃定マーク符号構成を検定する。

(c) 固定マーク検定

数値コード,機能識別コードの固定マーク位置を検定する。

- (2) フレーム検定
  - (a) フレーム長検定

指令内容によって決まる伝送に必要なワード数を検定する。

(b) 反転二連送検定

1ワードごとに反転していることを検定する。

(c) 水平パリティ検定

全ワードに関するパリティを検定する。

水平パリティは、全ワードの同一ビット位置に関するパリティであり、ワードの組み合わせによって水平パリティは、 $_6$ C $_3$ 符号に特定化できない。したがって、 $_3$ ビット単位に分割し、おのおのを反転して付加することによって $_6$ C $_3$ 符号としている。

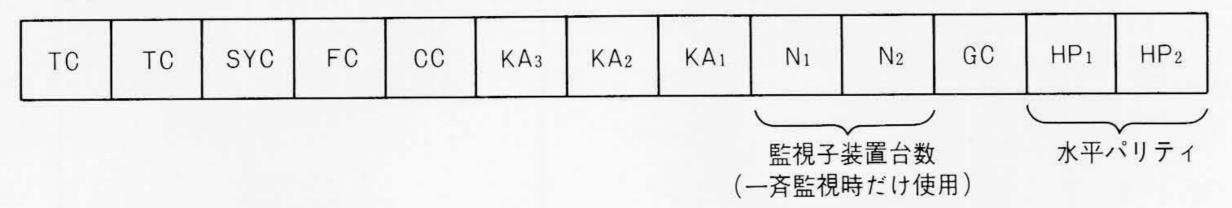
この結果,水平パリティは2ワードとなるが。C3符号構成と

#### (1) 下りフォーマット (変電所→柱上)

(a) 反転二連送方式:機能識別コード(FC)以降の全ワードを1ワードごとに反転して伝送する。



(b) 水平パリティ方式:機能識別コード(FC)以降の全ワードに対し、水平パリティを付加する。



#### (2) 上りフォーマット (柱上→変電所)

水平パリティ方式:データにかかわる全ワードに対し、水平パリティを付加する。

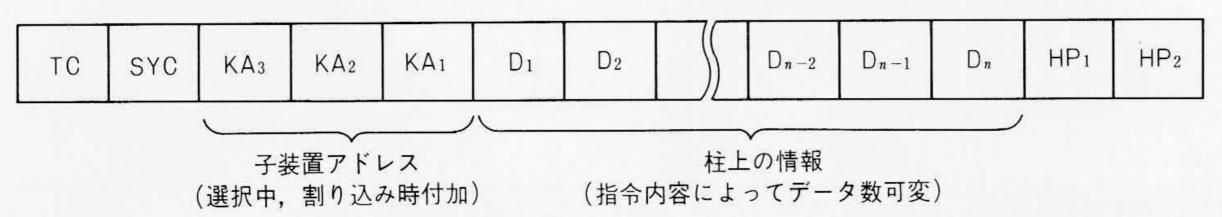


図6 伝送フォーマット 零相キャリア伝送に使用する伝送フォーマットは、指令、返信で使い分け、必要な情報だけを伝送する可変長フレームとしている。

表 | 指令内容一覧表(例) 指令内容は、機能識別コード(6種類)と制御データ(10種類)の組み合わせによって決定される。表中の空欄は予備、 ( )内数値は指令・返信に必要なワード数を示す。

機能	制御データ(数値コード)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	開閉器制御	選択 (15/12)			入 (15/7)	切 (15/7)	ロック (15/7)	ロック解除 (15/7)			選択解除 (15/12)
2											
3	状態監視	割り込み許可 (全情報) (II/I6)	開閉器状態 (II/7)	計 (II/II)	子装置機能	全情報(11/16)				状態変化 一斉監視 (13/3 n)	開閉器状態 一斉監視 (13/3 n)
4											river s
5	機能設定	選 択 (15/12)			設 定 (19/6)						選択解除 (15/12)
6											

注:n(子局台数)

することができ、フレーム全体の品質を維持するとともに水 平パリティが8通りに限定される。

また, 次のことを配慮している。

伝送の時間管理は変電所に設置する装置で行っており、送信終了後所定の時間に柱上からの返信有無を判断する。返信を受信しない場合や信号誤りを検出した場合には再送信を行う。

# 3.4 監視手順

n台の柱上子装置を対象とした監視を行う場合, 状態変化の 早期検出や全子装置からの情報を短時間で収集することが必 要となる。以下に、その具体例の一部を紹介する。

(1) ポーリング監視方式

図7に示すタイムチャートのように、ポーリング監視では 零相キャリア伝送が持つ

- (a) 同一系統内では、信号が同時に伝わる。
- (b) 系統周波を基準としているので、システム同期が容易 にとれる。

という特徴を利用して,以下の手順で状態変化の早期検出を 図ることができる。

(a) 変電所装置からポーリング方式によって,順次子装置

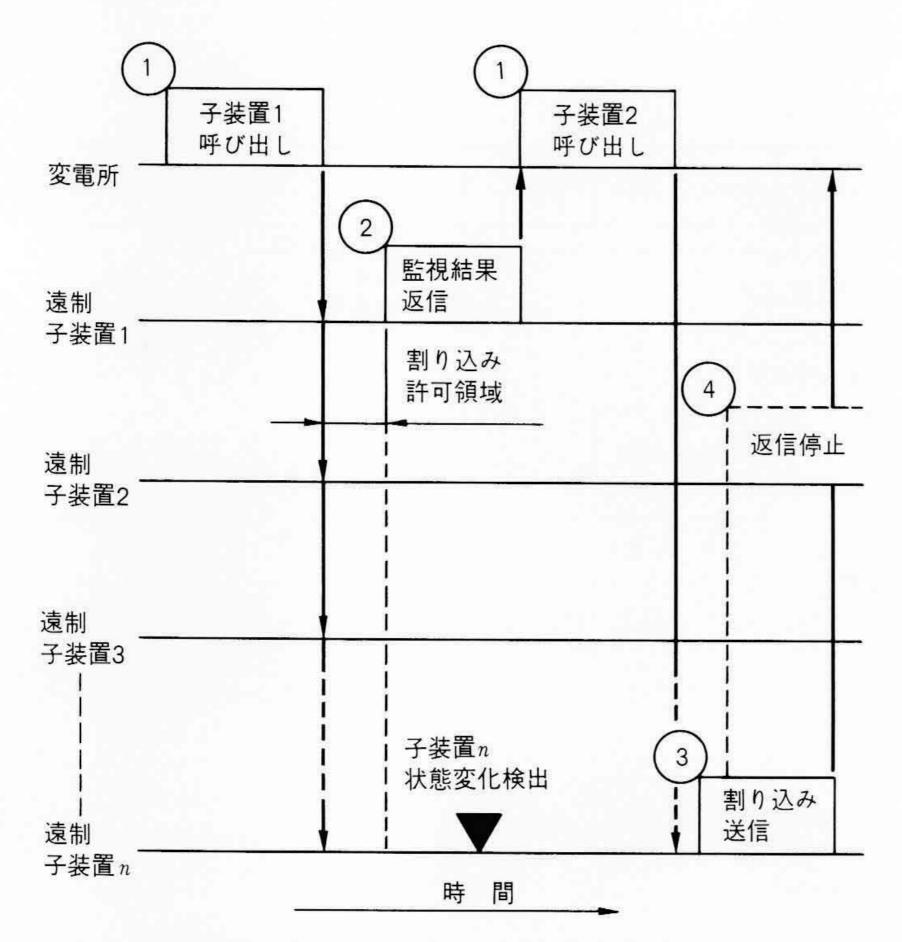


図7 ポーリング監視方式タイムチャート 変電所装置と遠制子装置が | 対 | で通信する際,割り込み許可領域を設け、状態変化を検出した子装置が割り込み伝送を行えるようにしている。

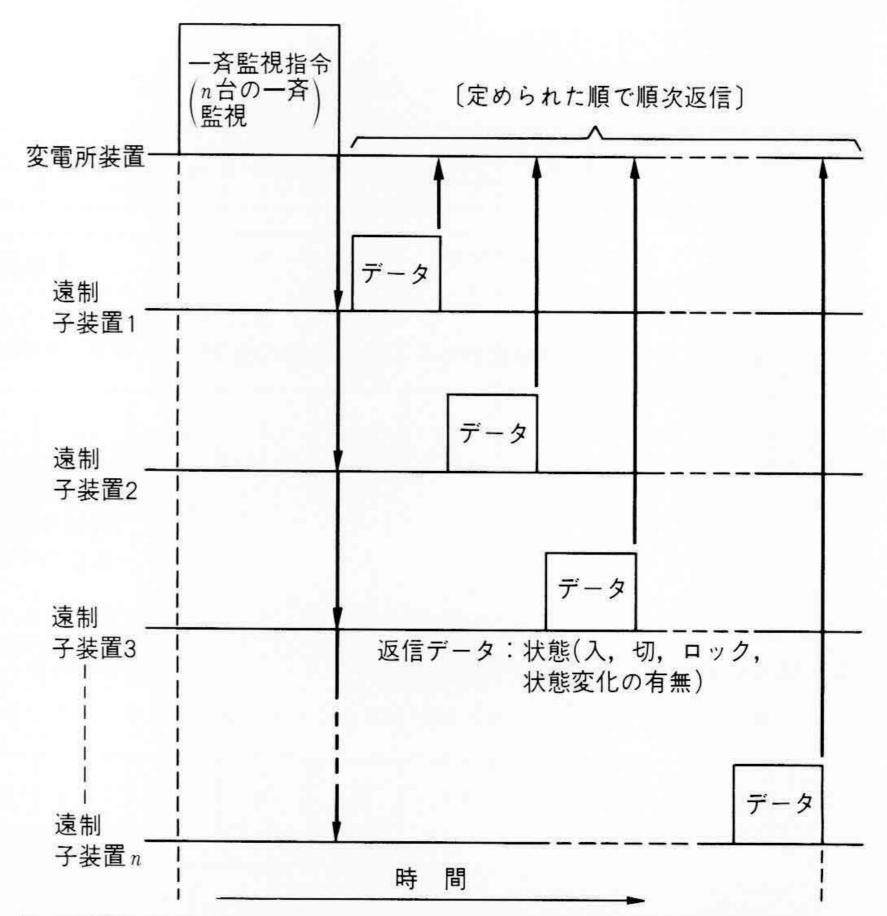
との通信を実施する。

- (b) 監視対象子装置は,一定時間(割り込み許可領域)だけ 待って返信する。
- (c) 状態変化を検出した子装置は、上記割り込み許可領域 で送信を開始する。
- (d) 割り込み送信を許した監視対象子装置は返信を停止する。
- (e) 変電所装置は、状態変化の発生と割り込み子装置からの状態変化内容を認識することが可能である。

以上のように、ポーリング監視を行いながらも監視対象外 の子装置から状態変化に関する割り込み伝送が可能となる。

#### (2) 一斉監視方式

システム立ち上げ時などには, すべての子装置からの情報



監視台数	50 F	lz系統	60 Hz系統		
(n)	伝送所要時間(s)	1台当たり(s)	伝送所要時間(s)	1台当たり(s)	
10台	5.96	0.60	4.97	0.50	
20台	10.36	0.52	8.63	0.43	
40台	19.16	0.48	15.99	0.40	

図8 一斉監視方式タイムチャート 変電所装置がn台を対象とした一斉監視指令を,送信時には遠制子装置はあらかじめ定められた順序で返信し, |対n通信を可能としている。

を短時間に収集する必要があるため、前記の特徴を利用した一斉監視方式を準備している。この方式は、図8に示すタイムチャートのように変電所装置が発するn台の子装置を対象とした一斉監視指令に対し、各子装置はあらかじめ定められた順序に従ってデータを順次返信する方式である。したがって、1回の監視指令で多数の子装置からの情報を短時間で収集することが可能となる。

# 3.5 フィールド試験結果4)

四国電力株式会社で零相キャリア伝送方式を使用した柱上 開閉器の遠隔監視制御装置を実用化するに先立ち実施した,

表2 フィールド試験結果 四国電力株式会社笠山変電所での昭和61年7月12日から昭和62年2月12日までの試験データである。

	伝	送ビッ	<b>F</b>		制	御	結 果		
天 候	伝送ビット数 (×10 <sup>3</sup> )	誤りビット数	ビット誤り率 (×10 <sup>-6</sup> )	制御回数	内訳			制御成功率	510 to #11/60 [7] W
7 12					I回目で成功	2回目で成功	3回目で成功	(%)	誤り制御回数
雷	2,719	197	72.5	11,915	11,853	47	14	99.992	0
雨	151,392	2,012	13.3	664,034	663,222	590	70	99.977	0
そのほか	1,326,529	1,550	1.2	5,807,060	5,805,821	1,148	61	99.999	0
計	1,480,640	3,759	2.5	6,483,009	6,480,896	1,785	145	99.997	0

7か月間のフィールド試験結果を表2に示す。

ビット誤り率の平均値は2.5×10<sup>-6</sup>(100万ビットの送信に対 し3ビット以下の誤り発生)で、誤り制御回数は1回もなかっ た。落雷時や降雨時には系統零相電圧が変動するため、ビッ ト誤り率が一けた程度上昇するが、システムとしてはリトラ イ処理によって制御成功率を上げている。

# 柱上開閉器の遠隔監視制御装置

四国電力株式会社での柱上開閉器の遠隔監視制御装置の概 要を以下に紹介する。

# 4.1 構 成

システム構成を図9に、営業所に設置するCRT操作卓の外 観を図10に示す。卓の引き出し部分にバックアップ用の操作 パネルを収納している。柱上装置の装柱状況を図11に示す。 柱上開閉器を直接監視制御する遠制子装置と, 高圧結合器(制 御用電源変圧器と信号送受信用の結合部をそれぞれ二組み内 蔵)から成る。

本システムの適用対象規模は、次のように設定されている。

- (1) 対象変電所数:10変電所・営業所
- (2) 対象バンク数:30バンク(3バンク・変電所)
- (3) 対象子装置数:1,000台・営業所

(5)運転記録

営業所~変電所間,変電所~柱上間の信号伝送路仕様を

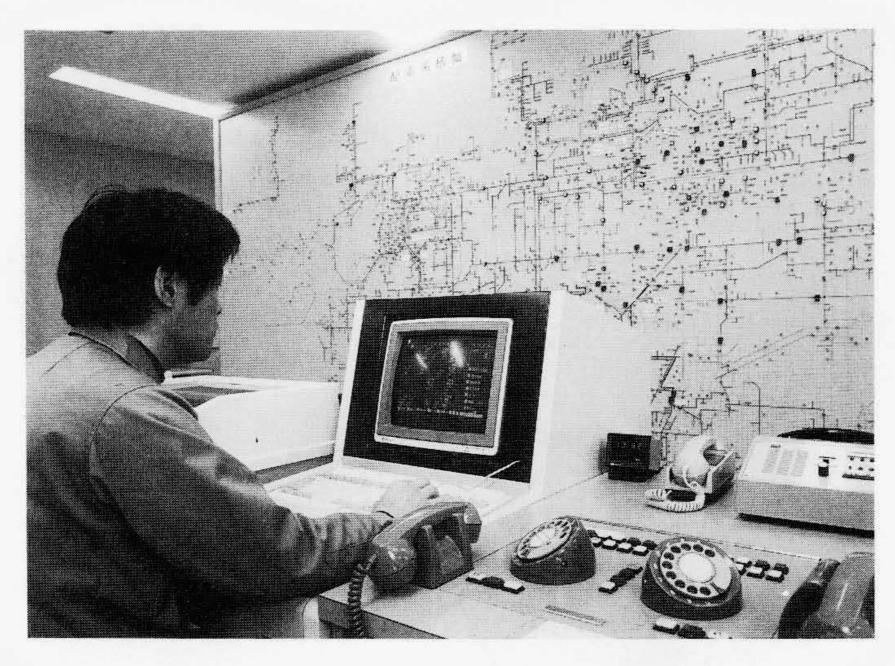


図10 CRT操作卓の外観 運転員は、CRT操作卓の系統図画面を見 ながら,メニュー方式で監視制御を行う。

# 表3に示す。

#### 4.2 機

(1) 開閉器の監視制御

運転員は、CRT操作卓の系統図面画によってメニュー方式 で監視制御を行う。

CRT操作卓には、マイクロコンピュータを内蔵しており、

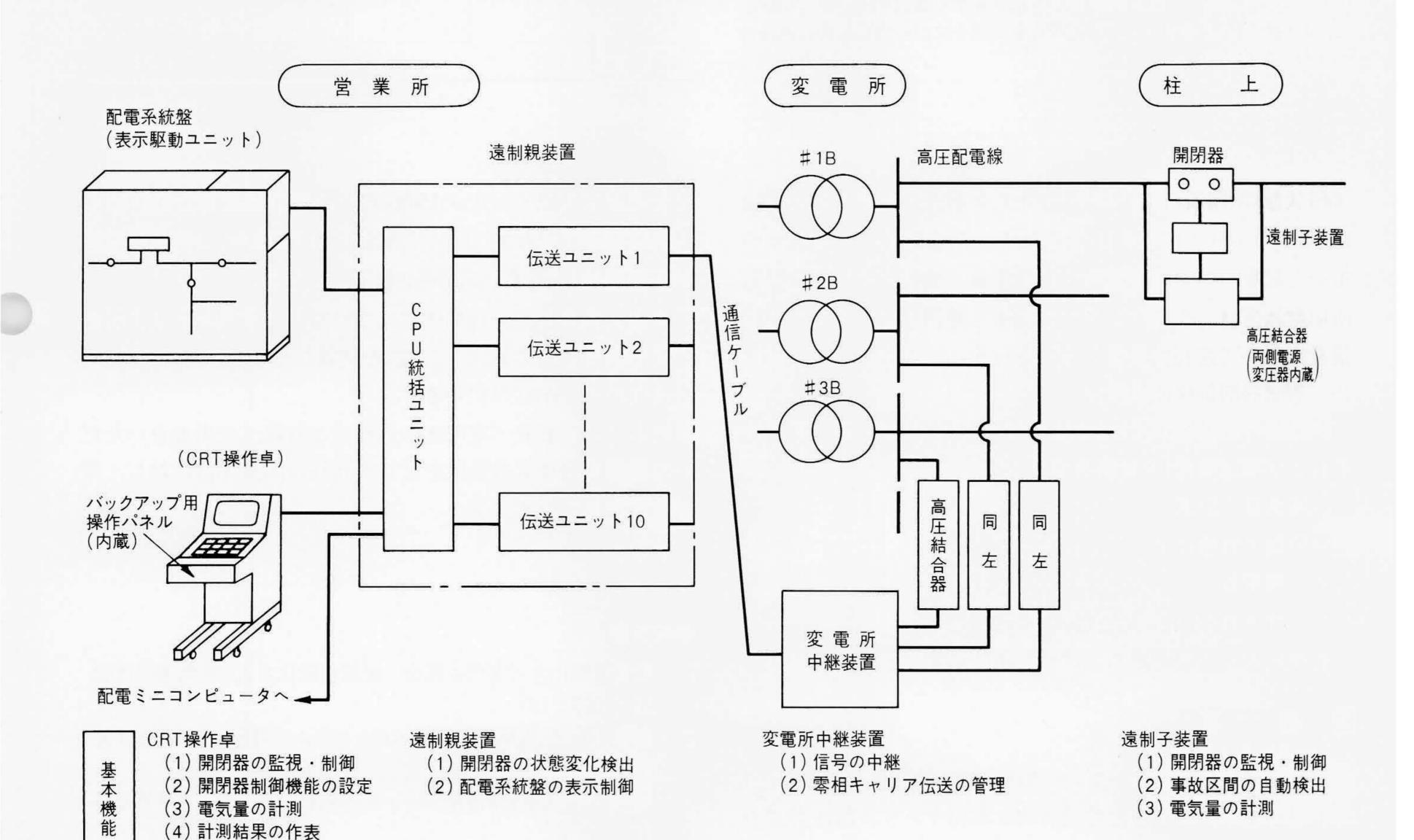


図 9 システム構成図 四国電力株式会社で実用化している柱上開閉器の監視制御装置のシステム構成図を示す。



図II 装柱状況 柱上開閉器を監視制御する遠制子装置と電源変圧器,零相キャリア信号注入・抽出用電気回路を二組み内蔵した高圧結合器を対で装柱する。

運用状態(開閉器の入・切情報)から各遠制子装置との通信経路(零相キャリア信号を注入するバンク)を識別し、運転員の指令を対象バンクの変電所へ伝送する。指令を受信した変電所中継装置は、当該バンクでの最適な送信用コンデンサの容量を選定して遠制子装置と通信を行う。

# (2) 開閉器制御機能の設定

開閉器の時限順送にかかわる各種設定値(順送方向,順送時限および順送要否)を遠隔設定する。

# (3) 電気量の計測

開閉器の状態によって,以下を計測する。

- (a) 開閉器「入」:線間電圧と線路電流
- (b) 開閉器「切」: 開閉器両端の線間電圧 監視制御の所要時間の一例を表 4 に示す。

#### は 幸 =

配電系統に分散配置している機器を監視制御するための通信手段として,高信頼度で経済的な零相キャリア伝送方式の原理を説明するとともに,本方式による柱上開閉器の遠隔監視制御装置について紹介した。本装置は現在,四国電力株式

表3 信号伝送路の仕様 営業所~変電所間は専用通信線を,変電所~柱上間は零相キャリア伝送を使用する。

項目	営業所~変電所間	変電所~柱上間	
通信方式	全二重通信方式	零相キャリア伝送方式	
適用回路	専用通信線	零相回路(高圧配電線)	
線路周波数	(下り)1,080±100 Hz (上り)1,750±100 Hz	50 Hzまたは60 Hz	
伝送速度	300 bps	50 bpsまたは60 bps	
変調方式	周波数偏移変調 (FSK)	振幅変調 (AM) (商用周波同期)	

表 4 零相キャリア伝送監視制御所要時間例 開閉器状態は入,切,ロックに加えて選択中,パレット良否などの情報,事故区間検出機能は順送投入の要否,順送投入方向および時限情報,計測は電圧,電流値としている。

操作項目		417	伝送所要時間		
		開閉器状態 機能		計測	(s)
		0	<u>13-12-</u>	-	1.93
監	視		0		1.83
īm		=	_	0	2.33
		0	0	0	2.83
選	択	0	0	_	2.83
制	御	0			2.33

会社坂出営業所をはじめ15営業所(遠制子装置約2,000台)で順調に稼動中であり、1991年度までに43営業所、16営業店(遠制子装置約7,500台)で運開する予定である。

また,負荷制御や自動検針についても,零相キャリア伝送 方式を利用したフィールド試験を実施して良好な結果を得て, 実用化のめどが立っている。

終わりに、開発・実用化の過程でご討議、ご指導をいただいた四国電力株式会社殿をはじめ社外の関係各位に対し、深 謝する次第である。

# 参考文献

- 1) 配電自動化方式専門委員会:配電自動化方式,電気協同研究, 36-5(昭55-12)
- 2) 宮原,外:配電線利用情報伝送システムの開発,日立評論,**65**, 6,385~390(昭58-6)
- 3) 宮崎:配電線利用情報伝送システム,動力-第173号(昭和60年-IV)
- 4) 金谷:四国電力に於ける配電自動化システムについて、 JATEC(昭62-9)