

関西電力株式会社 納
サイクリック・デジタル情報伝送装置
Cyclic Digital Data Transmission Equipment for
Kansai Electric Power Co., Inc.

岩田 一 男* 小林 一 彦**
Kazuo Iwata Kazuhiko Kobayashi

要 旨

本文は関西電力株式会社で採用された自動給電システム用サイクリック・デジタル情報伝送装置について、その適用、構成、伝送方式などのあらましを述べたものである。

1. 緒 言

関西電力株式会社では、電力需要の増加に伴い系統が拡大複雑化し、合理的な系統運用が困難になったので、これを解決するために自動給電方式の適用が進められている⁽¹⁾。本自動給電システムでは、中央給電指令所に電子計算機が設置され、主要発電所から集められた多数の情報の迅速確実な処理と自動操作指令が行なわれているが、その機能をじゅうぶんに発揮させるためには、データ収集および指令伝達のための情報伝送系もこれに即して完備されなければならない。

しかし、従来かかる目的に使用されていたアナログ・テレメータ、スーパービジョンなどの装置は、伝送効率、速度、精度ともに低く、かつテレメータ、スーパービジョンの併用が必要なため、合理的なシステム構成が困難であった。そこで新たに自動給電システムに適した新方式の情報伝送装置を採用することになった。

本装置は伝送効率と精度を高めるためサイクリック・デジタル伝送方式を採用し、回路のIC化、システムの2重化により信頼度を高め、かつIC化により装置を小形、経済的なものにしていく。

また、中央給電指令所における計算機との接続も容易に行なわれるように考慮されている。

本方式による装置は昭和43年11月関西電力株式会社中央給電指令所（以下中給と略す）と春日出火力発電所など4箇所との間に設置され、現在まで良好な運転実績が得られており、今後関西電力株式会社の標準方式として使用されるので、以下その主要点を紹介して各位のご参考に供したい。

2. 自動給電システムと情報伝送装置

関西電力株式会社で運用されている自動給電システムの基本構成は図1に示される。本システムにおける発電所の出力制御は平常時間帯と負荷急変時間帯の2種類の制御に分けられる。平常時間帯では自動周波数制御装置(AFC)が負荷変動に応じて出力調整を行ない、この制御が一定限度以上になればELD制御が開始される。この場合、計算機は各発電所から集められた情報に基づいて各発電所の最適出力分担を計算する。この値はELD指令値として情報伝送装置により火力発電所へ伝送され、各発電所では、これに従って自動負荷制御装置(ALR)により発電機出力を調整する。また、負荷急変時間帯では、あらかじめロードカーブを予測し、当日の水力発電所運転状況、負荷の動向などを考慮して計算機により各火力発電所出力を求めておき、予定時刻になると自動的に平常時制御から切り換えて出力指令を行なうようになっている。したがって本システム

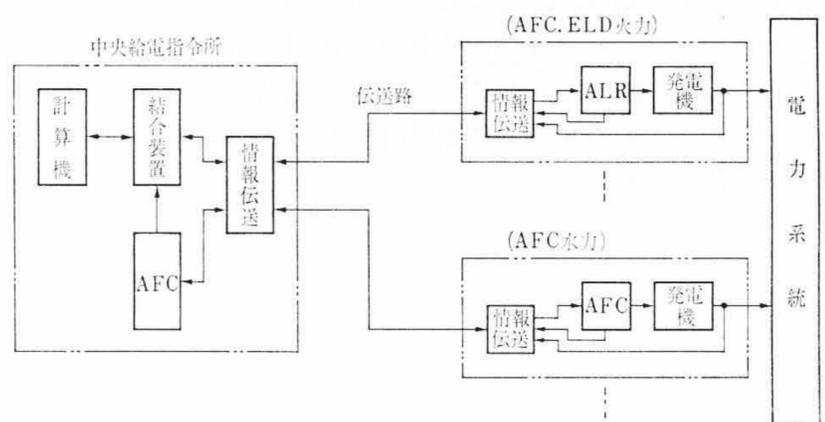


図1 自動給電システムの構成

の情報伝送装置は、中給から発電所へ向けは発電機出力指令値を、発電所から中給へ向けは発電機出力およびALR運転状態など多数の制御監視情報を迅速確実に伝送する必要がある。

情報伝送の方式としてはアナログ・テレメータとスーパービジョンの併用方式とデジタル方式とがあるが、デジタル方式は、

- (1) 伝送中の誤差がきわめて少なく高精度であり、大容量火力発電所の制御に適する。
- (2) 時分割多重方式を適用してサイクリック伝送することにより、共通の送受信装置と伝送路とを用いて多数情報の高効率伝送が可能である。
- (3) 測定量および状態表示信号が同一装置で伝送可能である。
- (4) 情報の転送、記録、計算機との結合が容易である。

などの利点があるので、自動給電システム用情報伝送装置に対してサイクリック・デジタル方式を採用した。

図2は、本装置の適用の一例として、中給と春日出火力発電所、大阪火力発電所、小曾根給電所および古川橋給電所とを結ぶ伝送系統を示したもので、中給と各発電所間には指令用および表示用、中給と給電所間には表示用のデジタル情報伝送装置がそれぞれ設置されている。この系統では、中給より各火力発電所に対して発電機ごとに出力指令値が送られ、各火力発電所から中給に向けては発電機出力、ALRの動作状態が送られるとともに確認のため出力指令値が返送される。また、各給電所には出力指令値および発電機出力が各火力発電所から中給経由で伝送され、系統の運転状態が監視されている。

本装置の伝送容量は、将来情報量が増大することを考慮して、最大225量まで拡張可能としてある。情報量に応じて伝送回線も200、600または、1,200ボーを任意に選択使用して、迅速な伝送が行なわれるようにしてあるが、図2の場合は、今のところ情報量が比較的少ないので、200ボー回線を使用している。

また、本装置は中給において計算機と接続され、かつ、一部のデ

* 関西電力株式会社

** 日立製作所大みか工場

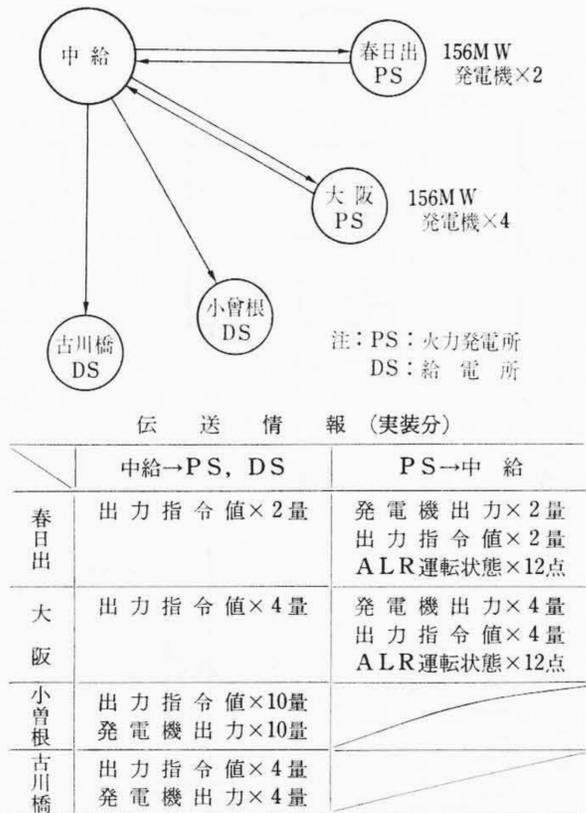


図2 情報伝送系統の一例

ータは中給を経由して給電所に転送されるが、今後、自動給電システムが整備拡張されると中給に集中するデータ量が膨大になり、また各伝送回線の伝送速度はそれぞれのデータ量に応じ必ずしも同一でない。この場合、伝送系と計算機との接続あるいはデータの転送はデータ交換装置を介して行なうことが有利になるので⁽²⁾、本装置はデータ交換装置とも容易に接続されるようになっている。

なお、本装置の適用にあたっては、対象発電所の発電機出力は、図2の例のように、いずれも大容量であり、装置の故障は系統運用に重大な影響を及ぼすことになるので、きわめて高い信頼度が要求される。したがって本装置の符号検定方式としては信頼度の高いパリティ・チェックと反転2連送照合の併用方式を採用し、機器本体については主要回路をIC化するとともに送受信装置、電源装置および伝送路を2重化して装置故障時にも系統運用上全く支障のないようにしている。

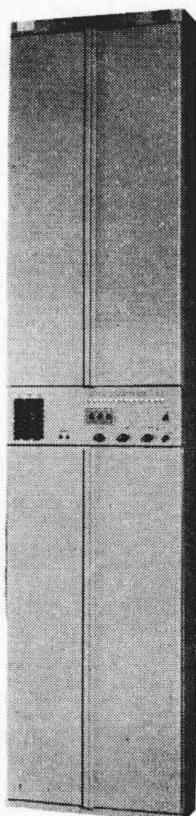


図4 送信専用架の外観

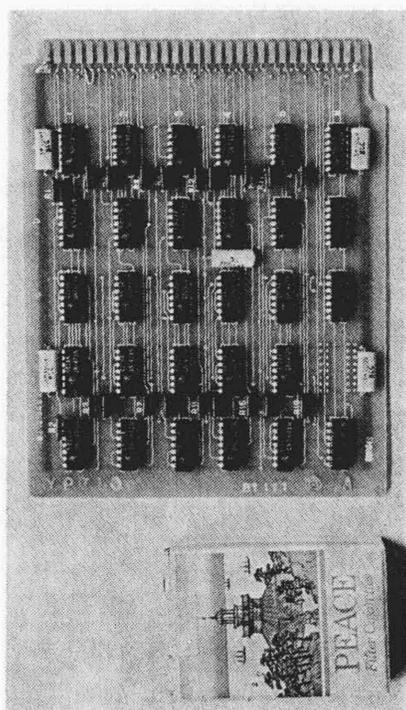


図5 プラグ・イン・ユニットの一例

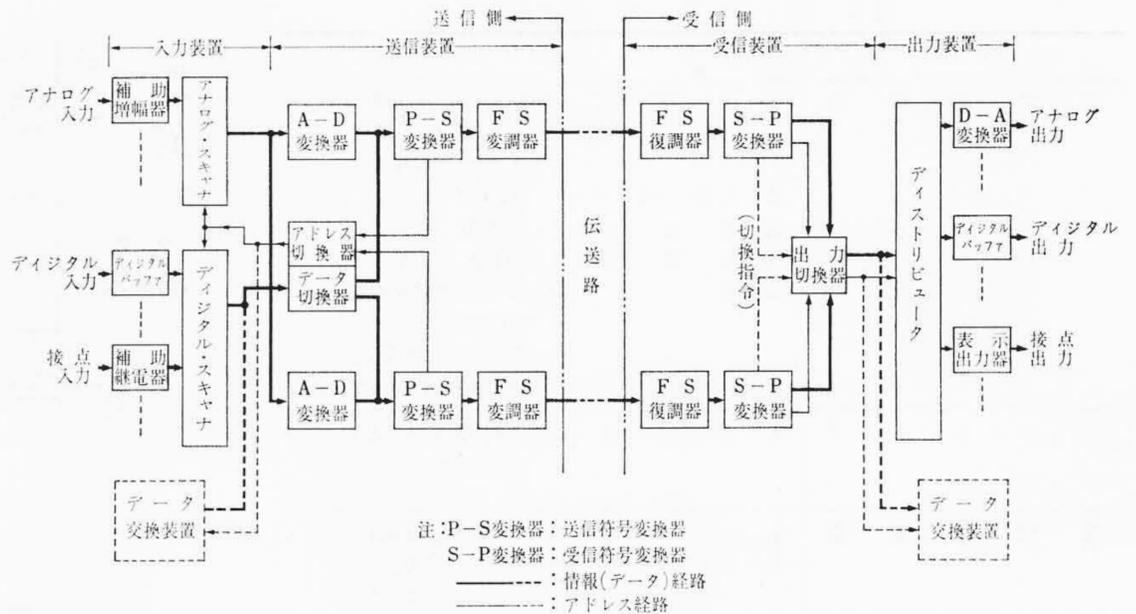


図3 サイクリック・デジタル情報伝送装置ブロック図

3. サイクリック・デジタル情報伝送装置

3.1 装置の構成

図3は本装置の構成を示すブロック図である。送信側は入力装置と送信装置、受信側は受信装置と出力装置とで構成され、データ交換装置との接続も可能である。また本装置では信頼度を高めるため送受信装置、伝送路などの共通部は2重化されている。

各回路を収納するための架は中給、給電所などに設置される送信専用架、受信専用架、A-D変換器架、D-A変換器架、表示出力器架および発電所に設置される送受信共用架、個別入力架、個別出力架の8種類に統一標準化され、各回路もユニットごとに標準化されて将来の増設が容易に行なえるようになっている。

図4は、一例として、送信専用架の外観を、図5はIC回路を実装したプラグ・イン・ユニットの一例を示したものである。

3.2 機能

本装置ではアナログ情報、デジタル情報、接点情報などいずれ

表1 装置の仕様

項目	仕様	
情報伝送方式	時分割多重サイクリック伝送方式	
伝送容量	最大 225 量	
同期方式	フレーム同期方式	
符号方式	サイクル構成	最大 15 フレーム構成 (半固定)
	フレーム構成	最大 15 情報ワード構成 (半固定)
	情報ワード構成	40 ビット構成 (20 ビットの2連送) 20 ビットの内訳 (アドレス 4 ビット) (データ 12 ビット) (サイン 1 ビット) (フラグ 2 ビット)
	数値表現方式	2進化10進3けた(12ビット)+サイン(1ビット)
ビット伝送形式	NRZ 等長符号	
誤り検定方式	パリティチェック, 反転2連送照合併用方式	
変調方式	音声周波 FS 方式 変調速度 (200 ポー または) (600 ポー または) (1,200 ポー)	
受信符号ひずみマージン	±35% 以上	
情報伝達時間	15 情報ワードにつき 200 ポーにて 3.2 秒 1,200 ポーにて 0.53 秒	
論理回路方式	IC化スタティック方式	
使用条件	0~40℃, 40~85% RH	

表2 個別入力回路

回路名称	仕様
補助増幅器	1. 入力電圧： $\pm 20 \sim \pm 200 \text{ mV}$ または $0 \sim 5 \text{ V}$ または $0 \sim 10 \text{ V}$ 2. 入力インピーダンス： $100 \text{ k}\Omega$ 以上 3. 出力電圧： $0 \sim 5 \text{ V}$ 4. 負荷抵抗： $50 \text{ k}\Omega$ 以上 5. 精度：A-D変換器を接続した状態で 標準状態 $\pm 0.3\%$ 以下 使用条件内 $\pm 0.5\%$ 以下
デジタルバッファ	1. 入力情報：最大 13 ビット並列コード (数値情報 (メッセージ など))
補助継電器	1. 入力条件：無電圧独立 a 接点 2. 出力条件：接点开で「0」出力 接点閉で「1」出力

表3 FS変調器の仕様

項目	仕様
中心周波数および偏振幅	200 ボー： 800 Hz より 400 Hz 間隔で $2,800 \text{ Hz}$ まで 6 CH 偏 移 幅 $\pm 100 \text{ Hz}$ 600 ボー： $1,200 \text{ Hz} \pm 200 \text{ Hz}$ 1,200 ボー： $1,700 \text{ Hz} \pm 400 \text{ Hz}$
入力条件	入力抵抗： $3.5 \pm 0.5 \text{ k}\Omega$ または High 入力レベル：マーク $-8 \pm 2 \text{ V}$ スペース $+8 \pm 2 \text{ V}$
出力レベル	600Ω 終端にて $-20 \pm 10 \text{ dbm/CH}$
出力インピーダンス	$600 \Omega \pm 30\%$

表4 FS復調器の仕様

項目	仕様
中心周波数および偏振幅	変調器と同じ
入力条件	入力インピーダンス： $600 \Omega \pm 30\%$ 入力レベル： $-12 \pm 10 \text{ dbm/CH}$
受信入力のS/N比	受信フィルタ出力において 25 db 以上
出力条件	負荷抵抗： $3.5 \pm 0.5 \text{ k}\Omega$ 出力レベル：マーク $-8 \pm 2 \text{ V}$ スペース $+8 \pm 2 \text{ V}$
総合ひずみ	$\pm 15\%$ 以下

表5 個別出力回路

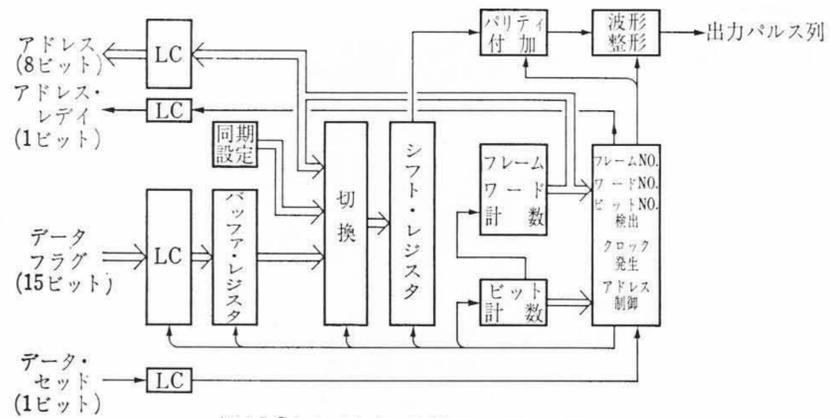
回路名称	仕様
D-A変換器 (電圧形)	1. 出力電圧： $0 \sim 10 \text{ V}$ 2. 負荷抵抗： $5 \text{ k}\Omega$ 以上
D-A変換器 (抵抗形)	1. 出力抵抗： $0 \sim 999 \Omega$ 2. 電流量： 20 mA 以上
デジタルバッファ	1. 出力情報：最大 13 ビット並列コード (数値情報 (メッセージ など))
表示出力器	1. 出力条件：監視用接点 (2灯表示用) および 中継用接点 各1組/ポジション

の伝送も可能で、表1は本装置のおもな仕様を示したものである。

3.2.1 入力装置

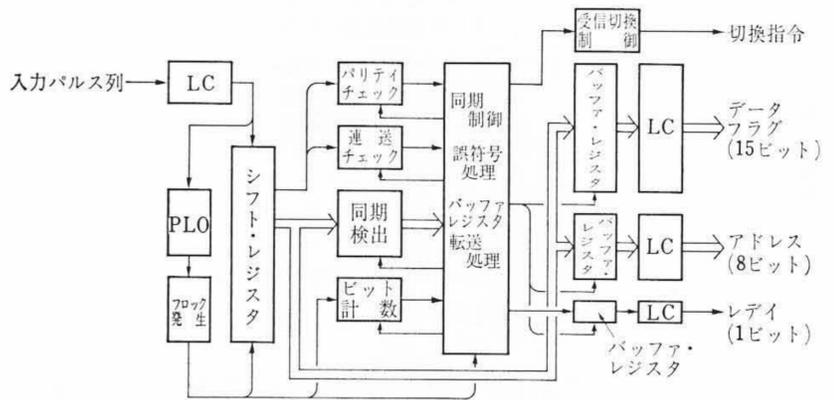
入力装置は補助増幅器、デジタル・バッファ、補助継電器などの個別入力回路とアナログおよびデジタル・スキャナからなり、個別入力回路は入力情報をA-D変換器またはP-S変換器の入力インターフェースに合わせて変換し、スキャナはP-S変換器からのアドレスに対応する情報を選択して送信装置に与える。

個別入力回路の種類と仕様は表2に示すとおりである。



注：LC：レベルチェンジャ

図6 P-S変換器の構成



注：LC：レベル・チェンジャ、PLO：位相制御発振器

図7 S-P変換器の構成

3.2.2 送信装置

送信装置は入力装置からの信号を、A-D変換器、P-S変換器およびFS変調器により、伝送信号に変換して伝送路の送出するもので、それぞれが2組設置されて2ルート伝送が行なわれる。この場合、アナログ入力A-D変換器により2進10進3けたの並列デジタル符号に変換され、デジタル入力は同様の並列符号として、ともにP-S変換器に与えられる。

P-S変換器はアドレスの指定、同期ワードの付加、入力信号の並列-直列(P-S)変換、誤り検出用冗長符号の付加などを行なうもので、図6はその回路構成である。P-S変換器出力の信号速度は、FS変調器の変調速度に対応して、200、600または1,200ビット/秒のいずれかに設定され、伝送信号の1サイクル内のフレーム数およびフレーム内のワード数もそれぞれの計数回路において容易に設定変更される。

FS変調器はP-S変換器出力を副搬送波変調信号に変換するもので、表3はその仕様を示したものである。

3.2.3 受信装置

2ルートの伝送信号はそれぞれの受信装置により受信される。まず、伝送路からの変調信号はFS復調器により直流パルス信号に変換され、S-P変換器に与えられる。表4はFS復調器の仕様を示したものである。

S-P変換器はフレーム同期およびビット同期の制御、受信符号の誤り検出、直列-並列(S-P)変換などを行ない、各情報ごとに並列デジタル符号を出力装置に与えるもので、2組の出力のうちいずれか一方が出力切換器を介して出力装置に与えられる。図7はS-P変換器の構成を示したものである。

3.2.4 出力装置

S-P変換器の出力情報はディストリビュータによりそれぞれのアドレスに対応する個別出力回路に分配される。個別出力回路は受信情報を記憶して所定の出力情報に変換するが、回線異常、符号誤りなどが受信装置において検出された場合には、個別出力回路の内容は更新されず、さらにこの状態が一定時間継続する場

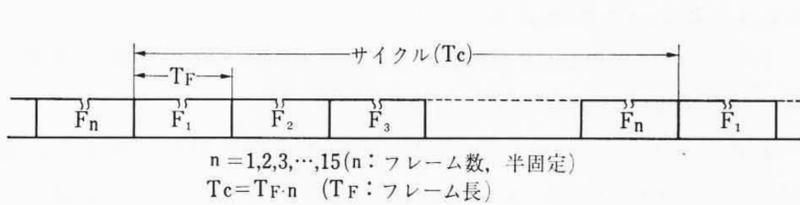


図8 サイクル構成

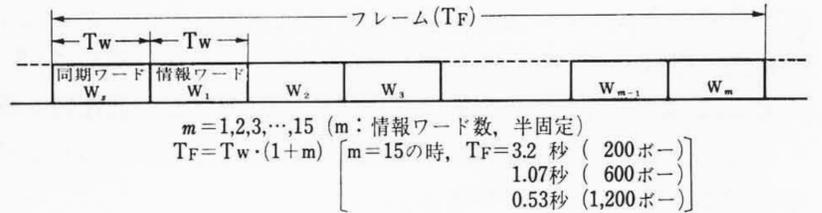
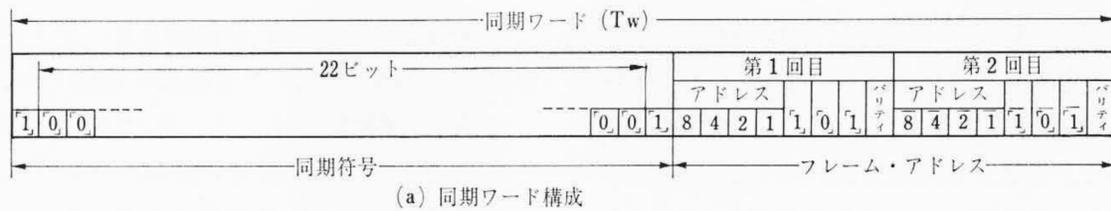


図9 フレーム構成



(a) 同期ワード構成



(b) 情報ワード構成

$T_w = 200 \text{ ms}$ (200ボー)
 66.7 ms (600ボー)
 33.3 ms (1,200ボー)

「1」: マーク
 「0」: スペース
 パリティ: 第1回目奇数, 第2回目偶数

図10 ワード構成

合には警報される。

個別出力回路の種類と仕様を示したのが表5である。

3.3 伝送方式

3.3.1 符号方式

本装置の伝送容量は最大225量で、これを15フレームに分割し、1フレームは15量の情報を伝送する。

図8は1サイクルの符号構成を示すもので、情報量に応じて最大15フレームまで任意に増減できる。

1フレームは図9に示すように、1組の同期ワードと15組の情報ワード(1情報ワードは1測定量に対応する)とから成る16ワード構成である。フレーム長は、運用面から、変調速度200ボーの場合に16ワードの情報伝達時間を約3秒として定められている。同期ワードはフレームの同期を確保するために伝送され、フレーム内のワード数も半固定式に変更可能である。

図10は同期および情報ワード構成を示したもので、いずれもNRZ (Non-Return-to-Zero) 等長符号の40ビット構成である。

同期ワード中には24ビットのフレーム同期符号とフレーム・アドレスが含まれる。同期符号としては情報ワード中には現われえない特殊な符号を選ぶ必要があるので、図10(a)に示すパターンを採用している。またフレーム・アドレスとして4ビットを使用し、0000を除く純2進コードで15組のフレームを指定する。この4ビットは予備の3ビットおよびパリティ・ビットとともに2連送される。

情報ワードは20ビットを基本単位として2連送される。データ・アドレスは4ビットの純2進コードで、0000を除く15組のアドレスを指定する。データは13ビット構成で、数値情報は2進10進3けたとサインで、また、オン・オフ情報は1ポジションに対し1ビットが割当てられ、1ワードで13ポジションを伝送している。フラグは受信制御用符号で、フラグ1は受信データの書込禁止符号、フラグ2は2語情報の連結符号として使用される。またパリティ・ビットは20ビット単位の垂直パリティ検定用として付加されている。

3.3.2 同期方式

多数の情報を時分割多重伝送するサイクリック伝送系では、送信側と受信側の同期を常に正確に保持するとともに、万一同期ずれが生じても迅速に同期を回復する機能が必要である。このためには、伝送される符号系列中に一般の情報符号とは異なる同期符号をそう入することにより、サイクル、フレームもしくはワードなどの同期単位の区切りを識別して同期をとる。

同期特性を良くするためには同期符号の冗長度をある程度大きくする必要はあるが、これをワードごとに付加すると伝送効率が低下するので、本方式ではフレームごとに同期符号を伝送するフレーム同期方式を採用している。

さらに、フレームあるいはワード内の同期を保持するためには、伝送符号の最小単位であるビットごとの同期が必要であり、その方式としては、

- (1) 受信側に、送信側とは独立の高安定基準発振器を置いて、ビット同期のためのクロック信号を発生させる方式
- (2) 受信側において、受信符号のビットごとの符号変換点を検定してクロック信号を取り出す方式
- (3) 受信側に、送信側とは独立の比較的安価な発振器を置いてクロック信号を発生させるとともに、受信符号の変換点を利用してクロック信号の位相、周波数を修正する方式

などがある。(1)の方式においては、送信側と受信側のおおのの基準発振器に固有の発振周波数偏差のために、特にフレーム内の最終部付近において、受信符号のひずみに対する受信マージンが減少する欠点がある。また(2)の方式は、受信符号に追従してビット同期がとられるので、本質的に符号ひずみに対して強いが、



注: PD : 位相検出器
 LPF : 低周波フィルタ
 VCO : 電圧制御発振器

図11 PLOのブロック図

伝送符号の全ビットに変換点を与える必要があるため、たとえばRZ長短符号のように伝送効率が低下する。これらに対して(3)の方式は(2)方式の特長を有するとともに、受信側に発振器を置くので、全ビットに符号変換点を与える必要はなく、あらゆる符号形態に適用することができる。

本装置では、各ビットをNRZ等長符号により伝送しているの、位相制御発振器(PLO, Phase Locked Oscillator)⁽³⁾を応用した(3)の方式のビット同期方式を採用している。図11はPLOのブロック図を示したもので、VCOの出力は、PDにおいて、受信符号から取り出された入力クロック信号と位相比較され、PDの出力はLPFを介してVCOの出力を入力クロックと同位相になるよう制御する。PLOによるビット同期方式は符号ひずみ特に不規則ひずみに対して強く、本装置においてその受信マージンは±40%以上であることが確認されている。

3.3.3 誤り制御方式

一般に、伝送路上にはエレメント誤り率 10^{-4} ~ 10^{-6} 程度の符号誤りが発生するので、これによる誤伝送をさけるための誤り制御が必要であり、その方法には、誤り検定方式と誤り訂正方式がある。誤り訂正により積極的に受信信号を利用することは望ましいが、符号の冗長度、回路の複雑さなどに問題があり、方式、実績とも電力用通信の分野ではまだじゅうぶんに確立されていない。

一方、サイクリック伝送系では誤り検定によりたとえ受信信号が捨てられても次の周期で正しく受信される確率が大きく、この場合の伝送遅れは運用上ほとんど支障にならないと考えられる。また2ルート伝送を行えば、たとえ誤りが連続的に発生しても、ルート切換により伝送の中断を防ぐことができる。それゆえ本装置では誤り検定方式を採用した。誤り検定において重要な問題は誤りの見逃しであり、給電運用上からは、その確率を 10^{-10} 以下とする必要がある。また、符号誤りのうちで特に問題となるのはバースト性雑音によるものであり、これに対してはある程度の時間間隔を置いて検定する水平パリティ・チェック、群計数チェックあるいは連送照合などの方式が有効である。

本装置では、以上のことを考慮し、比較的簡単な回路により、情報ワードごとに検定が可能な垂直パリティ・チェックと2連送照合の併用方式を採用し、図10に示すように、パリティの第1回目は奇数、第2回目は偶数とし、また連送に際し2回目の符号は極性を反転させて、信頼度を高めている。この誤り検定により、エレメント誤り率が 10^{-4} 程度の回線において、バースト性雑音を考慮しても、誤り見逃し率は 10^{-10} 以下になると考えられる。

3.3.4 2ルート伝送方式

2ルート伝送の目的は機器不良あるいは伝送路の瞬断、雑音に対する伝送信頼度の向上を図ることである。

本装置における2重化の範囲は図3に示すとおりであるが、各回路は常時使用状態にあり、伝送路もたとえばケーブル回線とマイクロ回線というように互いに独立な2回線を使用している。

図3において、送信側では2組のP-S変換器から独立にアドレス符号がアドレス切換器に与えられ、このうち早いほうの符号が優先してスキャナを制御する。デジタル入力データはデータ切換器により優先側のP-S変換器に接続され、アナログ入力も優先側のA-D変換器にはいる。P-S変換器はこれら出力の読み込みを完了するとアドレス符号の送出を中断するので、待機中のほかのP-S変換器のアドレス符号が有効となり、新しく選ばれた入力情報はこのP-S変換器に与えられる。したがって入力情報は時分割的に2組のP-S変換器に交互に与えられ、その出力は独立な2ルートの伝送路へ常時送出されている。

一方、受信側では常時2ルートから受信しているが、出力切換器においていずれか片方の正常なP-S変換器の出力が出力回路に接続され、回線断、連続的な符号誤り、同期不良などが発生すれば自動的にほかのルートに切換えられるので、情報伝送が不能となる確率はきわめて小さい。

4. 結 言

以上、関西電力株式会社において自動給電システム用として採用されたサイクリック・デジタル情報伝送装置の概要について述べた。本装置は、昭和43年11月納入以来、中給の計算機と結合され、自動給電システムの一環として好調に稼働中である。

最近、各電力会社で本格的な自動給電の実施が計画されているが、近い将来、電圧無効電力制御、事故時系統自動操作の適用など運転操作の内容もさらに複雑となり、中給に集中する情報量は増大する傾向にある。したがって情報伝送システムとしてさらに高速、高能率なものが要求され、多数の伝送データを処理するためにデータ交換装置の開発も必要になるので、この面についても現在検討中である。

終わりに本装置の完成にあたり、多大のご協力をいただいた関係各位に深く感謝の意を表する。

参 考 文 献

- (1) 真己: OHM 55 (12) 17 (昭43-11)
- (2) 谷中: 日立評論 50, 289 (昭43-4)
- (3) E. L. Gruenberg et al.: Handbook of Telemetry and Remote Control, 8-32 (1967, McGraw-Hill)