

琉球大学学術リポジトリ

模擬電力システムにおける位相差測定装置の試作

メタデータ	言語: 出版者: 琉球大学工学部 公開日: 2008-04-01 キーワード (Ja): キーワード (En): Phase angle, Power System, Parallel Operation 作成者: 平良, 栄吉, 宮城, 隼夫, 山下, 勝己, Taira, Eikichi, Miyagi, Hayao, Yamashita, Katsumi メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/20.500.12000/5510

模擬電力システムにおける位相差測定装置の試作

平 良 栄 吉* 宮 城 隼 夫** 山 下 勝 己**

Trial Production of a Measuring Device of Phase Angle for Power Systems

Eikichi TAIRA* Hayao MIYAGI**
and Katsumi YAMASHITA**

Summary

In this paper, the principles and structure of the device for measuring phase angle of the power system are presented. Efficiency of the device is explained by an experimental result which is a synchronizing phenomenon of a synchronous generator on parallel operation. This measuring device has the following features:

- (1) Influence of noise can be decreased, because this device is constructed by digital circuit except for input part.
- (2) Accuracy of the measurement is easily improved by only changing frequency of the oscillator.
- (3) Digital output system is employed to keep the accuracy of measured values.

Key Words : Phase angle, Power System, Parallel Operation.

1. はじめに

電力システムは、電力の需要に伴い年々、巨大化、複雑化している。そのため、システムの一部で生じた事故に対してなんらかの処置を施さなければ、その事故が他に影響を与え重大な事故に至ることがある。そのような事故波及を最小限度に抑えるためには、より高速な遮断が必要となってくる。筆者らは、その遮断信号の決定をリアプノフの安定性の概念により行ない、電力システムを安定制御することを最終目的としている。

電力システムにおいて広く用いられている同期発電機の運動方程式は、一般に、非線形微分方程式で表わされる。リアプノフ法はこの非線形微分方程式を直接解くことなしにシステムの安定性及びその安定領域までも論じる事ができ、よって計算機負荷を軽減できるためオンライン制御に有効である。このリアプノフ関数を電力システムの安定判別に適用するためには、同期発電機の内部誘導起電力と母線の線間電圧との位相差角及び発電機の回転速度（角速

* 琉球大学大学院工学研究科

Graduate Student, Electrical and Information Engineering.

** 琉球大学工学部電子情報工学科

Dept. of Electronics & Information Engineering, Fac. of Eng.

度)を得る必要がある^(2),3)。筆者らが実験に使用する模擬電力システムにおいて回転速度に関しては、その測定装置はすでに用意されている。しかしながら、位相差角の測定に関しては本制御目的にかなう装置がない⁽⁴⁾。そこで今回、位相差測定装置を試作したのでその原理と回路構成について報告する。

2. 測定原理と回路構成

2. 1 測定原理

三相同期発電機の内部誘導起電力を直接得ることは困難である。内部誘導起電力と同位相の電圧波形を得るためにここでは、回転軸に発電機と同じ極数をもつACタコジェネ（以下 ACTG）をとりつけ、その出力電圧を利用している。この ACTG 出力電圧と母線の線間電圧の2つの正弦波を図1のようになる。

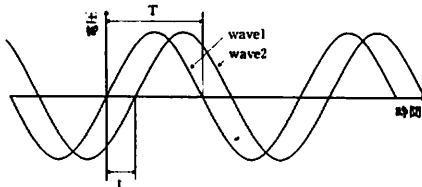


Fig. 1 Phase difference of two waves

ACTG の出力電圧（内部誘導起電力）を基準波としその半周期を T、これと線間電圧との時間差を t とすると位相差角 δ は次式で書き表すことができる。

$$\delta = 180 \frac{t}{T} \quad [\text{deg}] \quad (1)$$

(1)式より T 及び t に比例したパルス列を作りその数を数えることにより位相差角を測定することができる。そこで、基準波である ACTG の出力電圧の正の半波を、線間電圧の負の半波をそれぞれ矩形波に整形し、この2つの矩形波を AND ゲートを通すことにより2つの波形の位相差部分を得ることができる。(図2参照)さらに、この2つの矩形波にパルスを加えることにより(1)式の T 及び t に比例したパルス列が得られるのでこれをカウントすることで位相差角が測定できる。

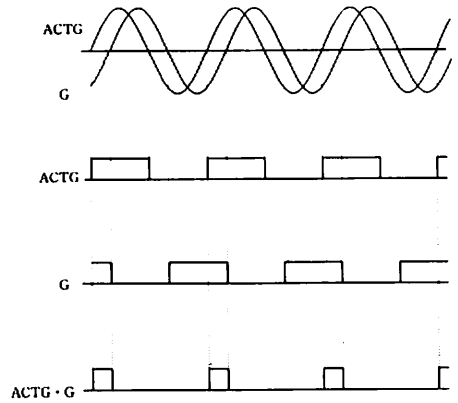
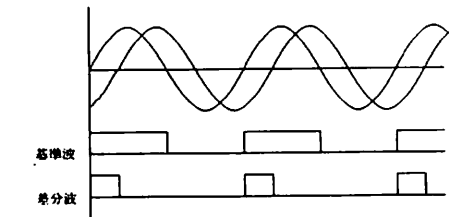
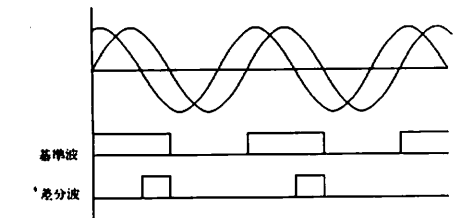


Fig. 2 Wave arrangement



(a) Lagging phase difference



(b) Leading phase

Fig. 3 Lagging phase and Leading phase for basic wave

位相には図3のように基準波に対して進みと遅れがある。それぞれの場合において上記のような波形整形を行なうと、位相差部分（以下、差分波と呼ぶことにする）に注意すれば基準波の立ち上がりに同期する場合は遅れであり同期していないのが進みである。このことから基準波及び差分波の立ち上がりを見れば、位相の進みと遅れを区別することができる。以下に今回製作した回路の構成について述べる。

2. 2 回路構成

今回製作した位相差測定装置のブロック図を図4に示す。本装置は大きく3つに分けることができる。

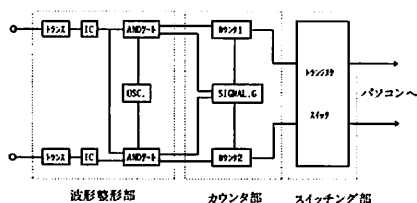


Fig. 4 Block diagram

2. 2. 1 波形整形部

母線の線間電圧と回転軸にとりつけられた ACTG の出力電圧は、ともにグランドレベルが異なるためまずトランスを用いて絶縁と降圧を行ない IC, TCA 780 で正弦波を矩形波に整形する。次に差分波を形成し発振回路から得られるパルス列を基準波と差分波に加える。ここで発振回路の発振周波数を 100 KHz とすると本装置の測定精度は次式で与えられる。

$$\epsilon = \frac{360}{\text{発信器周波数} / \text{基準波周波数}} \quad (2)$$

$$= 360 / (100 \times 10^3 / 60) \approx 0.2 \quad [\text{deg}]$$

よって発振周波数を高くすれば精度は向上する。しかしながら、カウンタがあふれを生じないように発信周波数を決定しなければならない。

2. 2. 2 カウンタ部

カウンタ部は波形整形部で得られたパルス列をカウントするカウンタと、その値を保持するラッチ及び制御信号を生成する部分からできている。波形整形部出力及び制御信号を図 5 に示す。各カウンタは

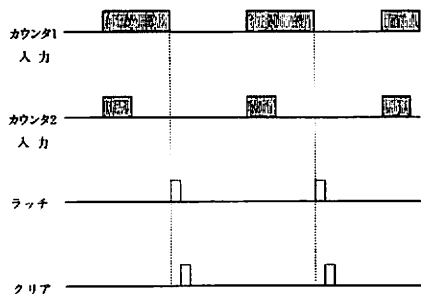


Fig. 5 Input pulses of counter, 2 and Control signals

各々のパルス列をカウントした後、次のパルス列が来るまでにカウント数を保持するラッチ、カウンタの値を零にするクリアの操作が必要であるが、これは両カウンタに共通な信号を用いている。また、カウンタは 12 bit の二進カウンタであるが、差分波のパルス列をカウントするカウンタ 2 の最上位 bit は、位相の進み遅れを区別する符号 bit として用いているため実際は、11 bit カウンタとして使用されている。そのため、発振回路の発振周波数の上限は、 $(2^{11} - 1) \times 120 = 245.6 \text{ kHz}$ となるが、発振周波数の変動及び基準波周波数の変動を考慮すると、200 kHz 前後が上限である。本装置の測定範囲は、遅れを + (プラス)、進みを - (マイナス) とすれば $+180 \sim 0 \sim -180 + \Delta \theta$ となる。 $\Delta \theta$ は、本装置の原理上の測定限界を示し 1 度以下である。本測定装置では、位相の進み遅れを基準波及び差分波の整形矩形波の立ち上がりが同時であるか否かで判断しているため立ち上がりの接近した時、すなわち位相差角で -180 度の付近では同時と見なされる。そのため、 $-180 \sim -180 + \Delta \theta$ の間は + で表示される。また、基準波の 1 周期ごとに位相差を測定しているので、1 秒間の測定回数は基準波の周波数に等しくなる。

2. 2. 3 スwitching部

カウンタ部のデジタル出力から実際に位相差角を得るには次式の様な演算が必要である。

$$\delta = \frac{n_2}{n_1} \cdot 180 \quad [\text{deg}] \quad (3)$$

n_1 : カウンタ 1 のカウント数

n_2 : カウンタ 2 のカウント数

本装置では精度を損うことなく位相差角のデータを転送するためにデジタル出力を採用している。また、制御システムのブレインとなるコンピュータ本体にはその保護のためフォトカプラを用いた絶縁型のデジタルインターフェースカードを取りつけている。そのため、カウンタ出力の TTL (Transistor Transistor Logic) レベルを昇圧するためのトランジスタスイッチ回路を設けている。

3. 測定結果

今回試作した位相差測定回路を用いて三相電源の線間電圧で構成できる位相差角を測定したのでその結果を表1に示す。

Table 1 Phase angles of Three-phase power source

位相差角 [deg]	180	120	60	0	-60	-120
測定値 [deg]	179.8	120.2	60.0	0.0	-59.5	-119.7
誤差 [deg]	-0.2	0.2	0.0	0.0	0.5	0.3

表1を見ると遅れ位相，すなわち正の位相差角については ± 0.2 度の誤差であることが分かる。これは筆者らの望む測定精度を十分満足している。

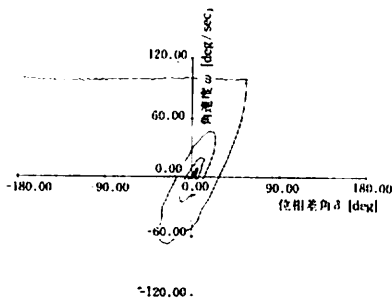
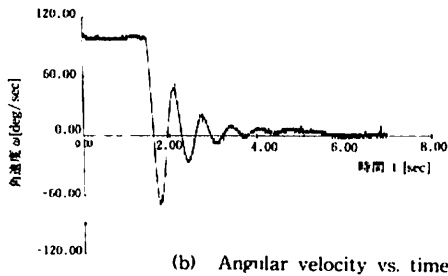
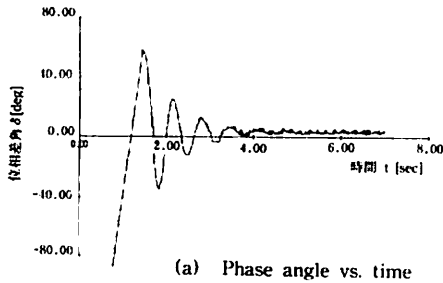


Fig. 6 Asynchronizing phenomenon of a synchronous generator on parallel operation

また，今回は電力システムにおける同期発電機の並行運転時における同期化現象を模擬電力システムを用いて測定したので，その結果を図6に示す。模擬電力システムの同期発電機の発電電力を模擬送電線を介して無限大母線（ここでは沖縄電力）へ送電する場合，同期発電機は同期速度（無限大母線の周波数に依存する速度）で回転していなければならない。すなわち，送電側と受電側とで同じ周波数でなければならないが送電線への接続時にそれが多少ずれていても発電機の持つ同期化力により，発電機は動揺しながらも同期速度に落ち着く。図6(c)は，同期速度1800 [rpm]の同期発電機を約1816 [rpm]（同期速度とのずれは約100 [deg/sec]）で回転させ，P点で送電線に接続した時の様子を描いたものである。横軸 δ は，無限大母線の線間電圧と同期発電機の内部誘導起電力との位相差角 [deg] であり，縦軸 ω は同期発電機の回転速度 [deg/sec] で，同期速度とのずれを角速度で表している。

今回の実験では，位相差角 δ と回転速度 ω をリアルタイムで測定できることを確認した。また，計算機上に位相面をモニターすることもできた。よって，筆者らの最終目的である電力システムのオンライン制御においてこの位相差角測定装置は，十分有効であると考えられる。

4. むすび

電力システムの安定判別にリアプノフ法を適用する場合には，発電機の回転速度と同時にその内部誘導起電力と母線の線間電圧との位相差角を得ることが不可欠である。今回その位相差角を得るための位相差角測定装置を試作し，また同期発電機の並行運転時の同期化現象を測定して本測定装置の有効性を示した。本測定装置は，

- (1) 入力段以降，全回路をデジタル回路で組んでいるため，ノイズ等の影響を受けにくい。
- (2) 発信器の周波数を変えるだけで容易に精度が変えられる。
- (3) 測定値の精度を損なわないデジタル出力である。

等の特長がある。測定精度に関しては，今回の試作回路においては ± 0.2 [deg]であった。しかしながら2.2.2で述べた符号bit用の別のフリップフロップを設けて，カウンタを12 bit カウンタとして使用すれば

最高約 ± 0.05 [deg] の精度が得られる。

最後に、本装置の製作にあたり御協力いただいた同研究室の具志幸人君（現㈱OCC）ならびに、瑞慶山薫君に深く感謝いたします。

なお、本研究は文部省科学研究費一般Cの補助を受けたことを付記する。

参考文献

- (1) 大久保陽一：“制御用マイコン初歩から応用まで” 日刊工業新聞社
- (2) 川小根敦, 金城淳, 上原毅：“リアプノフ法による模擬電力システムにおけるオンライン安定度評価” 昭62琉球大学卒業論文
- (3) 具志幸人：“電力システムのコンピュータ制御に関する研究” 昭63琉球大学卒業論文
- (4) 上里勝実, 千住智信：“同期電動機の運転時位相面表示装置システム” 琉球大学工学部紀要第34号, pp. 219-226, 1987-5