

簡易な SCR 式力率計の試作について*

梅 沢 守

On the Trial Production of the Power Factor Meter using SCR

Mamoru Umesawa

I 序 言

電力負荷の力率を計測し制御するために 各種の方式が考えられているが、いずれも購入価格が高く、かつ、回路的にも複雑で自作が容易でない。ところが、

①リニアモータが動力利用から計測器としても利用され始めたと同様に、SCR（逆阻止三端子サイリスタ）も動力制御利用から計測器として利用できる。

②力率継電器に應用されている位相整流（同期検波）回路をSCR化できる。

などから、SCRの位相制御原理を利用して 商用周波数負荷の力率が原理的に測定できることに着目して、安価で簡易な力率計を試作した。以下にその試作結果について述べる。

II 力率測定法各種

2つの電気量（電圧あるいは電流）間の位相差（力率角）を測定する方法としては、

- (1) 電力計あるいは三電圧（流）計法による電力の測定値から算出する。⁽¹⁾
- (2) 電流力計型あるいは回転磁界型の力率計を用いる。⁽²⁾
- (3) ツェナーダイオードを用いた位相—電流変換器を利用する。⁽³⁾
- (4) リサーチ 図形法や2現象シンクロスコープによる波形観測からもとめる。⁽¹⁾
- (5) 双安定 マルチバイブレータを2電気量で交互にトリがさせて 平均値をメータで指示させる。⁽⁴⁾
- (6) 位相整流法を用いる。⁽⁵⁾
- (7) デジタル位相計（アンド素子のパルス出力をカウンタで計数する）を用いる。⁽⁶⁾⁽⁷⁾

などの方法があるが (1)(2)は微小負荷に対して駆動トルク不足、(4)(5)は電力負荷には適当でなく、(7)は高精度測定が可能であるが、回路的に複雑で高価格である。これらに対して本稿のSCR利用の試作器は高精度の測定は期待できないが、(3)(6)よりもさらに簡単な回路で力率の測定が可能であることを以下に示す。

III SCR式率計の原理

力率継電器の位相整流回路部分を図1に示したが⁽⁵⁾、トランジスタ Q_1 、 Q_2 の部分をSCRに置

*1974年11月6日受理

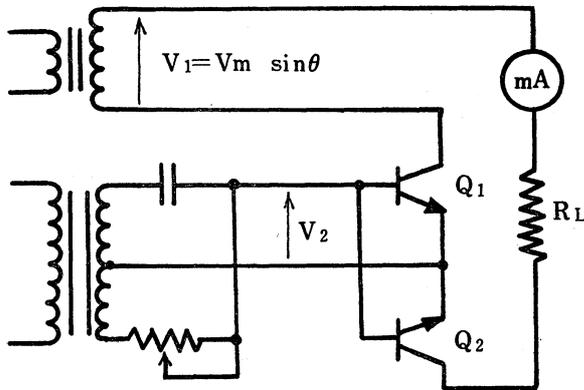


図1. 位相整流回路

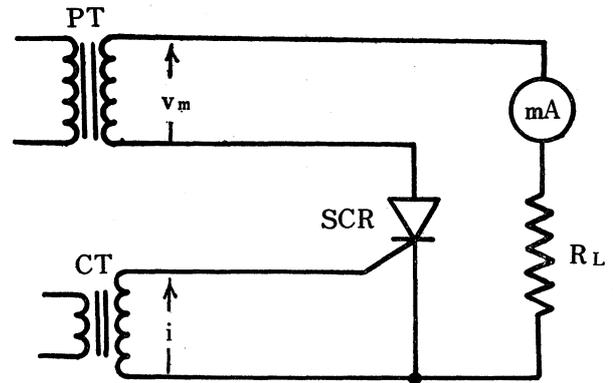


図2 SCR式力率計の原理図

き換えると図2となり、可動コイル型直流計器 (mA) を目盛定めすれば SCR の位相制御の理から この直流計器は力率計あるいは位相計の指示部となる。図1の場合、電圧 V_1 、 V_2 の位相差を φ とすれば出力電圧の平均値 \bar{V}_o は、

$$\bar{V}_o = (V_m \cos \varphi) / \pi \quad (1)$$

となり⁽⁵⁾、原理的には位相が $\varphi = 0^\circ \sim 90^\circ \sim 180^\circ$ と変化すれば 出力が $+V_m/\pi \sim 0 \sim -V_m/\pi$ と変化する。すなわち、位相角 90° を出力零点とするので 一般の力率計として使用するには、移相器で 90° 位相をずらす必要がある。次に図2の場合の出力計 (mA) の指示 \bar{I} は おくれ力率負荷の場合

$$\bar{I} = \frac{1}{2\pi R_L} \int_{\varphi}^{\pi} \sqrt{2} V \sin \theta d\theta \quad (2)$$

$$= \frac{\sqrt{2}V}{2\pi R_L} (1 + \cos \varphi) \quad \text{ただし } \varphi \geq 0 \quad (3)$$

である。すなわち 可動コイル型計器で測定すれば $\sqrt{2}V/2\pi R_L$ だけバイアスされ、 $\cos \varphi$ に対して直線関係の指示が得られる。なお $\varphi < 0$ において、出力は一定値 $\sqrt{2}V/2\pi R_L$ である。

従って 式(3)より図2の原理図のままでは おくれ負荷専用の力率計で、すすみ負荷の力率は測定できない。また おくれ (or すすみ) 専用力率計とした場合、同相負荷・すすみ (or おくれ) 力率負荷のいずれでも出力が最大値に等しく その区別判定ができない。この二点を改良するためには変流器 CT を逆極性に結線し直しても判定可能であるが、電力負荷の力率計としては、式(3)の 0° から 180° の測定範囲よりは、すすみ $90^\circ \sim 0^\circ$ (同相) \sim おくれ 90° の測定可能範囲の方が望ましいので、原理図を後述のように改良する必要がある。

IV 試作および特性試験

(1) 試作1号器

図3は試作1号器の回路図でほぼ原理図どおりであるが、回路を単純化するためにSCRの位相制御法の中の最も簡単な電圧レベル方式を用いているので、電源電圧・負荷力率を一定に保つ時、負荷電流の増加(減少)によって SCRのゲート入力 V_g が増(減)し トリガが早く(遅く)

かかるため、SCRの負荷出力が増加(減少)してしまふ。すなわち負荷力率が一定であれば 負荷電流が変動しても SCRの負荷出力は一定であるべきだが図4のように変動してしまい、結局力率を目盛定めしても限られた負荷電流の時のみしか有効でなく、図3のままでは実用回路とできない。

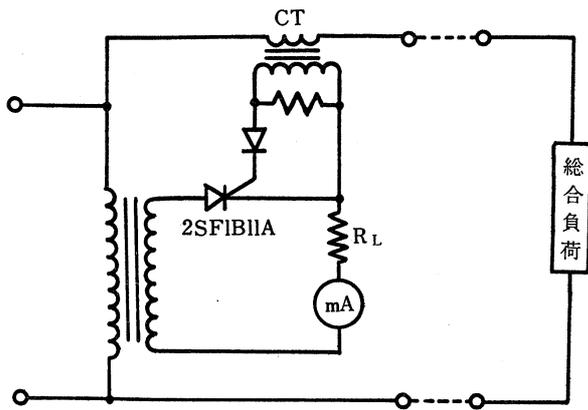


図3 試作1号器

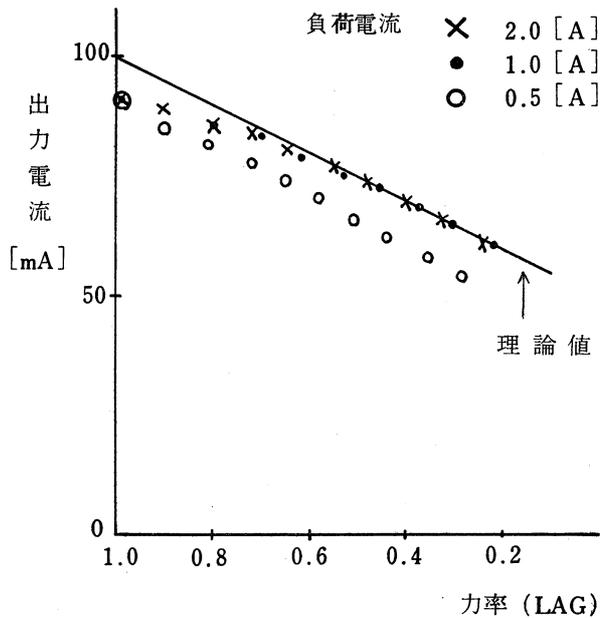


図4 1号器の特性

(2) 試作2号器

2号器は1号器の前述の欠点を改良し、力率計として測定可能である負荷電流範囲を拡大した。このためには図5の如く1号器の変流器CTを摺動抵抗器に置換して、その手動調整により SCRのゲート入力電圧を一定値に保たせると、出力計の負荷電流変動の影響がみられなくなるので測定範囲が拡大される。

第2の改良点は図3のSCR回路部の電源電圧が変動すると、力率一定にもかかわらず出力計の指示が変動し力率目盛は直読不可能となる。そこでSCR回路部分を別回路とし、スライダックで電圧調整するかあるいは図5のようにツェナーダイオードで定電圧化すべきである。しかしツェナーダイオードを回路内に組み入れた事により式(3)で示されたような力率に対する出力計のふれの比例関係が失われる。ここでツェナー電圧 E_z に比べて電源電圧 V が極めて大とすればツェナー波形は図6のように方形波とみなせる。SCRの出力を直流計器で指示させればその指示値 \bar{i} は平均値であるから図6より

$$\bar{i} = \bar{e}_z / R_L = \frac{E_z}{2\pi R_L} (\pi - \varphi) \tag{4}$$

ただし φ は負荷の力率角 [radian] で $\varphi \geq 0$

となり、指示（ふれ）は力率ではなく位相角 φ との直線関係が得られる。しかし 実際には ツェナー波形が理想的な方形波でなく台形波化するので、SCRの導通角が π [rad] と0 [rad] 付近では測定感度（すなわち力率角 1° あたりの電流値）が減少し、指示 i は力率角 φ に対して非線形化するので、力率計の目盛板の両端付近では理想的な平等目盛にならない。

第3の改良点は Ⅲの原理の項で述べた欠点に対して、力率測定可能範囲をおくれ力率専用から おくれ力率・すすみ力率ともに測定可能であるとした。このためには図9のツェナー波形を 90° だけ「進め」ればよいが、ここでは移相回路の中で最も簡単なコンデンサと抵抗の直列回路で

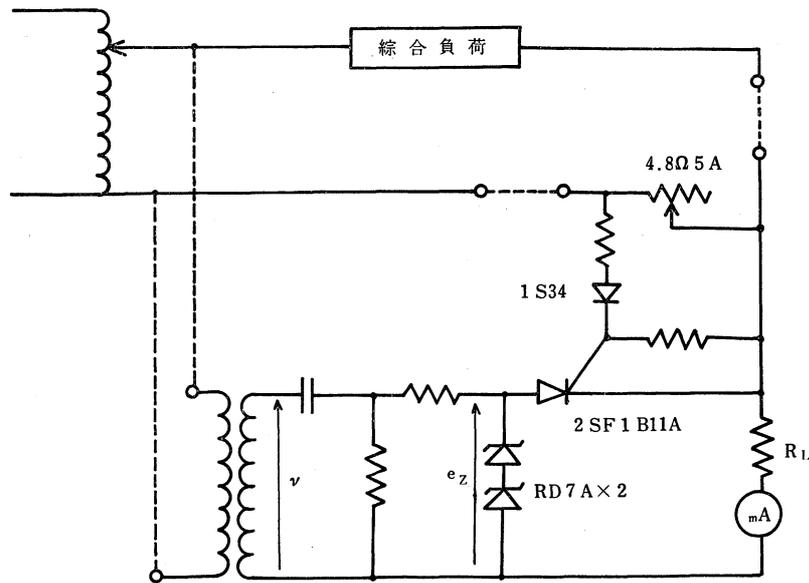


図5 2号器の回路

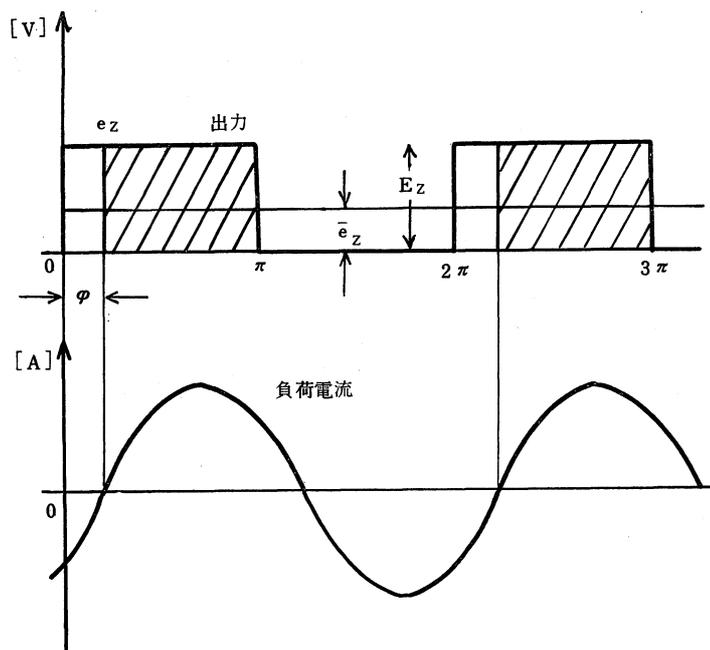


図6 式(4)の説明

移相してみた。この回路によって α [radian] だけ移相したとすれば、式(4)は次式のようになる。

$$\bar{i} = \frac{E_z}{2\pi R_L} (\pi - \varphi - \alpha) \quad (4)'$$

つぎに 試作2号器の実際の測定結果を示すと 図7～図8となる。図7の如く負荷電流をパラメータ (0.5A, 1.0A, 2.0A) として力率に対するSCR負荷出力計の曲線を求めると 各パラメータとも同一曲線上にあり、負荷電流を加減しても指示変動は許容範囲内にあるので、試作1号器の欠点が改良され、摺動抵抗器の手動調整が有効である事が分かる。

また、力率測定可能範囲も1号器のおくれ力率専用から 2号器では図7のように、力率を LEAD0.7～0～LAG0.2までと、すすみ負荷も測定できる事を示している。

さらに、図7の横軸の力率目盛を位相目盛に変換すると図8となり、式(4)'からの理論値とあらし一致する。なお計算値を算出するに当って、 $E_z = 6.5$ [V], $R_L = 941$ [Ω], 移相角 = 60° とした。

第3の改良点である電圧特性も ツェナダイオードの採用により相当に改善され、電源電圧が $100 \pm 20\%$ [V] の変動があっても誤差は増加しない満足できる結果が得られた。

(3) 試作3号器

2号器では負荷電流変動に対する対策、力率測定可能範囲の拡大、電源変動に対する改善がなされたが、SCRゲート入力の手動調整を要するため、3号器では図9の如くダイオードの順方向電

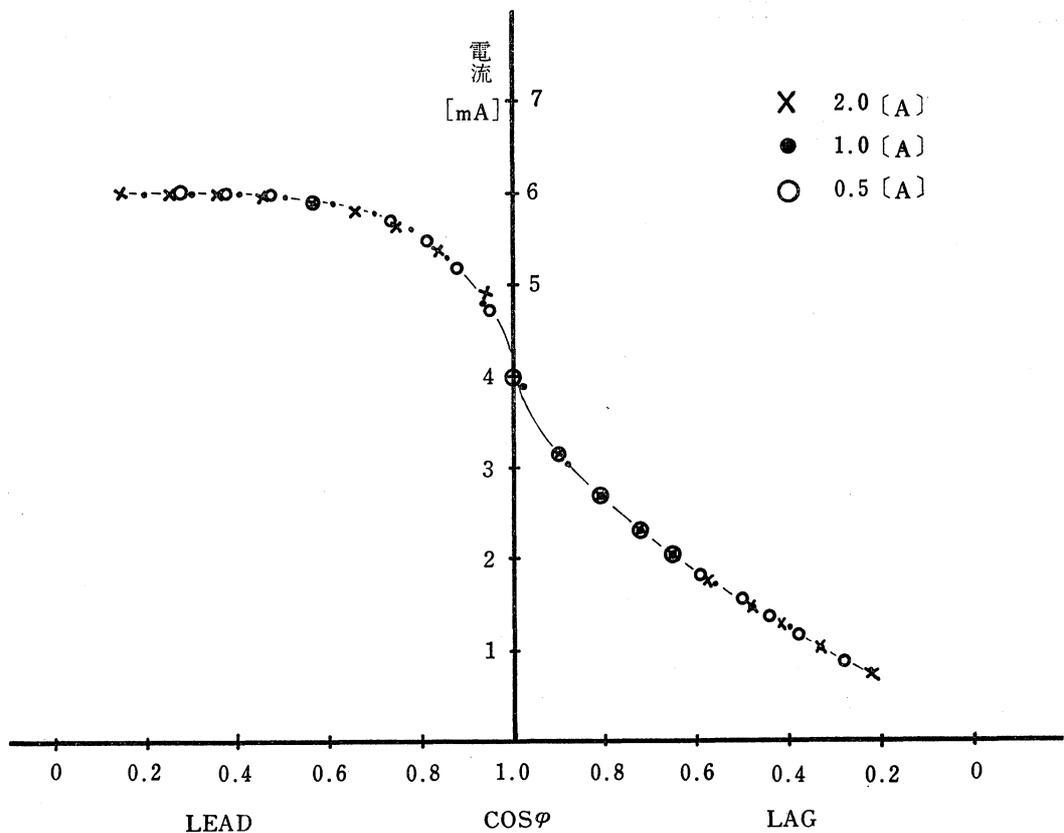


図7 2号器の特性

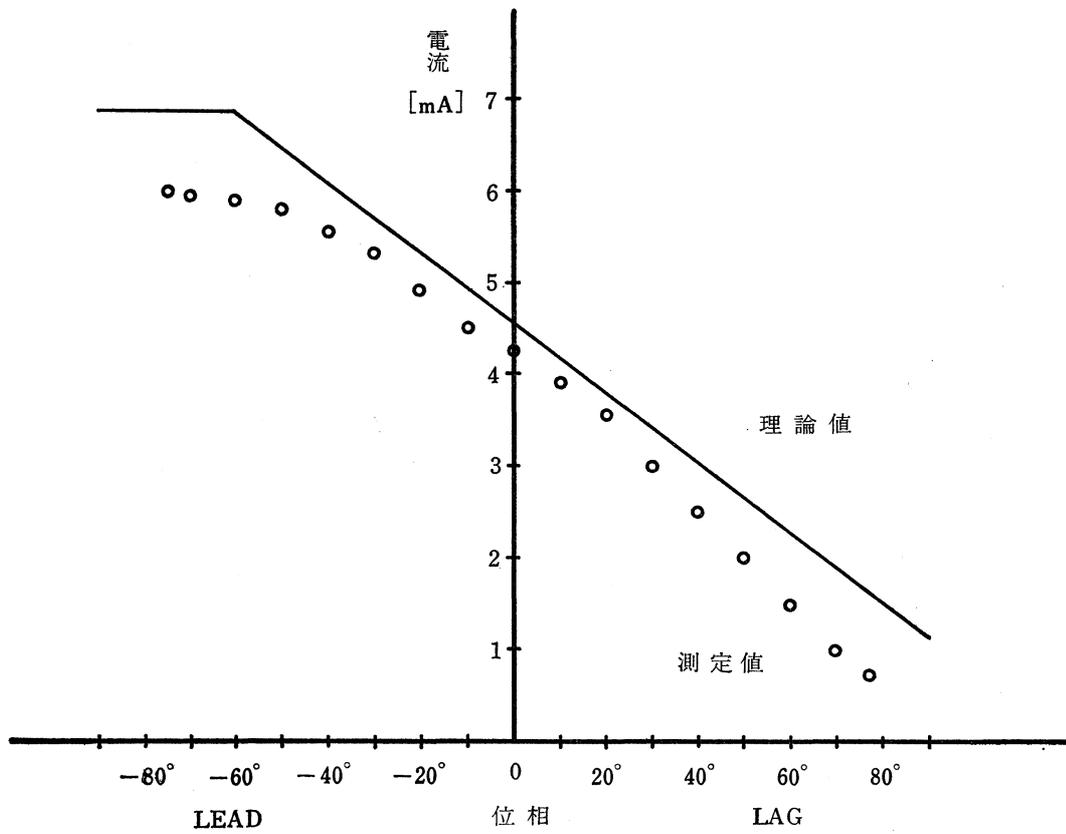


図8 2号器の位相特性

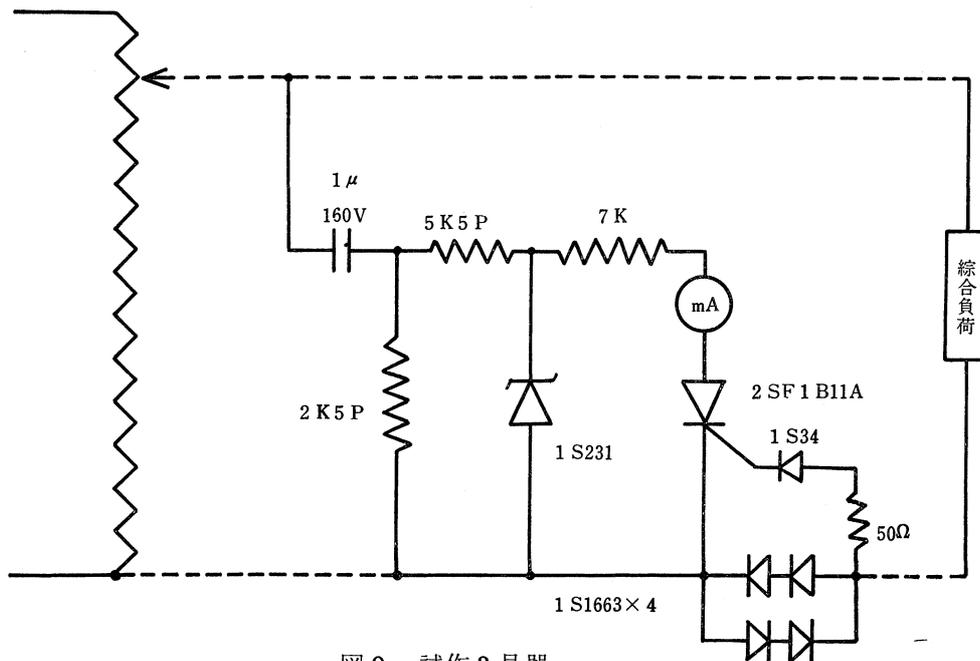


図9 試作3号器

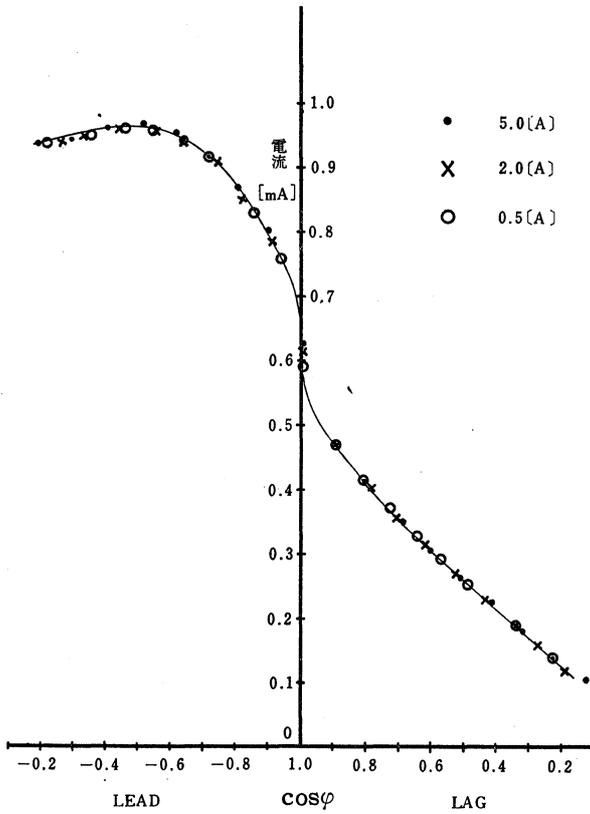


図10 3号器の特性

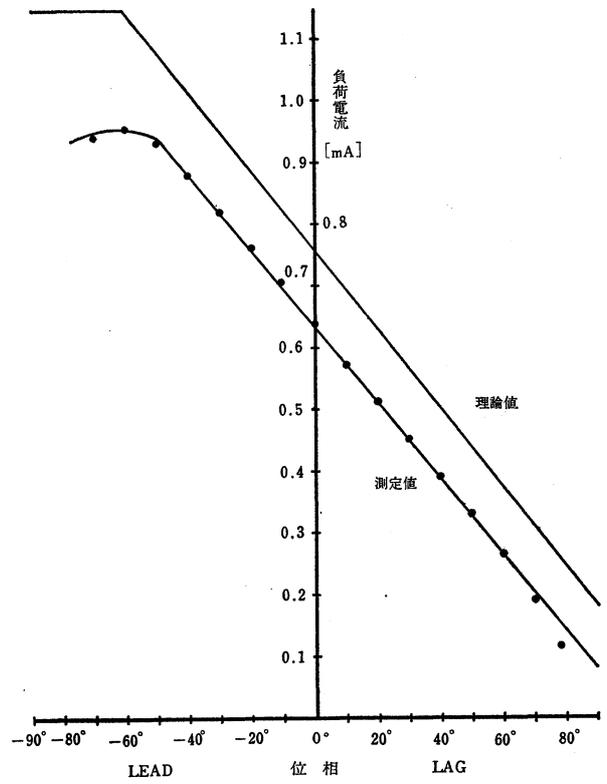


図 11

圧降下を利用して手動調整を不要化した。

次にその特性試験の結果をのべると、図10では「負荷電流が0.5 [A] から5.0 [A] の範囲で、力率—SCR出力特性が同一曲線となり、負荷電流変動に対する出力計指示変動は無視でき、ダイオードの順方向電圧降下作用の利用が有効である」ことを示している。さらに図11では「横軸を位相目盛にすると位相—電流に対して直線関係が得られ、式(4)からの理論値とほぼ一致する」ことを示している。ここで算定の際 $E_z = 16$ [V], $R_L = 6.95$ [KΩ], $\alpha = 60^\circ$ とした。しかしながら

容量リアクタンス成分が大き過ぎる負荷では、図11のようにSCRの保持電流のためにSCRがターン・オフするので、3号器の場合、力率が LEAD 0.3から0.7の範囲で二値関数となる。すなわち力率測定可能範囲は LEAD 0.7 ~ 0 ~ LAG 0.1 となり、2号器以上に拡大できてない。ここで、電源電圧・負荷電流・出力波形の位相関係を示すと図12となり、移相角 α を負荷の力率角 φ より大に選べば 力率 $\cos \varphi$ (LEAD) の負荷が測定可能である。すなわち、力率測定可能範囲を拡大するためには 移相角 α を増加すれば解決できるが、図6から予想されるように α の増加による位相角1°あたりの出力電流の減少で、目盛定めが目盛記入を困難にすることを避けるため、3号器では上記の測定可能範囲にとどめた。

次に力率を直読可能とするため目盛板を作製した。そこで商用周波用力率計 (YEW Type 2039 0.2/1A, 5/2.5A定格の合計2台) を標準器に選び、電源電圧100 [V], 負荷電流2 [A], を一定に設定しながら、負荷力率を LEAD 0.7~1.0~LAG 0.2 と加減し、力率で目盛り定めして図13に示

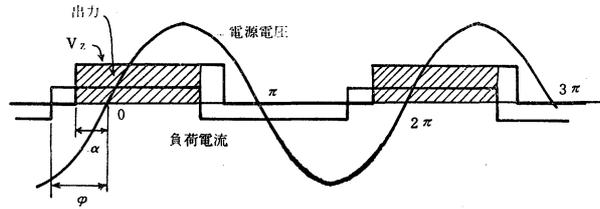


図12 3号器の出力波形

す目盛板を作製した。

ここで、力率目盛直読による誤差を求めるのに不平等目盛ではあるが、負荷電流と負荷力率に対する誤差 ϵ を

$$\epsilon = (\text{3号器の目盛の読み}) - (\text{標準器の読み}) \quad (5)$$

として算出すると、電源電圧が100 [V] の場合 表1 のようになり、負荷電流0.5 [A]~5.0 [A] 力率 LEAD 0.7~1.0~LAG 0.3の範囲では、誤差が ± 0.03 以内にあるので、このクラスの指示計器としては満足できるものとする。ただし、表では見易くするために 式(5)の算出値を100倍し、また*は総合負荷装置の設定不可能域を示した(表4も同じ)。

さらに電源電圧を $100\text{V} \pm 20\%$ 変動させて、3号器の誤差—電圧特性を求めると、負荷電流が2 [A] の場合 表2 となり、力率=LEAD 0.7~1.0~LAG 0.3の範囲で誤差は ± 0.04 以下である。また電源変動を $100\text{V} \pm 10\%$ と限れば 誤差 ± 0.03 以下となる。負荷電流が0.5 [A], 5.0 [A] の場合も誤差—電圧特性を求めると表3・表4となるので、3号器の力率測定可能範囲・許容誤差を、次のとおり余裕を含めて決定できる。——

表1 3号器の誤差(1)

3号器 標準器		各負荷電流に対する誤差(電源電圧100V一定)						
		0.2A	0.5A	1.0A	2.0A	3.0A	4.0A	5.0A
↑ LEAD COSφ	0.60	0	-2	0	-1	-2	-2	-2
	0.70	-3	-2	-2	-1	-1	-2	-3
	0.80	-1	-2	-2	-1	-1	-1	-1
	0.90	0	-1	-1	0	0	0	0
	0.95	0	0	0	0	0	0	0
	1.00	0	0	0	0	0	0	0
	0.95	0	0	0	0	0	0	0
	0.90	+2	+1	0	0	0	0	0
	0.80	+4	+2	+1	0	0	0	0
	0.70	+4	+1	+1	0	0	0	0
↓ LAG	0.60	+4	+1	+1	0	0	0	0
	0.50	+3	+1	0	0	0	0	0
	0.40	*	0	-1	0	0	0	0
	0.30	*	-1	-1	0	0	0	0
	0.20	*	*	*	0	+1	0	+1

表2 3号器の誤差(2)

標準器 3号器		電源電圧に対する誤差(負荷電流2A)				
		80V	90V	100V	110V	120V
LEAD ↑ COSφ ↓ LAG	0.6	+6	+4	-1	-5	-5
	0.7	+4	+1	-1	-3	-4
	0.8	+2	0	-1	-2	-3
	0.9	+1	0	0	-1	-1
	1.0	0	0	0	0	0
	0.9	-2	-1	0	0	+1
	0.8	-3	-1	0	+1	+2
	0.7	-3	-1	0	0	+1
	0.6	-3	-1	0	+1	+2
	0.5	-3	-1	0	0	+2
0.4	-2	-1	0	0	+1	
0.3	-1	0	0	0	+1	
0.2	-2	-1	0	0	+2	

表3 3号器の誤差(3)

標準器 3号器		電源電圧に対する誤差(負荷電流5A)				
		80V	90V	100V	110V	120V
LEAD ↑ COSφ ↓ LAG	0.6	+6	+1	-2	-12	-15
	0.7	+3	0	-3	-5	-6
	0.8	+2	-1	-1	-1	-2
	0.9	+2	+1	0	0	-1
	1.0	0	0	0	0	0
	0.9	-2	-1	0	+1	+1
	0.8	-3	-1	0	0	+2
	0.7	-4	-2	0	+1	+2
	0.6	-4	-2	0	0	+1
	0.5	-4	-3	0	0	+1
0.4	-4	-2	0	0	0	
0.3	-2	-1	0	0	0	
0.2	0	0	+1	+2	+2	

力率測定可能範囲 = LEAD 0.8~1.0~LAG 0.5

許容負荷電流 = 0.5 [A] ~5.0 [A]

許容電源電圧 = 90 [V] ~110 [V]

許容誤差 = 力率値で0.05以下(上記の測定範囲内において)

V 結 言

当稿で述べたSCRの位相制御を利用した力率計は、力率測定可能範囲を拡張する点、および精密測定用とする点について改良の余地が残されている。しかし当SCR式力率計は多くの力率測定法の中で最も簡単な回路構成であり、可動コイル型計器とSCRがあれば自作も容易で安価であるので、汎用電気機器の力率の簡易測定器(配電盤計器)として利用できる。

表4 3号器の誤差(4)

標準器 3号器		電源電圧に対する誤差(負荷電流0.5A)				
		80V	90V	100V	110V	120V
LEAD ↑ COSφ ↓ LAG	0.6	+8	+4	-2	-8	-12
	0.7	+4	+1	-2	-4	-7
	0.8	+2	0	-1	-2	-4
	0.9	+1	0	-1	-1	-2
	1.0	0	0	0	0	0
	0.9	-1	0	0	+2	+2
	0.8	-1	0	+1	+2	+3
	0.7	-1	0	+1	+3	+4
	0.6	-1	0	+1	+3	+4
	0.5	-2	0	0	+2	+3
0.4	-3	-1	-1	0	+1	
0.3	-2	-1	-1	0	+1	
0.2	*	*	*	*	*	

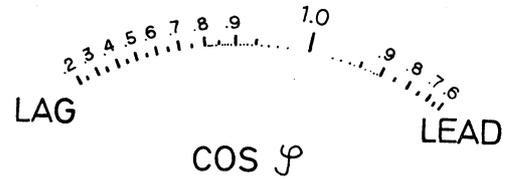


図13 3号器の目盛板

Summary

I have tried to produce the Power Factor Meter of the New type, making use of SCR phase controlled method, and I have made the tests on the characteristics of the three trial Models, — type No. 1, type No. 2, type No. 3.

In consequence of the tests, the type No. 1 is difficult for practical use, but the type No. 2 is available for Power Factor Meter although it needs the manual adjustment.

As the type No. 3 does not need the manual adjustment, No. 3 is the most suitable practical use. Still more, the circuit of it is much simpler, cheaper than that of the manufactured goods on the market at present.

So the specification of the type No. 3 is showed as follows.

the available measured bound : Power Factor $\cos\phi = \text{LEAD } 0.8 \sim 1.0 \sim \text{LAG } 0.5$

the allowance Error : less than $+0.05 (= \cos\phi)$ if Sorce Voltage : $90V \sim 110V$
Load Current : $0.5A \sim 5A$

参考文献

- (1) たとえば, 電学会, 電気測定法 p.45
- (2) たとえば, 電学会, 電気計測器 p.191
- (3) YEW : YOKOGAWA, INSTRUCTIONS, Type 2039
- (4) 広島エレコン : エレクトロニクス実験の手引き p.19
- (5) 北川 : トランジスタ・マニュアル p.220 オーム社
- (6) 向井 : 雑誌「OHM」Vol.59, No.9 1972/7 オーム社
- (7) デジタル位相計カタログ, 北海道電気技術サービス社
- (8) GE社 : SCRマニュアル オーム社