

# 1 回路用電力監視ユニット

高橋 文人(たかはし ふみと)

樋口 貞夫(ひぐち さだお)

谷 敏明(たに としあき)

## 1 まえがき

近年、「エネルギーの使用の合理化に関する法律」(省エネ法)や国際規格 ISO14001 環境マネジメントシステム認証などの社会的背景から、工場、事業所における省エネルギー活動は重要な課題となっており、エネルギー削減のためのさまざまな努力が重ねられているが、エネルギー消費の増加は今後も続くと思われる。

2003年4月1日には「エネルギーの使用の合理化に関する法律の一部を改正する法律」(改正省エネ法)が施行され、従来、多量のエネルギーを使用する製造業などを第一種エネルギー管理指定工場として5業種の工場に限って指定していたが、その指定対象が拡大し全業種が対象となった。この結果、大規模オフィスビルやホテル、病院なども指定対象となり、将来的な省エネルギー計画(中長期計画)の作成・提出、定期的報告などが義務づけられた。また、第二種エネルギー管理指定工場は、工場・事業場におけるエネルギー使用量などの状況について、従来のエネルギー使用量などに関する記録義務に代えて定期的な報告が義務づけられた。

改正省エネ法では、設備の省エネルギーの目標値や運転保守などに関して「管理標準」を設定し、これに準拠した管理を行うことを義務づけ、工場・事業場のみならず、設備単位でのきめ細かい管理の徹底を求めている。このような市場動向を受けて富士電機では、すでに保護継電器とマルチメータを一体化した高圧受配電用デジタル型多機能継電器「F-MPC60シリーズ」、1台で最大10回路(三相3線時)の計測が可能でしかも予防保全機能を備えた配電監視ユニット「F-MPC04」や、1台で最大8回路(三相3線時)の計測に特化した電力監視ユニット「F-MPC04P」などを発売している。また、これらのF-MPCシリーズ機器の計測、状態データを、汎用パソコンを用いて収集管理する電力管理システム「F-MPC Net」も提供し好評を得ている。

今回、より末端に分散している個別設備や負荷機器の電気エネルギー計測に適し、デマンドメータ、高調波メータ

図1 1回路用電力監視ユニットの外観



表1 1回路用電力監視ユニットの機能仕様

項目		種類・型式	電力監視ユニットUM03-ARA3 配電監視ユニットUM03-ARA3G
適用回路			三相3線, 単相3線, 単相2線
計測機能	現在値		電流, 電圧, 有効電力, 有効電力量, 力率, 周波数, 無効電力, 無効電力量 * 漏れ電流, * 基本波漏れ電流
	デマンド値		電流, 電力, 総合高調波電流
	デマンド履歴値(最大値)		電流, 電力, 総合高調波電流 * 漏れ電流, * 基本波漏れ電流
リレー出力			電流ブレイアラーム(OCA) * 漏電ブレイアラーム(OCGA) * 漏電アラーム(OCG)
外部インタフェース			RS-485 Whパルス出力

\*印の機能は配電監視ユニット UM03-ARA3Gに装備

機能などの計測機能も充実した1回路用の電力監視ユニット、およびこれに漏電計測・リレー機能も搭載した配電監視ユニットの2種類を開発したので紹介する。図1にその外観を、また表1に機能仕様を示す。



高橋 文人

アナログ、デジタル電子機器の設計に従事。現在、機器・制御カンパニー器具事業部技術開発・生産センター開発部主任。



樋口 貞夫

プログラマブルコントローラの開発を経て、エネルギー管理機器の開発試験に従事。現在、機器・制御カンパニー器具事業部技術開発・生産センター品質保証部主任。



谷 敏明

エネルギー監視機器の開発に従事。現在、機器・制御カンパニー器具事業部技術開発・生産センター開発部。電子情報通信学会会員。

② 製品仕様と特徴

1 回路用電力監視ユニットは、電流、電力、電力量などエネルギー監視に必要な計測機能を1台に収納したデジタル型マルチメータで、主な特徴は次のとおりである。表2に本ユニットの計測仕様を示す。

2.1 高速サンプリングによる皮相電力計法の採用

本ユニットは電圧、電流の計測を、電圧入力周波数の1サイクルを基本単位として、この1サイクルに64回のサンプリングを連続的に行い、この値から電力などの各電流量を演算している。これにより基本波に高調波成分が含まれている場合でも高い計測精度を維持するとともに、無効電力、力率などの計測に適した「皮相電力計法」による計測を可能としている。この「皮相電力計法」は溶接機などの間欠電流やインバータ回路など、高調波成分が多く含まれる回路計測に適している。

なお本ユニットは市販計器で一般的に採用されている「無効電力計法」の機能も備えており、いずれかを選択設定して使用することができる。

2.2 電力監視システム構築が容易なインタフェースを装備

各種コントローラ、パソコンに接続できるRS-485通信インタフェースを標準装備しており、汎用パソコンを用いた電力監視システムが経済的に構築でき、拡張・変更への対応が容易である。

2.3 電流・漏電アラームリレー出力機能を搭載

電流プレアラーム(OCA)リレー出力機能を搭載しており、過負荷時の警報あるいは負荷遮断信号として活用ができ、目標値管理に有効である。また、漏電計測機能を搭

載したユニットは漏電プレアラーム(OCGA)リレー出力機能、漏電アラーム(OCG)リレー出力機能も搭載しており、EW型ZCTあるいはZCT付き配線用遮断器と組み合わせることにより、ケーブルや負荷機器の絶縁劣化など、設備の保守管理に適している。なお、この漏電プレアラームリレーの動作は基本波成分のみで動作させるモードと、高調波を含んだ電流で動作させるモードがあり、整定時に選択することにより設置環境に応じた使い分けが可能である。

2.4 警報時の計測値表示機能および記憶機能を装備

あらかじめ設定した目標値に対して電流プレアラーム、漏電プレアラームなどのリレーが動作した場合、表示器の点滅で警報を表示するとともに、そのときの計測最大値も表示するので原因の究明を迅速に行うことができる。この電流プレアラームおよび漏電プレアラームのリレー接点は、その要因がなくなると自動復帰するが、表示器はリセット操作をするまでは点滅表示を継続するので一時的な要因で動作した場合でも履歴が分かる。また、本ユニットの制御電源が喪失してもこの点滅表示および計測値は内部のROMにデータ保存され、復電すれば再び表示される。

2.5 コンパクト形状

48 x 96 (mm) のパネルカット寸法に装着できるコンパクトな形状で、機械装置や設備末端の個別負荷などへの設置に適しており、電力監視システムの現場端末や従来の個別メータの置換えなど幅広く適用できる。

2.6 グローバル対応

工作機械などに組み込み、エネルギー原単位管理用途が今後予想される。機械組込み輸出対応を踏まえ、CEマーク、UL 認証取得を進めている。

表2 1 回路用電力監視ユニットの計測仕様

計測項目	表示けた数	計測範囲	計測精度
電 流	4	400 A分割型CT使用：0, 1.6 ~ 600 A 200 A分割型CT使用：0, 0.8 ~ 300 A 50 A分割型CT使用：0, 0.2 ~ 50 A	± 1.5 % · FS ( $I_s$ は± 2.5 % · FS)
総合高調波電流	4	/5 A CT + 50 A分割型CT：0, 0.02 ~ 7.5 A ( /5 A CT二次換算 )	± 2.5 % · FS
電 圧	4	直接入力：60 ~ 264 V VT二次：60 ~ 1.5 · $V_n$ ( V )	± 1.5 % · FS ( $V_{wU}$ は± 2.5 % · FS )
有 効 電 力	4	± 0 ~ 9,999 kW (乗率 $10^{-3} \sim 10^2$ )	± 1.5 % · FS
無 効 電 力	4	± 0 ~ 9,999 kvar (乗率 $10^{-3} \sim 10^2$ )	± 3 % · FS
有 効 電 力 量	5	0 ~ 99,999 kWh (乗率 $10^{-3} \sim 10^2$ )	JIS普通級相当 (力率0.5 ~ 1 ~ - 0.5)
無 効 電 力 量	5	0 ~ 99,999 kvarh (乗率 $10^{-3} \sim 10^2$ )	± 3 %
力 率	3	進み0 ~ 1 ~ 遅れ0	± 5 % · FS ( 90 ° 位相角換算 )
周 波 数	3	45 ~ 66 Hz	± 0.5 % · FS
漏 れ 電 流	4	0, 0.01 ~ 1 A	± 2.5 % · FS

③ 監視ユニットの演算・動作

3.1 電圧・電流のサンプリングと実効値演算

電圧・電流の計測は、入力電圧（入力端子  $V_u - V_v$  間電圧）から 1 サイクルの時間を計測し、この 1 サイクルを基本単位として 64 回/サイクルのサンプリングを全サイクル連続して行っている。このサンプリングデータから各相ごとの電圧、電流および漏れ電流を演算して計測値表示を行う。図 2 にサンプリングの概念図を示す。また、以下に電圧、電流の実効値演算式を記す。

$$V_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{64} \sum_{n=1}^{64} (V_n)^2}$$

$$I_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{64} \sum_{n=1}^{64} (I_n)^2}$$

このように、常に周波数変動に応じた 1 サイクル時間を求め、さらに 1 サイクルに 64 回のサンプリングというきめ細かいデータと二乗加算平均により、基本波に高調波成分を含んだ回路の計測に対しても正確な実効値の計測を可能にしている。

一方、信号入力回路には外来ノイズに対する安定性確保の目的でフィルタ回路を内蔵しているが、このフィルタのカットオフ周波数は、1 kHz 以上に設定しており、表 3、図 3 に示すように、インバータなどの回路に多く含まれる 3 ~ 11 次高調波の範囲の計測では実用的に誤差が生じないようにしている。

本器は三相 3 線回路、単相 3 線回路および単相 2 線回路への適用が可能で、この種別は内部の演算により自動的に判別しているが、単相 2 線回路へ使用する場合は、電圧信号が周波数計測されている端子  $V_u - V_v$  間に入力することが必要である。

3.2 有効電力の演算（消費，回生）

本ユニットでは 2 電力計法にて有効電力演算を行っており、その表示は通常の消費電力では「符号なし」、回生電力では「マイナス（-）符号付き」となる。基本波成分の電圧に対する電流の位相差に置き換えると、消費電力は  $-90^\circ \sim 0^\circ \sim +90^\circ$  の範囲となり、回生電力時は  $-90^\circ \sim -180^\circ$  および  $+90^\circ \sim +180^\circ$  の範囲となる。基本演算式は次のとおりである。

$$P = \frac{1}{64} \sum_{n=1}^{64} V_n \cdot I_n$$

$V_n$  : 電圧瞬時値

$I_n$  : 電流瞬時値

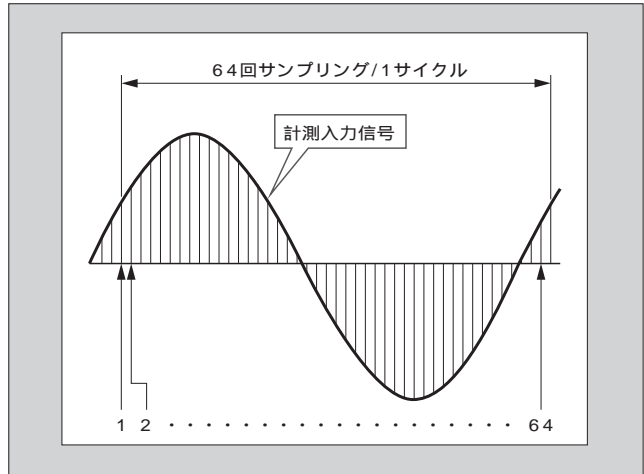
3.3 無効電力および力率の演算

本ユニットの無効電力および力率の演算・表示は、次の二とおりの方式が選択可能となっている。

① 無効電力計法

一般市販の計器や、電力大口需要家に設置される無効電力計や力率計と同様に、電圧と電流の基本波成分の位相差

図 2 計測データサンプリング概念図



を測定値として求める。一般式は下記となる。

$$Q = V_1 \cdot I_1 \cdot \sin \phi$$

$V_1$  : 基本波電圧実効値

$I_1$  : 基本波電流実効値

$\phi$  : 基本波電圧と基本波電流の位相差

$$PF = P / \sqrt{P^2 + Q^2}$$

$P$  : 有効電力

$Q$  : 無効電力

符号は、無効電力で求めた極性を用い、遅れ位相は符号なし、進み位相時はマイナス（-）を付けている。

② 皮相電力計法

3.1 節の演算式で求められた高調波成分も含めた実効値電圧と実効値電流の積で求まる皮相電力と、3.2 節の有効電力から無効電力および力率を演算する。基本演算式を下記する。

$$S = V_{RMS} \cdot I_{RMS}$$

$V_{RMS}$  : 高調波成分を含む総合電圧実効値

$I_{RMS}$  : 高調波成分を含む総合電流実効値

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2}$$

$$PF = P/S$$

符号は、無効電力計法と同様に、遅れ位相は符号なし、進み位相時はマイナス（-）を付けている。本方式の力率は、電圧と電流の位相差を表すのではなく、皮相電力に対する有効電力比となる。このように無効電力計法は有効電力、無効電力とも電圧・電流の同じ周波数成分（基本波成分）の位相差だけが表れるのに対し、皮相電力計法は基本成分だけでなく高調波成分も含めた値となる。

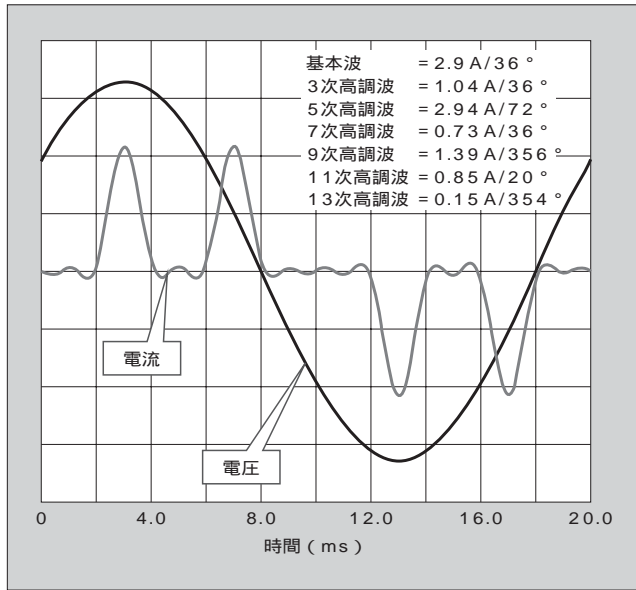
一般の計器では無効電力計法が多く用いられているが、電圧が基本波で、電流に高調波を含む場合（インバータなどのコンデンサ入力型整流回路などの電子機器）は、高調波成分によるロス分が無効電力、力率に含まれない。このためこのような高調波電流が多分に含まれる場合の無効電力、力率の計測は皮相電力計法を用いたほうが電気的な品質を管理するうえでは望ましいといえる。

表 3 は無効電力計法と皮相電力計法の相違を理論値と実測値により比較したもので、この比較値は、図 3 に示すよ

表3 無効電力計法と皮相電力計法の相違

分類 項目	理論値		実測値	
	無効電力計法	皮相電力計法	無効電力計法	皮相電力計法
電流値 (R) (A)	4.620		4.62	4.62
電流値 (T) (A)	4.620		4.62	4.62
有効電力 (kW)	0.894		0.873	0.873
無効電力 (kvar)	0.650	1.516	0.653	1.513
力率	0.801	0.508	0.80	0.50

図3 インバーター一次電流の模擬波形



うなインバーター一次回路電流を模擬したものである。図中右上の値は、模擬電流の基本波および高調波成分の入力値と、電圧に対する位相差である。回路条件は、入力電圧 220 V、三相 3 線である。

3.4 有効電力量・無効電力量

積算電力は、全サイクル連続して（波形の欠落なく）測定した有効電力、無効電力すべての測定値データを積算し

ているので、溶接機などの間欠電流入力波形に対しても確実な積算計測が可能となっている。

運転中に装置の制御電源が喪失した場合は、これらの積算値は、本ユニットに設定されている CT 比などの各種データやデマンド最大値、あるいは電流プレアラームなど警報が発生している場合はこの情報も含め E<sup>2</sup>ROM に確実に保存され、復電時は停電直前の状態から再び運転が開始できるように構成している。

4 あとがき

保護継電器や電気指示計器の基盤技術がデジタル型に急速に移行しているが、CPU の処理能力の向上、適用技術の向上が大きく寄与している。今回これらの性能を生かして、インバータ負荷や間欠電流負荷に対してもより高精度の計測が可能で 1 回路用電力監視ユニットを開発した。

従来の多回路複合型 F-MPC シリーズと併用して適用用途の拡大、点数に応じたより経済的なシステム構築を可能にするものと確信している。また、小型ケース構造により機械装置への組み込みも少スペースで可能であり、この分野への適用拡大も期待するものである。

電気保全技術者の仕事は、従来の安定供給・安定稼働にとどまらず、省エネルギーの推進へと拡大しており、エネルギー監視と予防保全を統合化した現場機器として開発を行ったわけで、必ずやお役に立つと考えている。

今後とも需要家各位のご意見・ご指導により一層の向上を図っていく所存である。

参考文献

- 1) 鹿野俊介ほか．デジタル形電力監視用機器と電力監視システム．富士時報．vol.72, no.7, 1999, p.403-409.
- 2) 鹿野俊介ほか．省エネルギー支援・エネルギー監視機器「F-MPC シリーズ」．富士時報．vol.74, no.11, 2001, p.632-637.
- 3) 省エネルギーセンター．<http://www.eccj.or.jp/> .
- 4) 電機事業連合会．<http://www.fepec.or.jp/> .