

インバータ出力を正確に測定する電力計 PW3390

日置電機株式会社 技術 1 部 技術 1 課 小林 宏企, ○山浦 千明

要旨: 本稿では、インバータ出力波形の特徴について考察し、インバータ出力電力を高精度に求めるために必要な電力測定器の要件を示す。この要件を満たすために、パワーアナライザ PW3390 は、200kHz の測定帯域と高周波までフラットな振幅・位相特性を実現し、電流センサの位相補正機能を搭載した。これらによって、インバータ出力のスイッチング周波数に含まれる高周波かつ低力率な電力も、測定誤差の大幅な低減を実現した。また、インバータ効率の実測比較によって、これら性能向上および電流センサの位相補正の有用性を検証したので報告する。

キーワード: 電力計, 電流センサ, 位相補正, インバータ

1. はじめに

近年、電気自動車やハイブリッド自動車で使われるインバータ・モータ、太陽光発電や風力発電の系統連系で使われるパワーコンディショナといった電力変換装置は、地球環境保護機運の高まりとともにキーデバイスとして注目を集め、変換効率の向上と応用範囲の広がりを目覚ましいものがある。これに伴い、電力計には一層の高精度化と計測シーンの拡大が求められている。

当社はその要求に応えるために、2009 年に高精度かつ小型で可搬型のパワーアナライザ 3390 を発売し、地球環境の保護に貢献する技術開発をする方々に提供してきた^[1]。

PW3390 は先代機種 3390 の特長を受け継ぎ、計測技術を更に磨き上げるにより、更なる高精度化を実現した電力計である (Fig.1)。



Fig.1 パワーアナライザ PW3390

2. インバータ出力の高精度測定に求められる性能

電力は、電圧および電流を測定し、そこから演算によって求める。Fig.2 にインバータ出力の電圧波形 (上段)/電流波形 (下段) を示す。インバータの出力電力は、基本波周波数成分 (~2kHz) とキャリア周波数成分 (5k ~ 100kHz) とを含む。基本波周波数成分が支配的であるが、正確な測定には、キャリア周波数成分電力の正確な測定も重要である。一般的に、インバータの出力に接続される負荷モータの巻線は抵抗成分とインダクタンス成分とから成る RL 直列負荷である。RL 直列負荷は高周波においてインダクタンス成分が支配的となるため、電力は低力率である。つまり、電

圧と電流の位相差が 90° に近い状態となる。Fig.3 に示す通り、力率が 1 に近い状態に比べ、低力率な電力は測定系の電圧・電流測定部間の位相誤差が有効電力に与える影響が大きくなる。したがって、キャリア周波数成分電力の正確な測定には、100kHz までフラットな振幅特性に加え、高い位相精度が要求される。

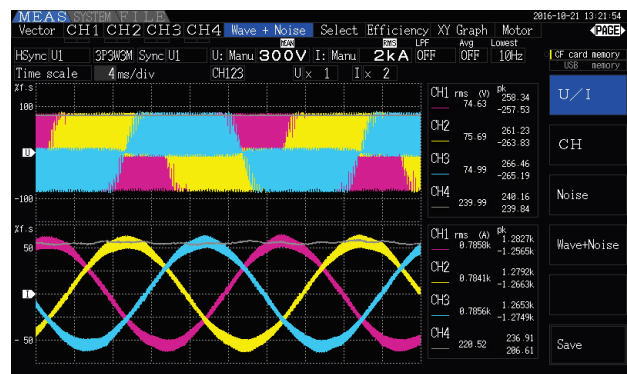


Fig.2 インバータ出力の電圧/電流波形例

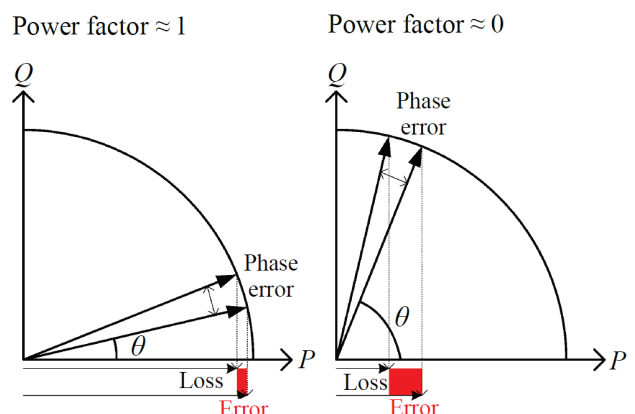


Fig.3 位相誤差-有効電力誤差の関係

3. PW3390 の特長

3-1. 優れた測定確度と高周波特性

PW3390 は設計の最適化によって $\pm 0.04\% \text{rdg.} \pm 0.05\% \text{f.s.}$ の電力基本確度を実現した。さらに、詳細な評価結果を設計へフィードバックし再度最適化することにより、200kHz の測定帯域と、高周波までフラット

な振幅・位相特性を実現した。これらの性能向上により、Fig.4 に示す通り、高周波かつ低力率な電力もより正確に測定することが可能になった。

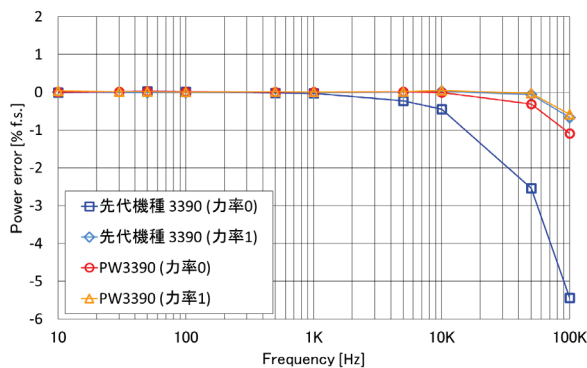


Fig.4 PW3390 の有効電力周波数特性例

3-2. 電流センサの位相補正機能を搭載

電流センサは、センサのCTや回路の特性から、高周波領域において遅れ位相特性をもつ。さらにセンサの機種の違いによって異なる位相特性をもつ。高周波までフラットな位相特性をもつ電力測定システムを実現するには、電力計単体の位相特性だけでなく、電流センサと組合せた状態で最適な位相特性である必要がある。

そこで、PW3390 は電流センサの位相補正機能を搭載した。位相補正は 500kS/s でサンプリングした電流波形に対し、実際のサンプリング周波数より 400 倍高い 200MS/s 相当のデスクュー処理をリアルタイムに演算する当社独自のバーチャルオーバーサンプリング技術を用いている。電流センサの機種の違いによって異なる位相誤差を 0.01° 分解能で設定し補正することができる。Fig.5 に示す通り、位相補正機能を使うことで、電流センサと組合せた状態で最適な位相特性を実現する。

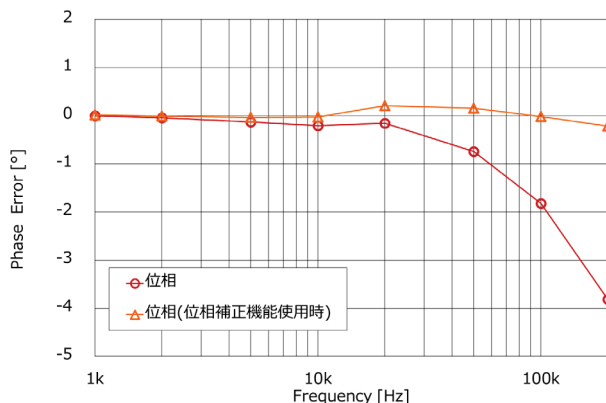


Fig.5 AC/DC カレントプローブ CT6841-05 の位相特性補正例

3-3. 主な仕様

PW3390 の主な仕様を Table.1 に示す。

Table.1 PW3390 の主な仕様

項目	仕様
測定ライン	単相2線, 単相3線, 三相3線, 三相4線
入力チャンネル数	電圧: 4 チャンネル 電流: 4 チャンネル
入力方式	電圧: 絶縁入力, 抵抗分圧方式 電流: 電流センサ(電圧出力)による絶縁入力
測定レンジ	電圧: AC/DC 15~1500V 電流: AC/DC 0.1A~2kA, AC 2A~8kA (電流センサによる) 電力: 1.5000W~36.000MW (測定ラインおよび電圧/電流レンジの組合せによる)
サンプリング周波数	500kHz
周波数帯域	DC, 0.5Hz~200kHz
電力確度	±0.05%rdg, ±0.07%f.s.(DC) ±0.04%rdg, ±0.05%f.s.(45~66Hz)
機能	積算測定, 高調波測定, ノイズ測定, モータ解析, D/A 出力, 効率・損失演算, 電流センサ位相補正演算 など
外部インタフェース	LAN, USB, RS-232C, 同期制御, 外部制御, CF カード, USB メモリ
寸法・質量	340W×170H×156D mm(突起物は含まず), 4.6kg(PW3390-03)

4. インバータ効率の実測比較

当社フラッグシップモデルの PW6001, 新開発の PW3390, 先代機種 3390, を用いて、キャリア周波数 16kHz で動作するインバータ (SGDV-2R9ES1A, Yaskawa) の無負荷状態における各出力周波数の効率測定比較を行った。電流センサはCT6841-05を用い、PW6001 と PW3390 は位相補正機能にCT6841-05 の位相誤差(-1.82° /100kHz)を設定した。その結果 Fig.6 に示す通り、PW3390 とフラッグシップモデルの PW6001 とで類似度の極めて高い効率測定結果を得ることが確認できた。

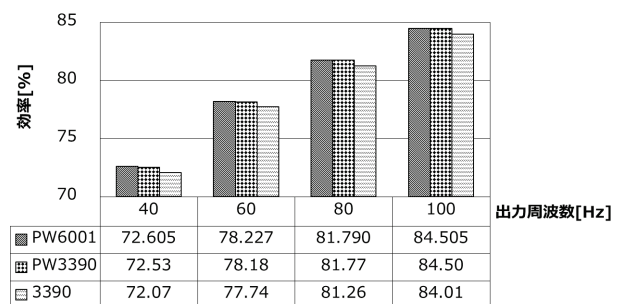


Fig.6 インバータ効率の測定比較例

5. まとめ

PW3390 は高効率機器の電力変換効率/損失を正確に測ろうとするニーズに応じて開発された高精度電力計である。研究開発・生産・保守の各現場においてエネルギー効率の改善に役立ち、地球環境保護に貢献できれば幸いである。

参考文献

- [1] 久保田訓久, 他 “パワーアナライザ 3390” 日置技報, VOL.31 2010 No.1, 2010.