

パワーアナライザ PW8001

鈔持 浩崇 *1

要 旨

パワーアナライザ PW8001 は、第三世代の高速電力解析エンジンを搭載し、当社電力計として最高の $\pm 0.03\%$ の基本確度、15 MHz サンプリングの U7005 と、DC 1500 V 入力に対応した 2.5 MHz サンプリングの U7001 を自由に選択し、高速スイッチングデバイスを搭載したインバーターや、高電圧出力のパワーコンディショナーの評価など、ユーザーの用途に合わせて最適なシステムを構成できる電力計である。ここに製品の特長、構成、および特性例について解説する。

1. はじめに

当社では、市場の測定要求や技術進化に対応できる電力計を継続して開発し、高確度、高安定性、および高信頼性の測定器をユーザーに提供してきた。従来製品のパワーアナライザ PW6001 は、発売直後から多くのユーザーにさまざまな用途で使用され、好評をいただいた。近年では、省エネルギー機器の技術の進化に伴い、EV（電気自動車）や再生エネルギーへの関心が世界中で急速に高まり、普及が拡大している。これにより、関連機器の開発現場では、さらに高確度で広帯域な測定が要求されるようになった。用途が多様化し、測定対する要求も一層厳しくなっている。これらの要求に応えるために、PW8001 は従来の技術的特徴を継承しつつ、測定性能面および機能面が大幅に向上した。

図 1 にその外観を示す。



図 1 PW8001 の外観

ロニクス機器の電力、変換効率、および損失をより正確に測定することを可能としている。

(2) 2.5MS/s 入力ユニット U7001

U7001 は、商用周波数の電力基本確度 $\pm 0.07\%$ 、直流電力確度 $\pm 0.07\%$ を実現し、DC 1500 V CAT II の測定を可能とした。これにより、1500 V の直流高電圧を有する電源機器においても、安全で正確な評価を実現する。

2. 特長

2.1 世界最高クラスの確度、広帯域電力測定と、高電圧測定を実現する 2 つのユニット

PW8001 には、2 種類の入力ユニット U7005 と U7001 を用意した。この 2 種類の入力ユニットを最大 8 チャンネル自由に組み合わせて選択できることにより、測定対象および用途に合わせた最適なシステムの構築を可能としている。

(1) 15MS/s 入力ユニット U7005

U7005 は、商用周波数の電力基本確度 $\pm 0.03\%$ 、直流電力確度 $\pm 0.05\%$ を実現し、測定周波数帯域を 5 MHz まで広帯域化した。これにより、高効率化、高周波化するパワーエレクト

2.2 電流センサーとの高い親和性

電流センサーとパワーアナライザの両方を自社で開発している強みを生かして、従来製品でも電流センサーとパワーアナライザの高い親和性を持ち、高確度、高信頼性の測定を可能にした。

インバーターの電力、高周波リアクトル、およびトランスの損失を正確に測定するためには、電流センサーの位相誤差を補正して測定する方法が有効であり、従来製品の PW6001 でこの機能を実現した。しかし、PW6001 では、位相補正を都度適切に設定する必要がある、十分に電流センサーの性能を生かすことができない事態

*1 SS ユニット

パワーアナライザ PW8001

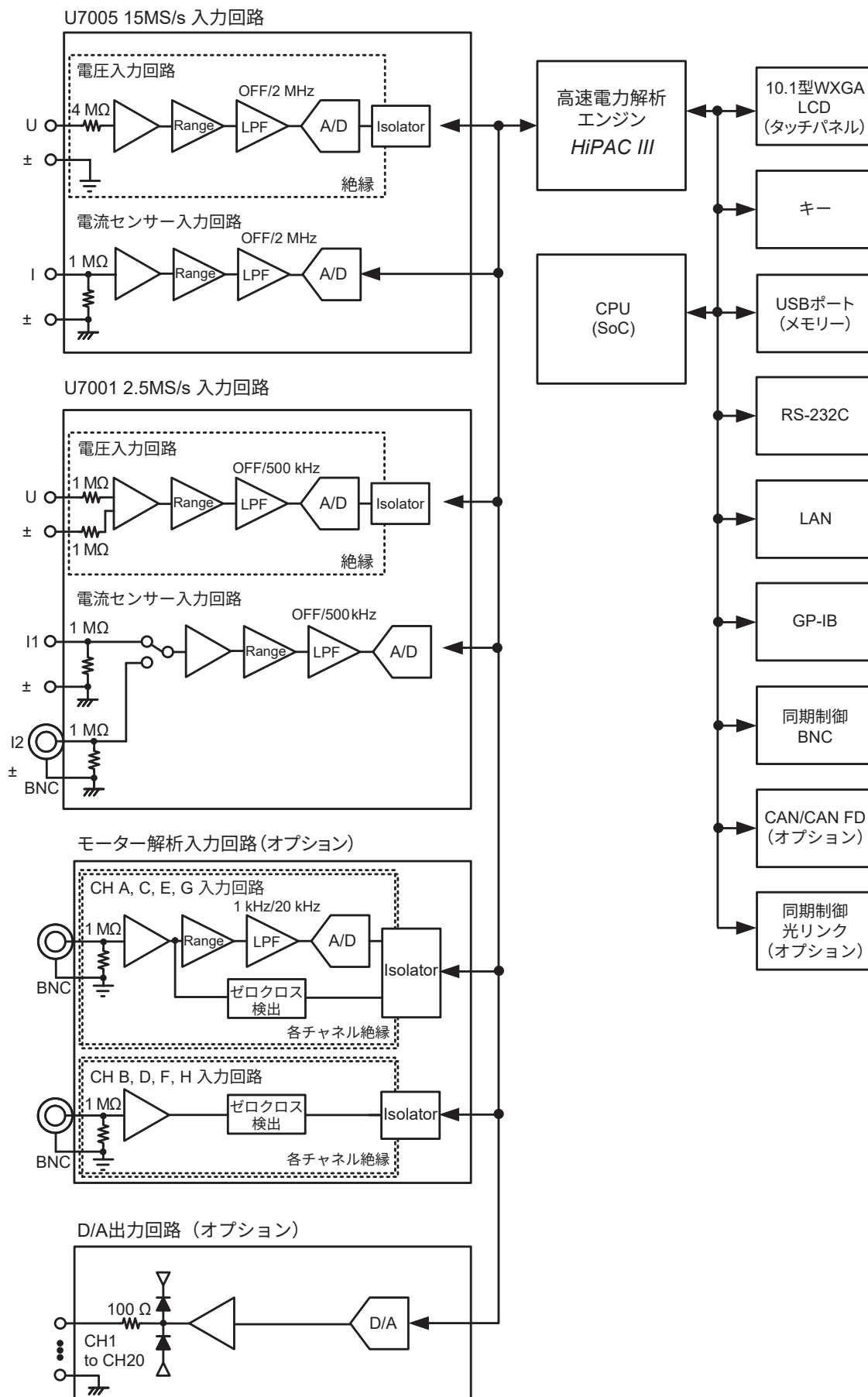


図 2 ブロック図

が発生することも考えられた。

PW8001 には、対応する電流センサーを接続するだけで、適切な位相を自動補正する「新・電流センサーインターフェイス」を新たに搭載した。特別な設定は必要なく、電流センサーの性能を最大限引き出すことを可能とした。

図 2 にブロック図を示す。

2.3 波形観測機能の進化とパワースペクトラム解析機能の実装

従来製品にも搭載されていた波形観測機能について、15 MS/s の電圧電流波形とモーター入力 8 チャンネルの信号を任意のトリガにより 5 Mワードの長さで記録できるように進化させた。さらに、従来製品は電圧と電流だけが解析対象だった FFT 解析機能に有効電力を追加し、パワースペクトラム解析機能に進化させた。これにより、電力測定と合わせて波形観測をできるようにしたことで、評価の効率化を図れるだけでなく、今まで正確に確認ができなかった電力の周波数解析も行うことができる。

2.4 高ノイズ耐性、高安定、高再現性

SiC や GaN などを用いた電力変換器の評価では、高速スイッチングによる電力変動を正確に把握するため、測定器に高ノイズ耐性が要求される。PW8001 では、U7001 で従来製品と同等のノイズ耐性 100 dB (100 kHz) を確保した。U7005 では、110 dB (100 kHz) とさらに高いノイズ耐性を確立することにより、年々技術進歩する電力変換器を、高い安定性と再現性で測定することを可能とし、評価の効率化を図ることができる。

3. 構成

3.1 アナログ

(1) 電圧測定部

(a) U7005

電圧入力部はシングルエンド入力とし、光素子を使った絶縁デバイスにより全チャンネルを絶縁入力としている。U7001 と同様に、アンチ・エイリアシング・フィルタを搭載し、同時にサンプリングした電圧と電流波形を高速電力解析エンジンに転送する。18 ビット 15 MS/s の

A/D コンバーターを採用することで、より高速な信号を高精度に測定できる。これにより、SiC や GaN に代表される wide band gap 半導体を使った電力変換器の電力損失をより正確に測定できる。

(b) U7001

電圧入力部は差動入力方式であり、抵抗分圧と絶縁デバイスにより全チャンネルを絶縁入力とし、高絶縁耐圧を実現している。ローパスフィルタは主にアンチ・エイリアシング・フィルタとして機能し、各種演算への折り返しノイズの影響を排除している。16 ビット 2.5 MS/s の A/D コンバーターは電圧と電流を同時にサンプリングしデジタル信号に変換して高速電力解析エンジンに転送される。

(2) 電流測定部

電流センサーの入力部には高確度電流センサーとのマッチングを最大限に考慮した入力回路を採用した。電流センサーの入力部は、センサー入力専用としセンサーの出力を高確度に測定できるようにした。こうすることで電流測定部の中で最大の発熱部であるシャント抵抗を排除でき、広帯域で高安定な測定を実現した。

(3) モーター解析

モーター解析の入力部はシングルエンド入力とし、絶縁デバイスにより全チャンネルを絶縁入力としている。これにより、グラウンドが共通のために起こるチャンネル間クロストークを削減した。入力チャンネル数を 8 チャンネルとし、これにより最大 4 系統のモーター解析を可能とした。また、アナログ信号入力や波形のトリガ入力として使用できる機能も搭載されている。

3.2 デジタル

(1) 電力解析エンジン

PW8001 では、第三世代電力解析エンジンとして、従来製品である PW6001 の電力解析エンジンの構成を基にプラットフォームを一新し、FPGA と CPU コアを有する SoC を採用することにより、各処理能力の大幅な向上を図った。

これにより、従来と同様の、測定値に影響を与えないフィルター処理による安定したゼロクロス検出から、高安定、高再現性の測定を実現したまま、最速 1 ms 間隔のデータ更新を可能とした。また、データ更新間隔の設定が 1 ms の場

パワーアナライザ PW8001

合でも、従来どおり入力周波数の変動に合わせてデータ更新間隔が自動で追従するため、従来の操作性のまま、変化の遅い信号から高速で変化する信号まで、設定を変更することなく測定を可能としている。

(2) 電流センサー位相補正

従来製品から搭載された電流センサーの位相補正機能において、電流センサーの位相補正の分解能を約 50 倍に向上させることにより、電流センサーの位相誤差をより少なくすることを可能とした。

また、「新・電流センサーインターフェイス」により、電流センサー生産時の個々の位相特性情報を電流センサーに記録、PW8001 でその情報を取得することにより、ユーザーは特別な操作を意識することなく、電流センサーの個体差による測定値への影響を最小限とし、特性を最大限生かした測定環境を提供することを可能とした。

(3) 広帯域高調波解析

PW8001 でも従来製品と同様に、15 MHz サンプルングの電圧、電流波形に対して、同期している基本波周波数に応じた最適なサンプリングレートに変換した波形を使用し、高調波演算を行う。サンプリングレート変換時には、アンチ・エイリアシング・フィルター処理を行うが、このフィルター処理は、通常の電力測定用の信号とは独立している。そのため、基本波周波数が低い場合でも、広帯域の電力測定と、エイリアシングの影響を受けない高調波解析を同時に行うことを可能としている。

PW8001 では、基本波周波数の範囲を最大 1.5 MHz、最大解析次数を 500 次とし、さらに広い帯域の高調波を解析可能とした。

3.3 ソフトウェア

(1) プラットフォーム

基本設計は従来製品を踏襲しているが、FPGA と 6 つの CPU コアで構成されるヘテロロジーニアス・マルチコア SoC を中心としたプラットフォームに一新した。

2 つのコアにはリアルタイム性が求められる処理を割り当てるため、リアルタイム OS (Real-Time Operating System) を AMP (Asymmetric Multi-Processing) 構成で動作させた。残り

の 4 つのコアは、既存のソフトウェア資産と各種ハードウェア資産に対応した汎用 OS を SMP (Symmetric Multi-Processing) 構成で動作させた。各 OS は、割り込みや共有メモリーを介して通信を行い、協調しながら動作する。

(2) 汎用 OS の処理

汎用 OS に割り当てた処理は次のとおりである。これらの処理の実装には既存のソフトウェア資産を活用することにより、開発工数を大幅に削減できた。

- ユーザーインターフェイス
- 通信
- ファイル
- 波形解析（拡大表示、FFT）

(3) リアルタイム OS の処理

リアルタイム OS に割り当てた処理は次のとおりである。最速 1 ms 間隔で電力演算を行うと同時に 50 ms 間隔で高調波演算を行う必要があるため、それぞれを別々のコアに割り当てた。

- 電力演算
- 高調波演算
- データ出力 (D/A, CAN)

3.4 機構

EIA ラックサイズ準拠の 5U サイズで設計された筐体には、多系統化への要求を満たすため、8 チャネルの入力ユニットが搭載されている。

高速スイッチングによる電力変動を正確に捕捉するために、ソリッドシールドと光絶縁デバイスの 2 つのキーデバイスの採用により、優れたサンプリング性能と耐ノイズ性能を両立している。

本体筐体は測定値の安定性および堅牢性を維持しつつ、板金構造と使用部材の見直しにより従来製品の PW6001 より軽量化を実現している。また、ファンによる空冷設計を刷新し、本体上面および下面には開口部を設けないことにより、ちりやほこりの侵入を防いでいる。

フロントパネル部には、大型のタッチパネルディスプレイを採用し、ユーザーのスムーズな操作を叶え、直感的なノブ操作により、操作性を追求したインターフェイスとなっている。青色、板金との一体成形ハンドルを前後左右の四隅に装着することで、運搬性と共に、意匠性も高めている。

4. 特性例

図3～図17に諸特性を示す。リニア（直線性）の特性、温度安定性、周波数特性など、同等クラスの製品と比較して極めて良好な特性となっている。これらの特性は、DCから広帯域の測定が必要なインバーターやパワーコンディ

ショナーの入出力の効率測定をする場合において、測定確度や測定の再現性を大幅に向上させる。この特性データは当社所有のPW8001を使用して測定した参考データであり、製品の特性を保証するものではない。また、電流・有効電力・位相の特性については、組み合わせる電流センサーの特性が加算される。

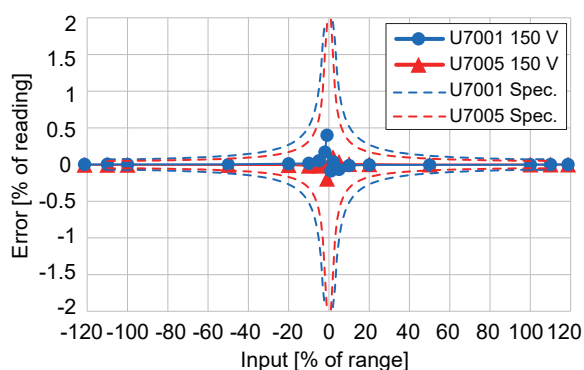


図3 電圧リニア DC

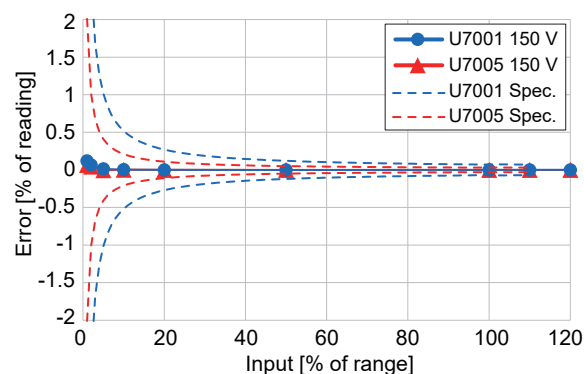


図4 電圧リニア 55 Hz

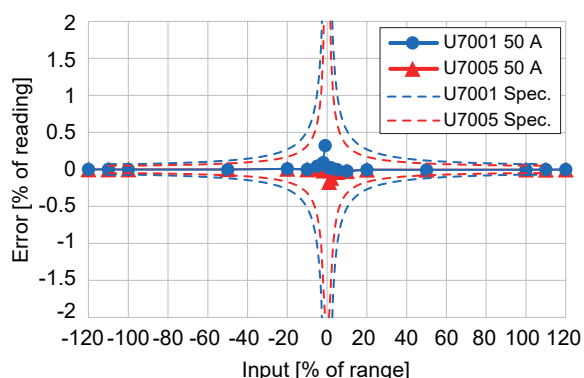


図5 電流リニア DC

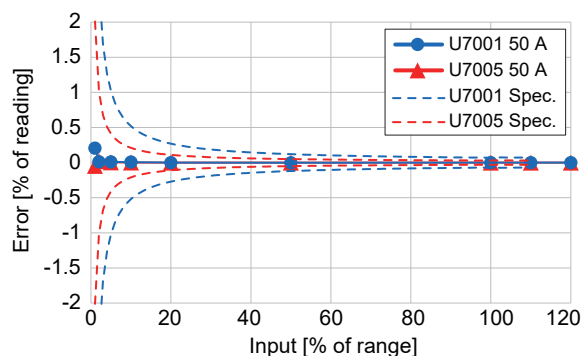


図6 電流リニア 55 Hz

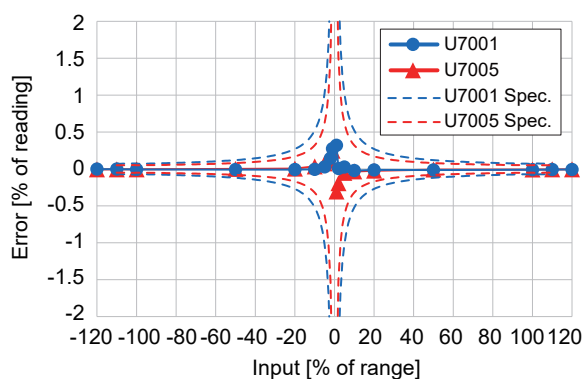


図7 有効電力リニア DC

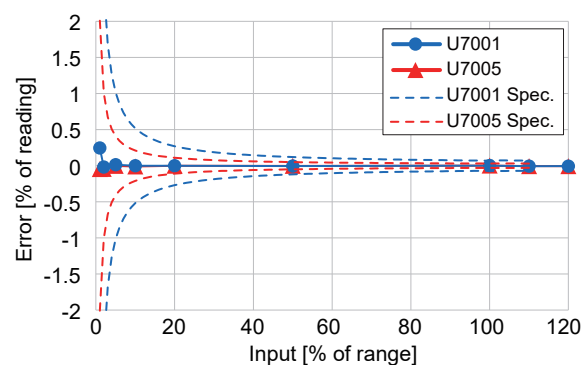


図8 有効電力リニア 55 Hz

パワーアナライザ PW8001

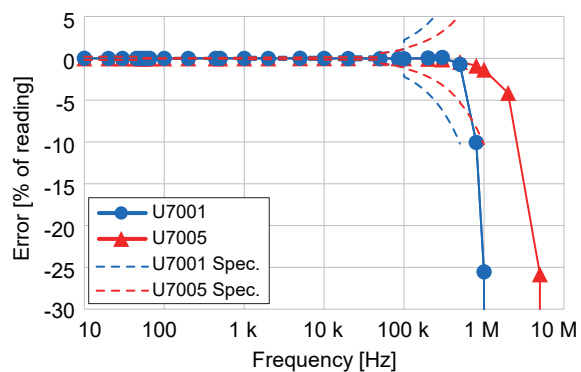


図 9 電圧周波数特性

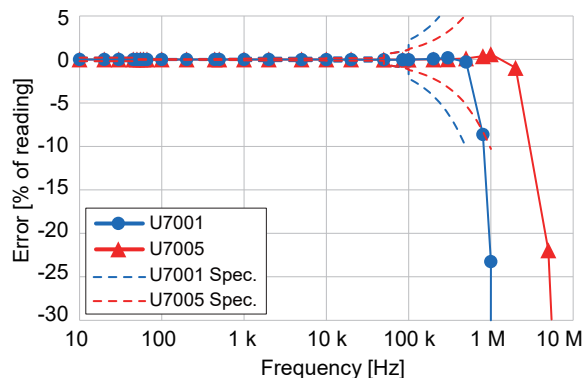


図 10 電流周波数特性

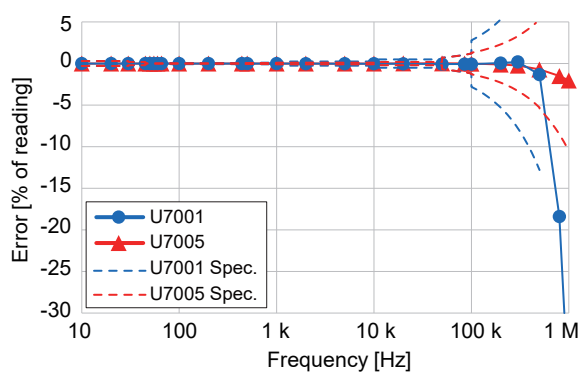


図 11 有効電力周波数特性

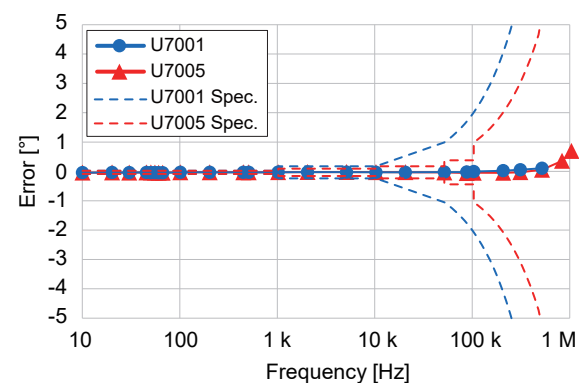


図 12 位相周波数特性

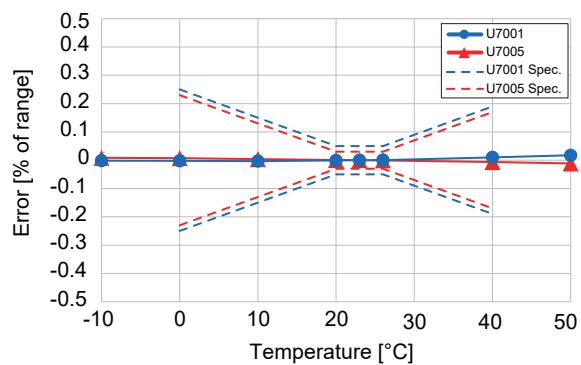


図 13 電圧温度特性 DC 0% 入力

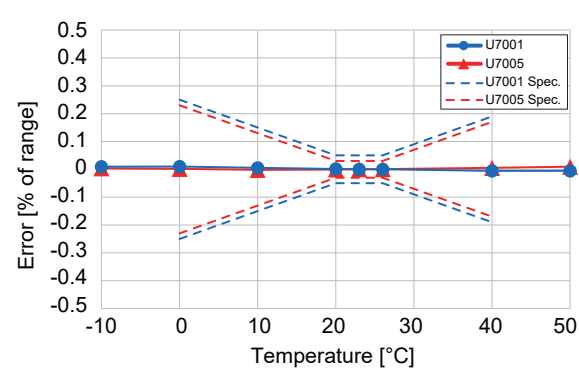


図 14 電流温度特性 DC 0% 入力

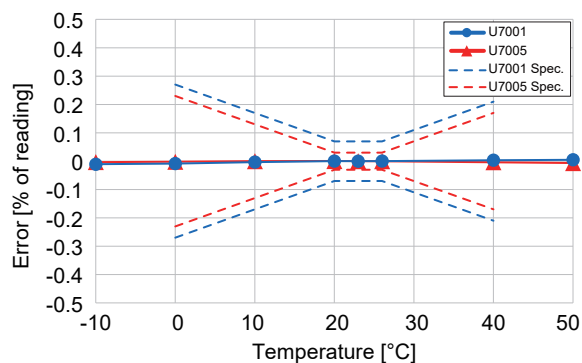


図 15 電圧温度特性 55 Hz, 100% 入力

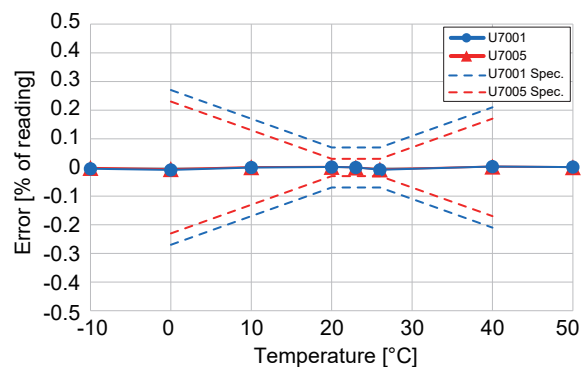


図 16 電流温度特性 55 Hz, 100% 入力

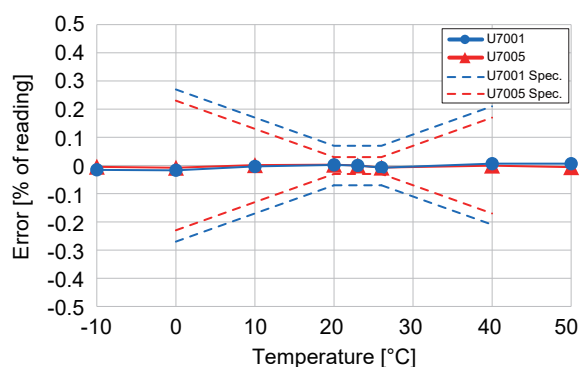


図 17 有効電力温度特性 55 Hz, 100% 入力

5. おわりに

PW8001 の特徴や構成について記載した。PW8001 の特徴および性能が、電力測定にかかわる多くのユーザーの問題解決の一助となり、さらなる省エネルギー化、技術革新などを促進することにより、持続可能な社会の実現に貢献できれば幸いである。

林 和延 ^{*2}, 滝口 真也 ^{*2}, 瓶子 利夫 ^{*2},
竹内 陽一郎 ^{*3}

参考文献

- 1) 依田 元：パワーアナライザ PW6001, 日置技報, VOL.37 2016 NO.1, 45/52 (2016)

^{*2} SS ユニット

^{*3} プロダクトマネジメント部