

プレシジョンパワーアナライザ WT3000 の高調波電流 / フリッカ測定機能

Harmonics Current / Flicker Measuring Function of WT3000 Precision Power Analyzer

岩瀬 久^{*1} 伊東 修^{*1}

IWASE Hisashi ITO Osamu

塩田 敏昭^{*1} 木村 武志^{*1}

SHIODA Toshiaki KIMURA Takeshi

世界最高クラスの電力測定精度を持つプレシジョンパワーアナライザWT3000に、高調波電流/フリッカ測定機能を追加した。同時に高調波電流/フリッカ測定用PCソフトウェアも開発し、このPCソフトウェアとWT3000で、高調波電流規格IEC61000-3-2、電圧変動/フリッカ規格IEC61000-3-3適合性評価試験に対応できる。これにより、電気機器の開発評価において、高精度の消費電力測定から高調波電流、フリッカ測定まで1台で行える。本稿では、高調波電流規格と電圧変動/フリッカ規格の概要と、WT3000での測定原理およびPCソフトウェアについて述べる。

We have added a harmonics current/flicker measuring function to the WT3000 Precision Power Analyzer with world-leading accuracy of power measurement. We have also created PC software for harmonics current/flicker measurement. This PC software and the WT3000 comply with the IEC61000-3-2 harmonics current standard and IEC61000-3-3 voltage change/flicker standard, thus enabling the electrical power, harmonics current and flicker of electrical equipment to be measured precisely with a single unit. This paper outlines the harmonics current standard and voltage change/flicker standard, along with the measurement principle and PC-based software of the WT3000.

1. はじめに

EMC(電磁両立性)に関する国際規格の中に、電源高調波電流規格と電源電圧変動規格がある。これらは低周波のEMCと呼ばれ、公共低電圧配電系に接続される他の機器へ妨害を出さないようにするためのエミッション規格である。特にEU(ヨーロッパ連合)に輸出する場合には、CEマーキングが必要であり、国際規格に決められた限度値以内に電源高調波電流および電源電圧変動が入っていなければならない。

この国際規格も内容の変更が行われ、最新の国際規格に対応した高調波電流測定および電圧変動測定が求められている。この要求に応えるため、今回、世界最高レベルの電力測定精度を持つプレシジョンパワーアナライザWT3000に高調波電流測定および電圧変動/フリッカ測定機能を追加した。

2. 高調波電流規制の概要

電気電子機器が高調波電流を発生すると、配電系のイ

ンピーダンスにより電源電圧波形に歪みが生じ、同じ配電系に接続された他の機器に歪んだ電圧波形が印加される。この歪んだ電圧波形は、例えば位相制御を行っている機器に誤動作をもたらすことがある。また、高調波電流の増加は電力用コンデンサ、直列リクトルの過熱をもたらすことがある。この高調波電流を抑制するため、国際規格で高調波電流の限度値が決められている。

高調波電流の国際規格としては、IEC61000-3-2があり、公共低電圧配電系に接続される相当たり16 A以下の機器に対するものとなっている。この規格では機器をクラスA, B, C, Dの4つに分け、それぞれ限度値が規定されている。

各クラスの限度値は、試験観測期間における平均高調波電流と最大高調波電流に適用され、平均高調波電流の限度値に対し最大高調波電流の限度値は1.5倍となっている。この他に、無視できる高調波電流の大きさ、部分的に限度値が緩和される条件等が決められている。

3. WT3000 の高調波電流測定原理

WT3000の高調波電流測定回路の構成を、図1に示す。

電流入力はシャント抵抗により電圧に変換され、演算増幅器で正規化後、LPF(ローパスフィルタ)を通り、A/D変

*1 通信・測定器事業部 基本計測開発センター

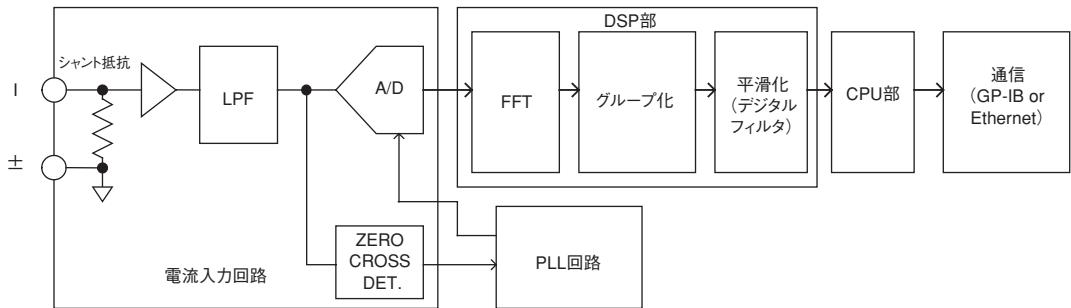


図1 WT3000高調波電流測定回路の構成

換器に入力される。また、ゼロクロス検出器により入力信号の周期が取り出され、PLL回路に入力される。PLL回路では入力周波数が50 Hzの場合900倍の周波数を発生し、60 Hzの場合750倍の周波数を発生する。この周波数によりA/D変換器が動作し、DSP部にサンプリングデータが送られる。DSP部では、9000ポイントのFFT演算を行う。入力周波数が50 Hzの時と、60 Hzの時で入力周波数に対するサンプリング周波数の倍数が違うのは、どちらの周波数でもFFTポイント数を同じにしていることと、高調波電流測定器の規格であるIEC61000-4-7:2002で、FFTの窓幅は入力周波数が50 Hz場合は10サイクル、60 Hzの場合は12サイクルと決まっていることからである。

FFT演算の結果に対し、入力周波数の整数倍の高調波成分は次式より、中間高調波を含めた高調波グループの実効値 $G_{g,n}$ が求められる。入力周波数が50 Hzの時は(1)式、60 Hzの時は(2)式である。

$$G_{g,n} = \sqrt{\frac{C_{k-5}^2}{2} + \sum_{i=-4}^4 C_{k+i}^2 + \frac{C_{k+5}^2}{2}} \quad \dots (1)$$

$$G_{g,n} = \sqrt{\frac{C_{k-6}^2}{2} + \sum_{i=-5}^5 C_{k+i}^2 + \frac{C_{k+6}^2}{2}} \quad \dots (2)$$

ここで、 n :高調波電流の次数、 C_k : k 番目の周波数スペクトラムの実効値

次に、この高調波グループの実効値に対し、図2に示す時定数が1.5秒のデジタルフィルタにより平滑化を行う。

測定値は平滑化後CPU部に送られ、通信インターフェースに接続されたPC(パーソナルコンピューター)に200 msec毎にデータの抜けなく転送される。

表1に、高調波電流測定に関する概略の仕様を示す。

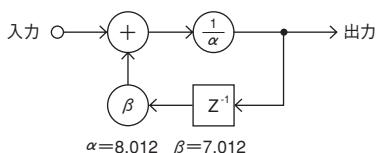


図2 デジタルフィルタ

4. 高調波測定用PCソフトウェア

高調波測定用PCソフトウェアは、WT3000をコントロールし、規格に沿った測定および判定を行う。

本ソフトウェアでは、最大で24時間までの測定観測期間を設定可能であり、機器のプログラムサイクル全体を十分確保でき、再現性の良い試験が可能である。また、複数回行った測定結果ファイルを指定することにより、各次数の平均値と最大値の再現性を確認できる。これにより、規格が要求している測定の再現性について容易に確認することができる。図3に、高調波電流のバーグラフ表示例を示す。

5. 電圧変動 / フリッカ規制の概要

フリッカは、明るさの変動(チラツキ)により、人が受ける不快感と定義されている。

フリッカの発生原因を図4により説明すると、電気機器内のモータの起動などにより大きな電流が配電系のインピーダンスに流れ、電源電圧が低下し、電源に接続された白熱電球が暗くなる。電源電圧の変化は白熱電球のチラツキとなり、人に不快感を与える。

表1 高調波測定の概略仕様

項目	仕様
測定対象	各入力エレメントおよびΣ結線ユニットから、1つを選択
方式	PLL同期方式
周波数範囲	PLLソースの周波数が45 Hz~66 Hzの範囲
PLLソース	各入力エレメントの電圧、電流、外部クロックから選択
FFTデータ長	9000ポイント
窓関数	レクタンギュラ
アンチエリアシングフィルタ	ラインフィルタで設定(5.5 kHz)
電流精度	45 Hz ≤ f ≤ 66 Hz 0.2% of reading + 0.04% of range
ラインフィルタ (5.5 kHz) ON	66 Hz < f ≤ 440 Hz 0.5% of reading + 0.05% of range 440 Hz < f ≤ 1 kHz 1% of reading + 0.05% of range 1 kHz < f ≤ 2.5 kHz 2.5% of reading + 0.05% of range



図3 電流高調波のバーグラフ表示例

この原因となる電圧変化を規制する国際規格として、IEC61000-3-3がある。この規格は、公共低電圧配電系に接続される相当たり 16 A 以下の機器が対象となっている。測定項目は、相対定常電圧変化(dc)，最大相対電圧変化(dmax)，相対電圧変化 $d(t)$ が 3.3% を超える時間，短期間フリッカ値(Pst)，長期間フリッカ値(Plt)の5つである。

各項目は次のように求められる。定格電圧を U_n ，電圧波形の半波毎の実効値を $U(t)$ とし，ある定常状態から電圧変化が発生し次の定常状態に移る間の電圧変化を $\Delta U(t)$ とする。この $\Delta U(t)$ の最大と最小の差を，最大電圧変化 ΔU_{max} とする。また，2つの定常状態の電圧の差を定常電圧変化 ΔU_c とすると， $d(t)$ ， $dmax$ ， dc は次のようになる。

相対電圧変化特性 $d(t)$: $\Delta U(t)/U_n$

最大相対電圧変化 $dmax$: $\Delta U_{max}/U_n$

相対定常電圧変化 dc : $\Delta U_c/U_n$

短期間フリッカ値Pstを求める方法として4種類の方法が規格に規定されているが、WT3000では全ての電圧変動に対応できるフリッカメータによる方法を採用している。フリッカメータの詳細は、IEC61000-4-15による。長期間フリッカ値Pltは、短期間フリッカ値Pstから求められる。

6. WT3000 の電圧変動 / フリッカ測定原理

WT3000では、電圧変動およびフリッカメータの信号処理をDSPにて行っている。図6に、電圧変動 / フリッカの構成図を示す。

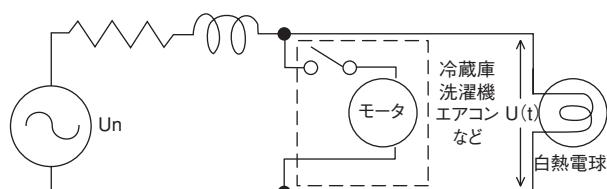


図4 フリッカの発生原因

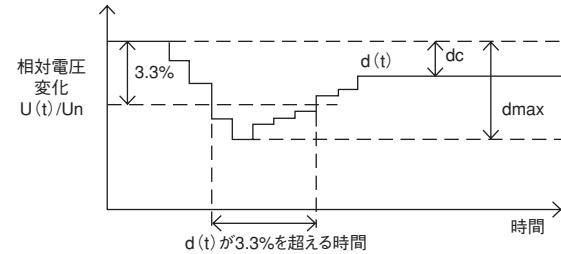


図5 相対電圧変化

相対定常電圧変化 dc ，最大相対電圧変化 $dmax$ ，相対電圧変化 $d(t)$ が 3.3% を超えている時間は，次のように求められる。

入力信号のゼロクロス検出を行い，半波の実効値を求める。この半波の実効値 $U(t)$ と定格電圧 U_n から相対電圧 d を求める。この相対電圧 d から，定常/変動状態の検出を行い， dc ， $dmax$ ，相対電圧変化 $d(t)$ が 3.3% を超えている時間を求め出力する。これらの値はINTERVAL(通常は10分)毎にリセットされ，測定回数(通常は12回)繰り返される。また， dc ， $dmax$ ， $d(t)$ の瞬時値もデータ更新(= 2秒)毎の瞬時値として出力している。

短期間フリッカ値Pstと長期間フリッカ値Pltは，次のように求められる。

図6のブロック1は，入力電圧を内部基準レベルに調整するための入力電圧アダプタである。ステップ入力に対して，10% から 90% までの応答が 60 秒となっている。

ブロック2ではランプの特性をシミュレートするため，入力を 2 乗している。

ブロック3は3つのフィルタより構成され，1段目のフィルタでは直流成分を除去し，2段目のフィルタでは電源周波数の2倍の成分を除去する。3段目のフィルタは，人間の視覚系と共にランプの周波数応答をシミュレートする。

ブロック4は，2乗器，ローパスフィルタから成り，非線形の目，脳への知覚と，脳の記憶効果をそれぞれシミュレートする。そして，ブロック4の出力が瞬時フリッカ感を表す。

ブロック5では，ブロック4の出力をレベル分類器によってクラス分けをし，1回の測定期間(通常 10 分)終了後，全てのクラスのカウント数の合計と各クラスのカウント数から，フリッカレベルの確立密度関数を得る。これを基に累積確率関数(CPF)を求め，次式により短期間フリッカ値 Pst を計算する。

$$Pst = \sqrt{0.0314P_{0.1} + 0.0525P_{1s} + 0.0657P_{3s} + 0.28P_{10s} + 0.08P_{50s}} \quad (3)$$

$$P_{1s} = \frac{P_{0.7} + P_1 + P_{1.5}}{3} \quad \dots (4)$$

$$P_{3s} = \frac{P_{2.2} + P_3 + P_4}{3} \quad \dots (5)$$

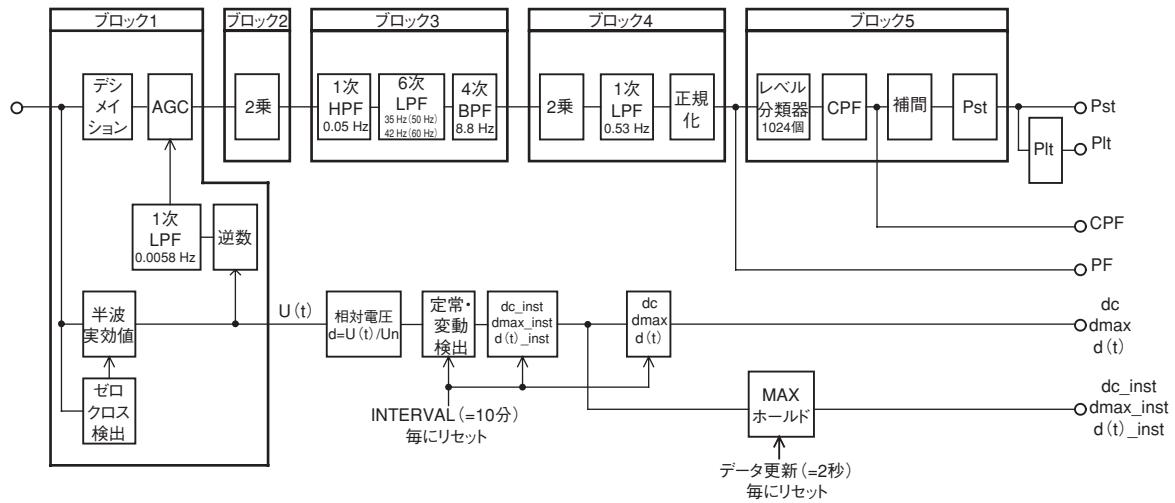


図6 電圧変動 / フリッカ測定回路の構成

$$P_{10S} = \frac{P_6 + P_8 + P_{10} + P_{13} + P_{17}}{5} \quad \dots (6)$$

$$P_{50S} = \frac{P_{30} + P_{50} + P_{80}}{3} \quad \dots (7)$$

ここで、 P_k は累積確率が $k\%$ を超えるフリッカレベルを示す。このフリッカレベル P_k は、フリッカレベル 0.01 ~ 6400P.U. を log スケールで 1024 分割した CPF より補間によって算出する。この時のフリッカレベルとクラスの関係は、フリッカレベル 6400P.U. がフリッカクラス 1024 に対応し、フリッカレベル 0.01P.U. がフリッカクラス 0 に対応する。

設定された測定回数(通常は 12 回)終了後、長期間フリッカ値 Plt を次式より計算する。ここで、 Pst_i は i 番目の短期間フリッカ値 Pst であり、 N は測定回数である。

$$Plt = \sqrt[3]{\frac{\sum_{i=1}^N Pst_i^3}{N}} \quad \dots (8)$$

表2に、電圧変動 / フリッカ測定の概略仕様を示す。

7. 電圧変動 / フリッカ測定用 PC ソフトウェア

電圧変動 / フリッカ測定用 PC ソフトウェアは、WT3000 をコントロールし、規格に沿った測定および判定を行う。

WT3000 から PC への測定値の転送は 2 秒間隔で行われ、転送される測定値は、相対定常電圧変化 dc 、最大相対電

表2 電圧変動 / フリッカ測定の概略仕様

項目	仕様
対象電圧/周波数	230 V/50 Hz, 120 V/60 Hz
測定対象エレメント	エレメント 1 ~ 4
測定項目	dc (相対定常電圧変化)、 $dmax$ (最大相対電圧変化)、 $d(t)$ (1 回の電圧変化期間中の相対電圧変化がスレッシュレベルを超える時間)、 Pst (短期間フリッカ値)、 Plt (長期間フリッカ値)
精度	$dc, dmax: \pm 4\%$ ($dmax = 4\%$ にて) $Pst: \pm 5\%$ ($Pst = 1$ において)

圧変化 $dmax$ 、相対電圧変化特性 $d(t)$ が 3.3% を超える時間、短期間フリッカ値 Pst 、長期間フリッカ値 Plt 、累積確率関数 CPF、瞬時フリッカ値 PF 、瞬時 dc 、瞬時 $dmax$ 、瞬時 $d(t)$ となっている。

これらの測定値を本に PC ソフトウェアでは、数値判定表示、トレンドグラフ表示、CPF グラフ表示を行う。

瞬時フリッカ値 PF 、瞬時 dc 、瞬時 $dmax$ 、瞬時 $d(t)$ が PC に保存されるため、測定結果だけでなく、大きな電圧変動がいつ起きたのかを確認することができ、対策検討に役立つようにしている。

8. おわりに

高調波電流および電圧変動 / フリッカの発生原因から、それらに対応する規格の内容と、プレシジョンパワーアナライザ WT3000 の高調波電流測定、電圧変動 / フリッカ測定の原理および PC ソフトウェアについて述べた。

電気電子機器の開発評価において、WT3000 が電力測定と共に、高調波電流測定、電圧変動 / フリッカ測定に活用されることを期待している。

参考文献

- (1) IEC61000-3-2 Edition2.2 : 2004
- (2) IEC61000-4-7 Edition2 : 2002
- (3) IEC61000-3-3 Edition1.2 : 2005
- (4) IEC61000-4-15 Edition1.1 : 2003
- (5) 塩田敏昭 他, “デジタルパワーメータ WT2010/WT2030”, 横河技報, Vol. 41, No. 1, 1997, p. 11-14
- (6) 岩瀬久 他, “プレシジョンパワーアナライザ WT3000”, 横河技報, Vol. 49, No. 1, 2005, p. 17-20

* ‘Ethernet’ は、富士ゼロックス(株)の登録商標です。