電圧変動・フリッカの国際規格と測定技術　測定技術編

横河計測株式会社
技術開発本部　第1技術部
塩田 敏昭

系統電源の品質維持を目的としての高調波電流規制とともに、白熱電球のちらつき、コンピュータ応用機器の誤動作、さらに機器の突入電流抑制を目的とする電圧変動・フリッカに関しても規制が課されている。この電圧変動・フリッカの限度値を規定している国際規格はIEC61000-3-3とIEC61000-3-11となる。これら規格は電磁両立性の観点からのエミッションの規格となり、CEマーキングの取得には必須の規格である。また、IEC61000-4-15にて、電圧変動・フリッカの測定に関する要求事項が規定されている。

本稿では、プレシジョンパワーアナライザWT5000における電圧変動・フリッカの測定技術について説明する。

1．電圧変動・フリッカの測定方法の国際規格

電圧変動・フリッカの測定方法は、国際規格IEC61000-4-15にてフリッカメーター機能及び設計仕様として規定されている。電圧変動・フリッカの限度値を規定したIEC61000-3-3とIEC61000-3-11で必要な測定パラメータはdc、dmax、Tmax、Pst、Pltとなるが、これらを測定するための方法が、IEC61000-4-15で定められている。

この規格ではフリッカメーターをF1、F2、F3の3つのクラスに分けており、IEC61000-3-3、IEC61000-3-11の適合性試験では、F1またはF2のフリッカメーターが必要である。WT5000はF2に対応している。

2．電圧変動・フリッカの測定方法

WT5000では、IEC61000-4-15に準拠したフリッカメーター（クラスF2）を実現するため、図1のブロック構成となっている。

測定パラメータの中で、半波の実効値から直接求められるdc、dmax、Tmaxをdパラメータと呼ぶ。dc、dmax 、Tmaxはブロック1で求められ、Pstはブロック5の出力であり、Pltは複数のPstから算出されるパラメータである。

入力された電圧のアナログ信号は、アンプを通して正規化され、アナログフィルター（カットオフ周波数1MHz）通過後に、サンプリング周波数10MS/sのA/D変換器で、18bitのディジタル値に変換される。

信号波形は、その後のデシメーション（サンプリングデータの間引き）による折り返しの影響を防ぐために、ラインフィルター（ディジタルフィルター、カットオフ周波数10kHz）で帯域制限を行う。

その後、ブロック１のAGC回路、ブロック2の二乗器、ブロック３の3種のフィルター、ブロック４の二乗器とフィルター、ブロック5のレベル分類器とCPF算出器、Pst算出器を通ってPstを算出する。また、Plt算出器でPltを算出する。

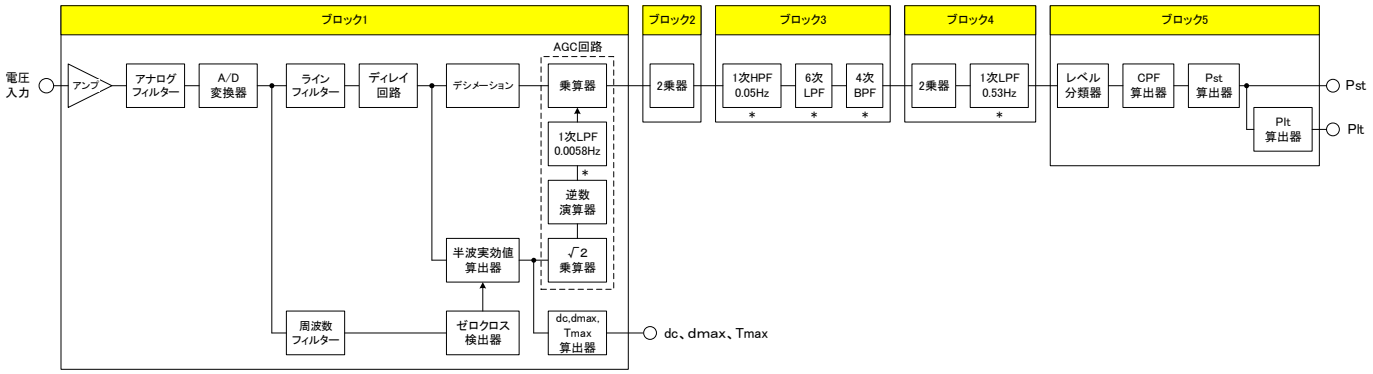


図1　WT5000のフリッカモードのブロック図

さらに、ブロック1の半波実効値算出器、dc,dmax,Tmax算出器を通って、dパラメータを算出する。

2-1　dパラメータの測定

半周期毎の電圧実効値を求め、それを定格電圧値で割って、%の単位にしたものがd(t)となる。このときの半波の実効値は、基本周波数の電圧の連続するゼロクロス間の半周期で決定される実効値と規定されている。d(t)の変化が1秒以上、±0.2%内に収まっている時を定常状態と定義する。

dcは１回の電圧変動の変動前と変動後の差分で、dmaxは1回の電圧変動における変動前からの最大差分であり、Tmaxは1回の電圧変動でdcの限度値（3.3%）を超えている時間を意味する。

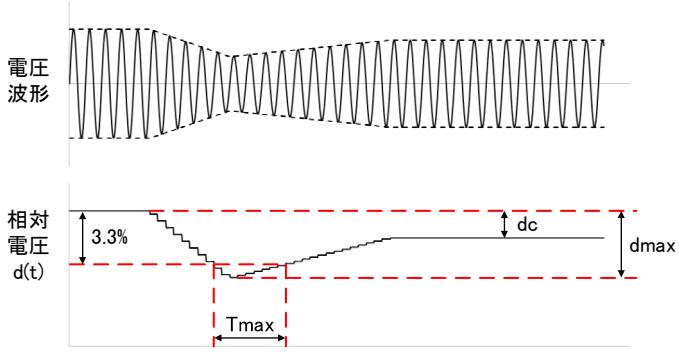
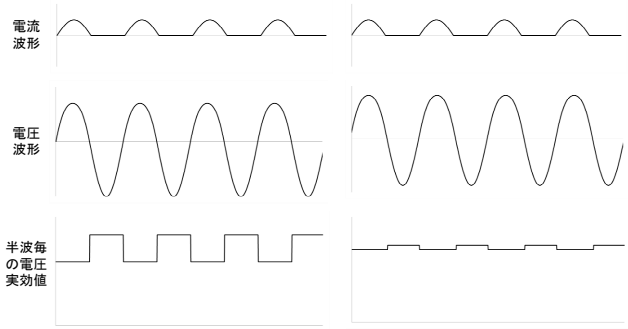


図2　dパラメータの求め方＊1)

①半波の実効値測定時のゼロクロスの検出

電圧変動・フリッカ測定が可能だった従来機種（WT3000E）のときから、半波毎の実効値を求める際に、電圧入力端子から半波実効値算出器までは、DCカップリングを採用している。これは、正側の半波と負側の半波の振幅が異なる場合でも、ゼロクロスの検出レベルを正確に0Vとするためである。図3のように、半波整流を行っている機器の場合には、正側または負側のどちらか一方しか電流が流れない。このとき、ACカップリングしてしまうと、ゼロクロスのレベルを本来の0Vとは異なるレベルで検出し、電圧変動が実際より小さく測定されてしまう可能性がある。DCカップリングはこのことを回避できる。



DCカップリング方式（WTシリーズ）　　ACカップリング方式

図3　半波整流機器の電圧変動

また、入力波形にノイズが重畳し、本来のゼロクロスではない時刻でゼロクロスの誤検出を行わないように、図1に示すように周波数フィルター（ディジタルフィルター、カットオフ周波数1kHz）で高周波成分をカット後に、ゼロクロスの検出を行う。

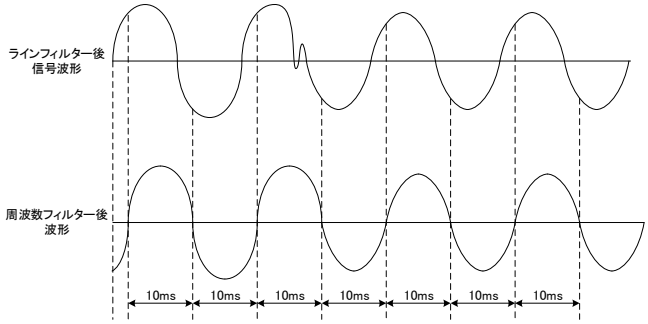


図4　ラインフィルター後の信号波形と周波数フィルター後の波形

この時、ラインフィルターと周波数フィルターとでカットオフ周波数が異なり50Hz/60Hzでの位相遅延が違うために、図4のように、ラインフィルター後のゼロクロスの位置と、周波数フィルター後のゼロクロスの位置がずれてしまう不都合が生じる。そこで、ラインフィルター後にディレイ回路を挿入し、信号側も周波数フィルターと同じ遅延時間になるようにしている（図5）。

信号側とゼロクロス検出側で、ゼロクロスの位置を合わせてから、半波実効値算出器で半波毎の実効値を算出している。

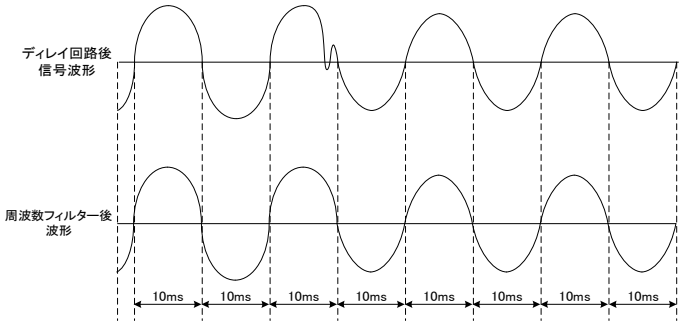


図5　ディレイ回路後の信号波形と周波数フィルター後の波形

2-2　短期間フリッカ値Pstと長期間フリッカ値Pltの測定

図1のブロック図に従い、短期間フリッカ値Pstと長期間フリッカ値Pltの測定方法を説明する。

①　ブロック１：デシメーション

Pstの算出に関連する図1の＊マークの付いたフィルターで、カットオフ周波数の最低値は0.0058Hzとなっている。A/D変換されたデータは10MS/sだが、このままのサンプリング周波数で、0.0058Hzのディジタルフィルターを実現しようとすると演算bit長を非常に長くしないと演算誤差が出てしまう。

そのため、デシメーションを行いサンプリング周波数を下げて、現実的な演算bit長で演算精度を満たせるようにしている。具体的には、サンプリングデータを1/50に間引きして200kS/sとしている。なお、このダウンサンプリング前に、ラインフィルター10kHzで、100kHz以上の成分を-80dB以下に減衰させて、折り返しの影響がないようにしている。

② ブロック１ ： AGC（オートゲインコントロール）回路

半波の実効値に√２を乗算して振幅値とし、これの逆数を取る。さらに時定数27.3秒の1次ローパスフィルター（カットオフ周波数0.0058Hz）を通した後に、デシメーション後の信号と乗算することで、ブロック2への入力レベルを自動的に調整し、振幅が一定に保たれるように制御している。

③ ブロック２ ：二乗復調器

入力電圧を二乗することにより電圧変動を復元する。電球の特性をシミュレートする。

④ ブロック３ ：フィルター

3つのフィルターより構成されている。１段目のフィルターは、カットオフ周波数0.05Hzの１次ハイパスフィルターである。2段目のフィルターは、６次ローパスフィルター（50Hz電源ではfc=35Hz、60Hz電源ではfc=42Hz）で、1段目と2段目のフィルターにより、直流成分および電源周波数の２倍の成分を除去する。

3段目のフィルターは4次バンドパスフィルターで、電球の電圧変動に対する人間の視覚系の周波数応答をシミュレーションする。伝達関数が規定されている。

従来機種では、ファームウェアでフィルター演算を行っていたため、フィルターの段数が多いと演算処理時間が長くボトルネックとなるため、サンプリング周波数をかなり低くせざるを得なかった。WT5000では、ハードウェアで処理を行っているので、演算処理時間はボトルネックにはならず、前述のとおり200kS/sで処理している。

WT5000でのブロック3の各フィルターの周波数特性を図6に示す。6次ローパスフィルターは、50Hz電源用と60Hz電源用の2種類がある。4次バンドパスフィルターは、230V電源用と120V電源用の2種類がある。いずれも規格で指定された特性に忠実に従っている。

⑤ ブロック４ ：二乗と平滑化

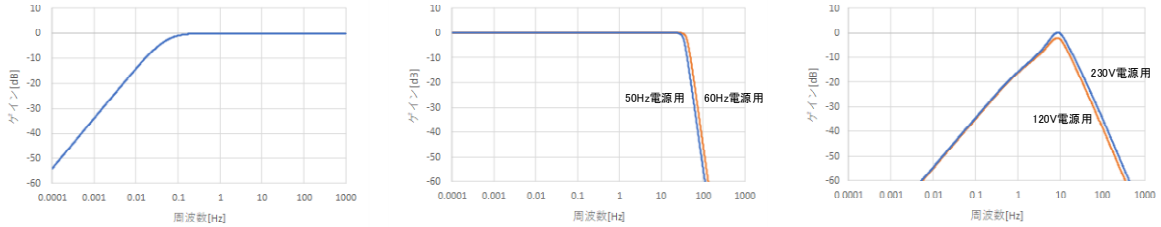
二乗器は、目から脳への非線形性をシミュレートし、1次ローパスフィルターは、脳の記憶効果をシミュレートするものである。ブロック４の出力は、瞬時フリッカ感を表す。

⑥ ブロック５ ：レベル分類器と累積確率関数(CPF)

ブロック4の出力を1kS/sでサンプリングし、レベル分類する。このとき、0.0001～6400P.U. (Perceptibility Unit：知覚単位)を対数として1400分割し、レベルが低い時でも高精度に分類できるようにしている。

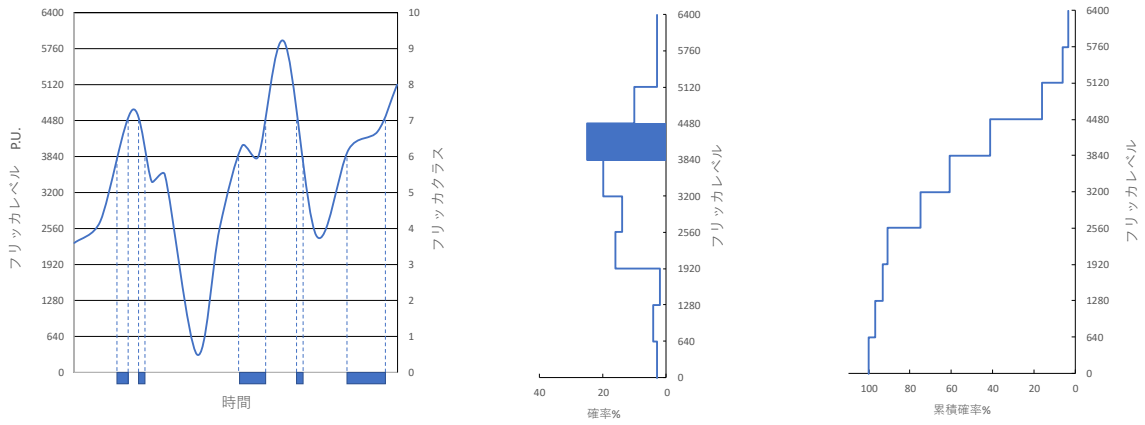
1回のサンプリング毎に、対応するクラスのカウンタを1だけ増やし、測定期間の終了後、すべてのクラスのカウント数を合計し、各クラスのカウント数をその合計数で割ることで、フリッカレベルの確率密度関数を得る。確率密度関数のクラスの大きい方からクラスの小さい方に確率を累積し、累積確率関数（CPF）を得る。

図7は、フリッカレベル0～6400P.U. をリニアスケールで10クラスに分類したときの例である。実際にはクラス数はもっと多くし、前述の通りリニアスケールではなく対数スケールで行っている。



1次ハイパスフィルター　　6次ローパスフィルター　　4次バンドパスフィルター

図6 ブロック3のフィルターの周波数特性



ブロック４の出力　　確率密度関数　　累積確率関数

図7 累積確率関数（CPF）の求め方 *2)

⑦ ブロック5：短期間フリッカ値Pst

短期間フリッカ値Pstは、累積確率関数から次式で求められる。

$$Pst = \sqrt{0.0314P_{0.1} + 0.0525P_{1S} + 0.0657P_{3S} + 0.28P_{10S} + 0.08P_{50S}}$$

$P_{1S}=(P_{0.7}+P_1+P_{1.5})/3$
$P_{3S}=(P_{2.2}+P_3+P_4)/3$
$P_{10S}=(P_6+P_8+P_{10}+P_{13}+P_{17})/5$
$P_{50S}=(P_{30}+P_{50}+P_{80})/3$

(1)*3)

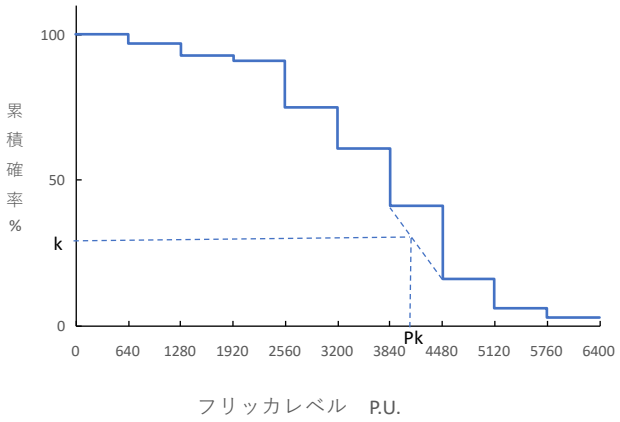


図8 P_kの求め方*4)

⑧ 長期間フリッカ値Plt

長期間フリッカ値Pltは、次式から求められる。

$$Plt = \sqrt[3]{\left(Pst_1^3 + Pst_2^3 + \cdots + Pst_{12}^3\right)/12} \quad (2)^{*5)}$$

Pst_n ： n番目の10分間のPst

3. まとめ

電圧変動・フリッカの測定技術について、最新機種のWT5000を例として説明してきた。

WT5000では、従来機種（WT3000E）と比較し次の点が向上している。

・半波の実効値の算出では、ゼロクロス検出用に周波数フィルターを設け、ノイズに対する耐性を高め、dパラメータの正確性を向上させた。

・入力段の帯域は10kHzと、規格で要求されている450Hzより十分広帯域となっている。

・レベル分類器のサンプリング周期を従来機種の100S/sから1kS/sに高速化し、さらに、レベルの最小値を従来の0.01P.U.から0.0001P.U.に拡張したことで、Pstをより高精度に演算できるようになった。

WT5000が電気電子機器の電圧変動・フリッカ測定において活用されることを期待する。

参考文献

・IEC61000-4-15 第2.0版：2010
*1)：Annex B B.2 Figure B.2
*2)：4.6 Block 5 - On-line statistical analysis Figure 3a
*3)：5.7.2 Short-term flicker evaluation
*4)：4.6 Block 5 - On-line statistical analysis Figure 3b
*5)：5.7.3 Long-term flicker evaluation

横河計測株式会社

YMI-KS-MI-S07

本 社 〒192-8566 東京都八王子市明神町4-9-8 TEL：042-690-8811 FAX：042-690-8826
ホームページ https://www.yokogawa.com/jp-ymi/

製品の取り扱い、仕様、機種選定、応用上の問題などについては、カスタマサポートセンター 0120-137-046 までお問い合わせください。
受付時間：祝祭日を除く、月～金曜日／9:00～12:00、13:00～17:00 E-mail：tmi-cs@csv.yokogawa.co.jp

記載内容は 2021年4月6日 現在のものです。また、お断りなく変更することがありますのでご了承ください。価格には別途消費税が加算されます。
All Rights Reserved. Copyright © 2021, Yokogawa Test & Measurement Corporation [Ed:01/d]