

電圧変動やフリッカの制限 — IEC 61000-3-3、-3-11 の概要

株式会社 e・オータマ 佐藤智典

2021 年 12 月 7 日

目次

1	はじめに	1
2	電圧変動とフリッカ	1
2.1	電圧変動	2
2.2	フリッカ	3
2.2.1	$P_{st} = 1$ カーブ	3
2.2.2	白熱電球以外の照明への影響	3
3	IEC 61000-3-3	4
3.1	適用範囲	4
3.2	評価方法	5
3.3	評価されるパラメータ	5
3.4	限度	6
3.5	測定	6
3.5.1	EUT の動作条件	7
3.5.2	P_{st} の測定	7
3.5.3	P_{lt} の測定	7
3.5.4	手動スイッチングによる d_{max} の測定	8
3.5.5	測定の省略	8
4	IEC 61000-3-11	9
4.1	適用範囲	9
4.2	評価されるパラメータ、限度、動作条件	9
4.3	測定、評価、接続の条件の宣言	9
4.3.1	Z_{max} を宣言する場合	9
4.3.2	100 A/相以上の電源容量を宣言する場合	10
5	参考資料	11

1 はじめに

本稿では電気機器による電圧変動やフリッカ^{†1}の発生の制限に関する規格である IEC 61000-3-3:2013+A1:2017^[1]、及び IEC 61000-3-11:2017^[2]の概要を述べる。

なお、本稿は規格の内容全てをカバーするものではなく、また正確であるとも限らないので、規格についての正確な情報は規格そのもの^{[1][2]}を参照していただきたい。

2 電圧変動とフリッカ

AC 230 V や AC 100 V などの低圧電源には互いに独立して動作する様々な負荷が接続されている。

電源や電源線は無視できないインピーダンスを持つため、それらの負荷が電源から吸い込む電流が変動するとそれに応じて電源電圧が変動する(図1)。

このような電圧変動が電子機器の誤動作(例えばコンピュータのリセット)などの問題を引き起こす可能性もあるが、最も良く見られる影響は照明のちらつき(フリッカ)である。

このような電圧変動は、通常の使用では長期間電源を入れたままとされる機器の主電源のオン/オフによるもののように非常に低い頻度で生じることもあるが、例えば

- エアコン、冷蔵庫など(インバータ式でないもの)のコンプレッサのオン/オフ
- 洗濯機、乾燥機、掃除機、エレベータ、ポンプなどのモータのオン/オフや正転/逆転

^{†1} フリッカ(flicker)は「その照度やスペクトラム分布が時間につれて変動する光刺激によって誘起される視覚的な不安定さの印象」と定義されており、簡単に言えば照明のちらつきなどのことである。実際に照明のちらつきが評価の対象となることもあるが、本稿で述べる規格では同じ電源系統に接続された照明のフリッカを引き起こすような電圧変動(電圧の変動を引き起こすような電流の変動)が評価の対象となる。

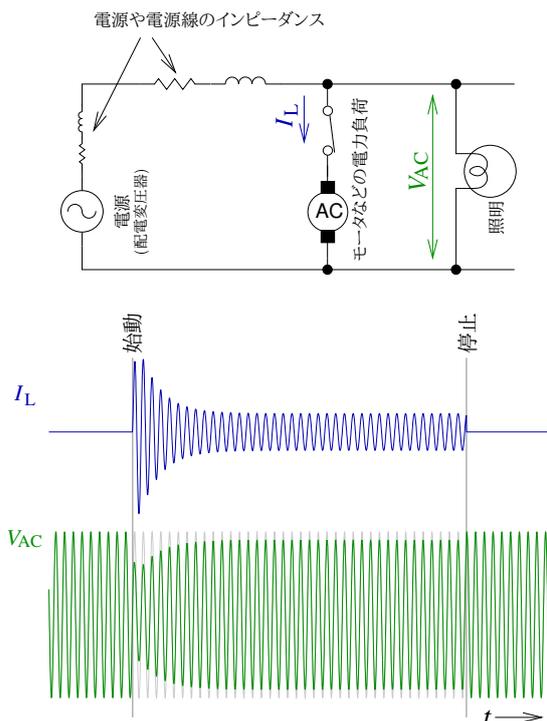


図 1: モータなどの電力負荷による電圧変動の発生

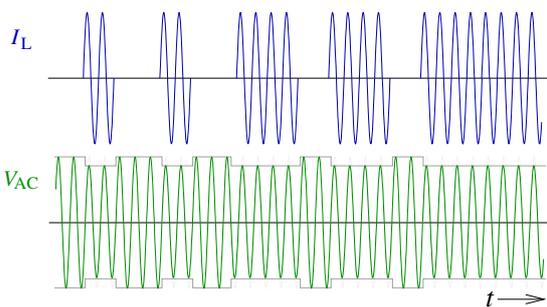


図 2: オン/オフ制御によるフリッカの発生 — ここではオン/オフの切り替えが 0° のみで行なわれるマルチサイクル制御のイメージを示しているが、オン/オフの切り替えはそのような形で行なわれるとは限らない。

- こたつ、電気ストーブ、電気オープンなどのヒータのサーモスタットによるオン/オフ
- 不規則な電流変動を伴うアーク溶接機の使用

によるもののように機器が使用されているあいだ様々な頻度で繰り返して生じることもある。

また、電源周波数に近い次数間高調波電流に伴って電源電圧に次数間高調波が重畳した場合も、その差の周波数での電源電圧の動揺が、従ってフリッカが引き起こされる (図 3)。^{†2}

^{†2} 例えば 50 Hz の電源電圧波形に 45 Hz の次数間高調波が重畳した場合、5 Hz での電源電圧の動揺が引き起こされる。

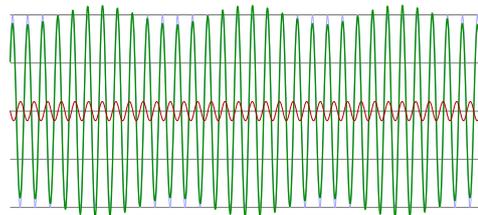


図 3: 電源周波数に近い次数間高調波の重畳によるフリッカの発生

2.1 電圧変動

負荷が電源から電流を吸い込むと、その電流と電源の上流側のインピーダンスに応じて電源電圧が低下する。

さらに、例えばモータ^{†3}の始動時、ランプやヒータ^{†4}のような負荷の電源投入時などには定常時の 5～10 倍以上の突入電流が流れ、過渡的な著しい電圧降下を引き起こすことがある。スイッチング電源やインバータなどでも用いられている整流平滑回路は電力容量が小さいものであっても適切な突入電流防止が行なわれていなければ電源投入時の平滑用コンデンサの急激な充電に伴う著しい突入電流が流れる。低周波変圧器が用いられている場合は電源投入時に変圧器への励磁突入電流 (普通の状態でも定常状態の 5～10 倍程度以上となることがあり、鉄心が磁気飽和を生じると著しく大きくなる) が流れる。^{†5}

このように、大電力の負荷に限らず、様々な負荷が短時間ではあるが著しい電圧降下の原因となり得る。

著しい電圧降下は頻度が低くても問題となることもあり、フリッカの指標を用いて評価するのは適当ではないため、本稿で述べる規格では、電源のオン/オフの際に発生する電圧変動を含め、電圧変動の大きさや持続そのものも評価の対象となっている。

^{†3} 大型の交流モータを直入れ始動すると著しく大きな突入電流が流れ、これは例えばスターデルタ始動のような始動方式を用いることで低減できる場合がある。直流モータは回転子が静止しているか回転が遅い時に電流が大きくなり、状況によっては電流を管理できるような制御方式の使用の考慮が必要となるかも知れない。

^{†4} フィラメントや PTC ヒータの低温時の抵抗は著しく低く、これが大きな突入電流を引き起こす。このような突入電流は例えば余熱を行なうことで低減できるかも知れない。

^{†5} 変圧器のような磁気部品の突入電流は電源投入の位相角に依存し、また鉄心が磁気飽和を起こすと著しく大きくなるので、電源投入の位相角を管理すること、残留磁束の影響も考慮して磁気飽和を起こさせないように必要に応じて磁芯の大きさに余裕を持たせることなどが助けとなるかも知れない。

2.2 フリッカ

照明のフリッカ^{†1}は、かなり不快なものとなることもあるばかりでなく、眼精疲労や頭痛、場合によっては癲癇発作の誘発のような健康被害を引き起こすこともあるため、その抑制が求められる。

フリッカを発生するのは照明機器であるが、本稿で述べる規格は同じ電源系統に接続された照明のフリッカを引き起こすような電源電圧の変動(電圧フリッカとも呼ばれる)の抑制を目的としており、そのような電圧変動を引き起こすかも知れない電気機器全般が対象となる。

フリッカの人体への影響は人の生理学的な特性に依存するため、その評価のためには人の特性の考慮も必要となる。

例えば照明が一瞬暗くなったとしてもその時間がごく短いものであればそれに気付かず、あるいは気付いたとしてもそれほど気にならないだろう。照明の明るさの変動が繰り返して発生する場合、ある程度までは変動の頻度が高くなればより不快となるだろうが、変動の頻度がある程度以上高くなると変化を感じにくくなる。^{†6}

また、照明の明るさが急激に変動した場合は明るさの僅かな変動でも気付くだろうが、明るさの緩やかな変動は遥かに気付きにくい。

さらに、白熱電球のような照明はそれ自身の応答が遅いため、ごく短時間の、あるいは高い繰り返し周波数の電圧変動では明るさの変動そのものが小さくなる。

本稿で述べる規格でのフリッカの評価ではこのような現象を反映させるような形での重み付けが行なわれ、 $P_{st} = 1$ カーブ (§2.2.1) で示されているように、周期的な電圧変動に対する評価は電球 — 眼 — 脳チェーンの感受性が最も高くなる毎分 1000 回前後の繰り返し周波数で最も厳しくなり、繰り返し周波数がそれよりも低くても高くてもより緩くなる。

このようなフリッカの迷惑さはその持続の程度にも依存し、あるレベルのフリッカを短時間であれば受容できたとしても、それが長時間持続すれば、あるいはそれぞれの持続は短時間であっても頻繁に発生すれば受容し難いものとなり得る。このため、本

^{†6} 例えば蛍光灯の明るさが 100 Hz で変動しても通常はそれほど気にならない。顕著な知覚を生じないそのようなフリッカがストロボ効果(蛍光灯の元で扇風機の羽がゆっくりと回転したり逆回転したりして見えるような)を引き起こしたりカメラでの撮影に影響したりすることもあるが、そのようなレベルのフリッカの影響はこれらの規格では考慮されていない。

稿で述べる規格では、上記のような重み付けに加えて所定の期間の観測で得られたデータに対して統計的な処理を行なってフリッカの指標となる値を得るとともに、長時間の観測で得られたフリッカ値に対してより厳しい限度を適用するようになっている。

2.2.1 $P_{st} = 1$ カーブ

図 4 で示す $P_{st} = 1$ カーブは、電球 — 眼 — 脳チェーンの応答を考慮して定められた、持続的に発生した場合にフリッカ値が 1 となるような電圧変動を示すものである。

この 230 V 50 Hz の場合のカーブ(電圧変動によって 230 V 60 W 二重コイル白熱電球が生じるフリッカを半数の人が知覚するレベル)を見ると、一定の繰り返し周波数の電圧変動が持続する場合、電球 — 眼 — 脳チェーンの感受性が最も高くなる毎分 1000 回(8~10 Hz)^{†7}前後の電圧変動が最も厳しく厳しく評価されて 0.3 % 弱の電圧変動でフリッカ値が 1 となるが、毎分 20 回では 1 %、毎分 2 回では 2 % 程度の電圧変動で同程度の応答となることがわかる。^{†8}

また、§3.4 で触れるように IEC 61000-3-3 などでの短時間フリッカ値 P_{st} の限度は 1、長時間フリッカ値 P_{lt} の限度は 0.65 であるので、毎分 1000 回前後の電圧変動が持続する場合は電圧変動の大きさが 0.3 % 程度で P_{st} の限度に、0.2 % 程度で P_{lt} の限度に達することも、従ってそれほど大きくない負荷であっても限度に達するようなフリッカを引き起こし得ることもわかる。

2.2.2 白熱電球以外の照明への影響

上で触れたように本稿で述べる規格での電圧フリッカの評価は白熱電球が生じるフリッカに基づいているが、白熱電球は世界的に削減の方向にあり、その代替となる LED 照明などの電圧変動や電圧フリッカへの応答は白熱電球とは異なったものとなる。

^{†7} 1 サイクルの電圧変動で電圧の低下と回復の 2 回の電圧変化を生じるものとする。

^{†8} 従って、負荷のオン/オフによる制御を行なうような場合、フリッカの低減のためには、オン/オフの繰り返し周波数をできる限り遅くし、特に繰り返し周波数が 10 Hz に近付かないようにすると良いだろう。オン/オフによる制御の代わりに位相制御を使用できる場合もあるが、位相制御では高調波電流エミッションの考慮が必要となり、また規格でその使用そのものが制限されていることもある [4]。

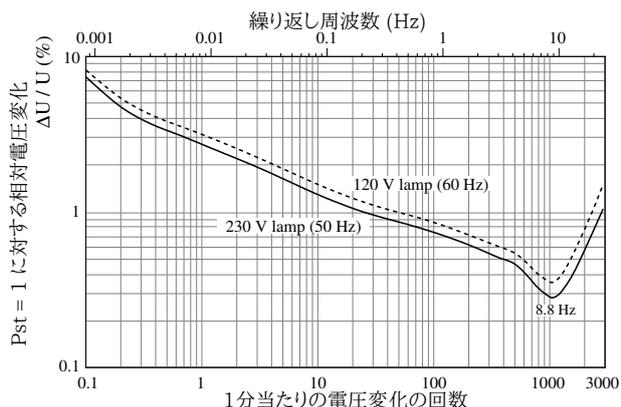


図 4: $P_{st} = 1$ に対する相対電圧変化 $\Delta U/U$ (%) (IEC 61000-3-3 Table D.1 で示されたデータに基づく)

LED 照明などの特性は製品によって大きく異なるが、一般に白熱電球と比較してフリッカを生じにくいものの電圧フリッカに伴うフリッカを生じる傾向が見られ^{[5][6]}、従って本稿で述べるような規格は、その目的ではやや厳しすぎるものとなるかも知れないものの、LED 照明などのフリッカの防止の役にも立ちそうである。^{†9}

なお、多くの地域で LED 照明のフリッカの抑制が求められるようになってきている^{†10}が、これは照明自身が通常の動作で発生する本当のフリッカ (典型的には電源周波数の 2 倍の周波数での明るさのちらつき) に関するものであり、本稿で述べるものとは無関係である。

3 IEC 61000-3-3

3.1 適用範囲

IEC 61000-3-3^[1]、「定格 16 A/相以下で条件付き接続の対象とならない機器の、公共低圧電源系統の電圧変動、電圧動揺、及びフリッカの制限」は、ライン – 中性線間電圧が 220~250 V、50 Hz の低圧

配電系統への接続を意図した機器による電圧変動やフリッカの発生の制限を定めている。^{†11}

ここで言う「条件付き接続の対象とならない」とは、その機器を低圧で受電する任意の施設の電源に接続して使用できることを意味する。但し、この規格で定められた限度は電力会社と需要家とのあいだの分界点 (例えば施設への低圧電力線の引き込み部) で生じるであろう電圧変動に基づくものであり、需要家内での配線などの影響は考慮されていない。従って、この規格の限度に適合しているとしても、有意な電圧変動やフリッカを生じる機器については特に、施設内の他の機器への影響の防止のため、分界点の近くで他の負荷 (特に照明) とシステムを分離するなどの配慮が必要となるかも知れない。また、照明機器と同じ電源系統に接続されることが予想される機器 (例えば個人用の暖房器具のようなものはデスクライトの近くのコンセントに接続されるかも知れない) については電圧変動やフリッカをこの規格の限度よりもかなり低く抑えることが望ましいかも知れない。

この規格の適用範囲に入るがこの規格の要求に適合しない機器は、機器の性質的にそれを許容できるのであれば定格電源電流が 16 A/相を超える機器と同様に IEC 61000-3-11 (§4) を適用して条件付き接続とすることもできる。

ライン – 中性線間電圧が 220~250 V の範囲外、あるいは 50 Hz 以外の電源への接続のみが意図された機器はこの規格ではカバーされない。また、公共低圧電源系統に接続されない機器、例えば中圧や高圧で受電する施設^{†12}や自家発電の施設でのみ使用される機器もこの規格の適用範囲からは外れる。しかしながら、そのような施設では電圧変動やフリッカが問題とならないというわけではなく、そのような機器についてもこの規格に準じた評価を行なうのは良い考えかも知れない。

^{†9} だが、一部ではあるが、僅かな電圧変動で著しい照度の変動や点滅を生じる LED 照明もあるようである。

^{†10} LED 照明には電源周波数の 2 倍の周波数での著しい照度の変動や点滅に伴う著しいフリッカを引き起こすものもある。^[7] 例えば日本国内でもこの問題への対応として電気用品の技術上の基準を定める省令の解釈について別表第八に「一般照明用として光源にエル・イー・ディーを使用するものにあつては、光出力は、ちらつきを感じないものであること」という要求 (但し、光出力のピーク値の 5% 以下となる部分がなく、繰り返し周波数が 100 Hz 以上であれば良いとなっており、依然として光出力の相当の変動が許容されている) が加えられている。

^{†11} 230 V 前後、50 Hz 以外の電源はこの規格ではカバーされない。この理由、また各国の電源事情の違いなどもあり、この規格は他の多くの EMC 規格のように広く受け入れられてはいないが、少なくとも欧州においては、これらの規格と整合した欧州規格である EN 61000-3-3 が EMC 指令の整合規格となっており、この規格に適合する機器は通常は電圧変動やフリッカに対する特別な注意を払うことなくしに商用電源に接続できるものとみなされている。

^{†12} 国内では高圧受電となるような施設であっても地域によっては低圧での受電となるかも知れないことにも留意されたい。

3.2 評価方法

この規格では評価方法として以下のものが示されているが、本稿ではこのうちフリッカメータを用いた測定についてのみ触れる：

- フリッカメータを用いた測定

所定のインピーダンスを介して機器に給電して動作させ、発生した電圧変動をフリッカメータで分析する

- シミュレーション

フリッカメータが行なうのと同様の処理をコンピュータ上で行なうもので、電圧変動のカーブが既知であれば任意の場合に適用できる

- 分析的手法

既知の大きさ (d_{\max}) と形状の電圧変動が毎秒 1 回未満の割合で発生する場合の適用が想定されたもので、フリッカ値 P_{st} は、電圧変動の大きさ d_{\max} と電圧変動の形状から決定した形状係数 F からそれぞれの電圧変動のフリッカ・インプレッション・タイム t_f を求め、それを観測期間にわたって積算することで算出する

- $P_{\text{st}} = 1$ カーブの使用

矩形状の電圧変動が一定周期で発生する場合の適用が想定されたもので、フリッカ値は電圧変動の繰り返し周波数と大きさから $P_{\text{st}} = 1$ カーブを用いて算出する

3.3 評価されるパラメータ

この規格は、電圧変動の大きさと関係する d_c 、 d_{\max} 、 T_{\max} に対する限度、及びフリッカの程度を示す指標である P_{st} と P_{it} に対する限度を定めている。

- $d(t)$ — 電圧変化特性

電圧が少なくとも 1 秒のあいだ安定状態^{†13}に留まっている期間を除く、半サイクル毎に単一の値として評価された相対実効値電圧変化の時間関数^{†14}

^{†13} 安定状態とは、半サイクル実効値電圧が少なくとも 1 秒間 $\pm 0.2\%$ の幅の中に留まっている状態。

^{†14} 電圧変化特性 $d(t)$ はその前の安定状態からの電圧の変化を公称試験電圧に対する割合として表現したものである。相対

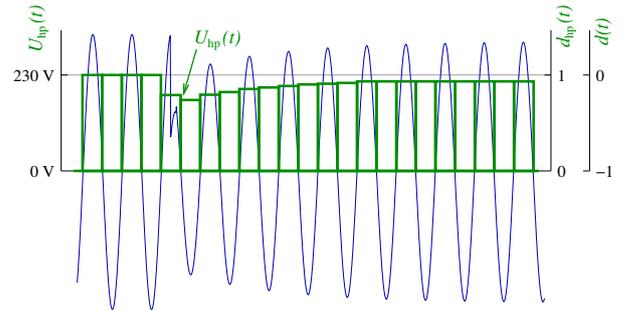


図 5: 電圧波形と半周期実効値特性 $U_{\text{hp}}(t)$ (及び相対半周期実効値特性 $d_{\text{hp}}(t)$, 電圧変化特性 $d(t)$)
(目盛りは公称試験電圧 $U_n = 230 \text{ V}$ 、 $d_{\text{end}_{i-1}} = U_n$ の場合)

- d_c — 観測期間中の最大定常電圧変化

公称試験電圧に対する割合として表現された、連続した 2 つの安定状態の電圧の差の最大値^{†15}

- d_{\max} — 観測期間中の最大絶対電圧変化

その前の安定状態と $d(t)$ の差の最大値

- T_{\max} — $d(t)$ が d_c の限度を超えた最大時間 (次の安定状態までの期間での累積時間)

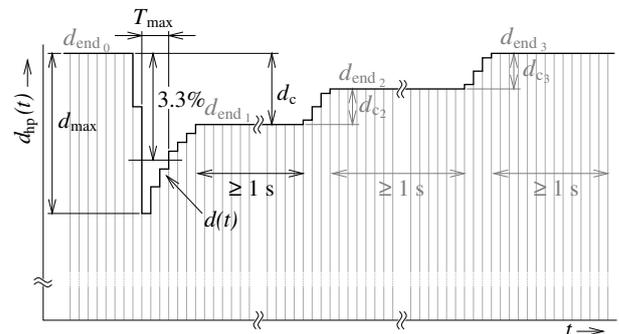


図 6: 電圧変動のパラメータ

- P_{st} — 短時間フリッカ値

短い期間 (通常は 10 分間) について評価されたフリッカの大きさの値であり、観測された電

半周期実効値特性 $d_{\text{hp}}(t)$ は電圧波形の半周期毎の実効値である半周期実効値特性 $U_{\text{hp}}(t)$ を公称試験電圧 U_n で割ることで、すなわち $d_{\text{hp}}(t) = U_{\text{hp}}(t)/U_n$ から得られ、電圧変化特性 $d(t)$ はその前の安定状態における $d_{\text{hp}}(t)$ を $d_{\text{end}_{i-1}}$ として $d(t) = d_{\text{end}_{i-1}} - d_{\text{hp}}(t)$ から得られる。

^{†15} 例えば電圧が 3% 低下し、さらに 2% 低下した場合、3% 低下した状態で 1 秒以上 $\pm 0.2\%$ の幅の中に留まっていればそれも安定状態とみなされ、その電圧変化全体での d_c は 3% となる。だが、3% 低下した状態に留まる時間が 1 秒に満たない、あるいはその状態に 1 秒以上留まっているもののその区間での電圧の変動が $\pm 0.2\%$ を超えるならばそれは安定状態とはならず、その全体が 1 回の電圧変化となってその電圧変化での d_c は 5% となる。このように段階的な変化を生じる場合、その途中の段階が安定状態とみなされるかどうかによって大きく異なる測定結果が得られることがある。図 7 参照。

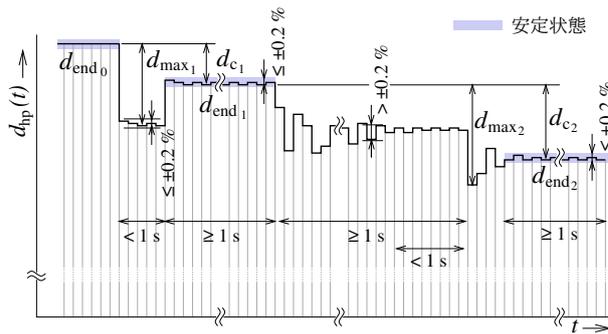


図 7: 安定状態と d_c 、 d_{max}

圧を二乗した値から、電圧変動の繰り返し周波数などに基づく重み付け (§2.2) を行なった上で統計的な処理を行なって得られる^{†16†17}

● P_{It} — 長時間フリッカ値

長い期間 (通常は 2 時間) について評価されたフリッカの大きさの指標であり、一連の P_{st} (通常は $N = 12$) の値から、

$$P_{It} = \sqrt[3]{\frac{\sum_{i=1}^N P_{sti}^3}{N}}$$

によって得られる

3.4 限度

測定されたそれぞれの値が以下の値を超えないこと:

- $P_{st} \leq 1.0$
- $P_{It} \leq 0.65$
- $T_{max} \leq 500 \text{ ms}$
- $d_c \leq 3.3\% \text{ †18}$

^{†16} 上記の重み付けを行なった結果を二乗して平滑化を行なって得られたフリッカ・レベル P_{inst} が観測期間の 0.1, 1, 3, 10, 50 % のあいだを超えるレベルを $P_{0.1}, P_{1s}, P_{3s}, P_{10s}, P_{50s}$ として、 $P_{st} = \sqrt{0.0314P_{0.1} + 0.0525P_{1s} + 0.0657P_{3s} + 0.28P_{10s} + 0.08P_{50s}}$ から得られる。

^{†17} 国内では電源システムのフリッカの指標として ΔV_{10} が用いられることがあるが、これも同様に 10 Hz 前後での変動を厳しく評価するようになっている。

^{†18} $Z_{ref} = 0.4 + j0.25 \Omega$ として、 $Z_{ref} \cdot 16 \text{ A} / 230 \text{ V} \simeq 0.0328$ より、電流が 0 A \rightarrow 16 A や 16 A \rightarrow 0 A と変化した時の d_c が丁度この限度前後となると予期される。また、 d_{max} の限度である 4 %、6 %、7 % の電圧変動は、それぞれ約 20 A、約 29 A、約 34 A に相当する。

● d_{max} :

- (a) $\leq 4\%$ — 以下の条件に該当しない場合
- (b) $\leq 6\%$ —
 - 機器が手動でスイッチされる、あるいは
 - 1日に2回よりも多く自動的にスイッチされ、かつ停電後の遅延再起動 (数十秒以上の遅延) があるか手動での再起動となる^{†19}
- (c) $\leq 7\%$ —
 - 使用中は人が付いている、あるいは
 - 1日に2回以下自動的に投入されるか手動で投入され、かつ停電後の遅延再起動 (数十秒以上の遅延) があるか手動での再起動となる

但し、独立に制御される複数の回路がある場合、(b)と(c)の限度は停電後の遅延再起動があるか手動での再起動となる場合に限り適用される。

著しい電圧変動やフリッカを引き起こしそうな機器については測定は不要である。これについては §3.5.5 で改めて触れる。

3.5 測定

この規格の限度への適合性を測定によって確認する場合、図8で示すように、電源システムのインピーダンスを模擬するリファレンス・インピーダンスを介して EUT に給電し、電源電圧の変動を §3.3 で示したようなパラメータを測定する機能を持ったフリッカメータで測定する。

この測定で使用するフリッカメータの特性や検証方法などは IEC 61000-4-15^[3] で規定されている。

測定で使用する電源は、開放状態において、230/400 V $\pm 2\%$ 、50 Hz ± 0.25 Hz、高調波歪み 3 % 未満でなければならない。試験中の電圧の動揺は電源の出力で測定された P_{st} が 0.4 未満であれ

^{†19} 遅延再起動は停電からの復電時に多数の機器が同時に再起動することによる問題 (例えばそれらの突入電流を合算したものが過電流遮断器を作動させるような) を軽減するであろう。再起動時の突入電流が大きい類似の機器が1つの施設に多数設置されるような場合、それらが同時に再起動しないよう、遅延時間をランダムに変動させるなどの工夫をすることも良い考えかも知れない。

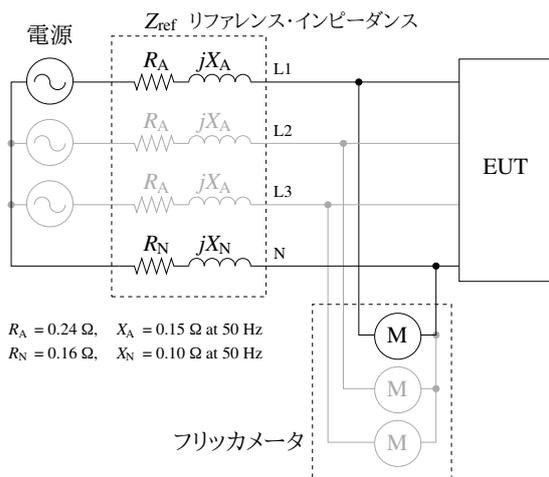


図 8: 電圧変動の測定の原理

ば無視して良い。^{†20}電源は低インピーダンスであるべきだが、それが不明な場合、リファレンス・インピーダンスの入力側で測定された d_{\max} が EUT の端子で測定された d_{\max} の 20% 未満であれば良い。

3.5.1 EUT の動作条件

機器の種類によっては IEC 61000-3-3 の Annex A で試験時の EUT の動作条件^{†21}が具体的に規定されており、その場合はその規定に従う。

その他の場合は、最も不利な (測定結果が悪くなるような) 条件で測定を行えば良い。

この条件の決定に際して、一般に、

- 電源電流のより大きな変動
- 電源電流のより急峻な変動
- P_{st} (及び P_{1t}) では
 - 10 Hz 弱により近い周波数での変動の繰り返し
 - 電圧変動の繰り返しの持続
 - 電源周波数に近い次数間高調波電流を発生する場合、より大きな高調波電流、また電源周波数との差が 10 Hz 弱により近い周波数の高調波電流

^{†20} Z_{ref} の影響もあり、試験中の EUT の入力での電圧はこの条件から外れるかも知れない。

^{†21} 例えば、洗濯機の場合、乾燥質量が $140 \sim 175 \text{ g/m}^2$ の $70 \times 70 \text{ cm}$ 程度の木綿布を入れ、温水の供給が意図されている場合は $65 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ 、その他の場合は $15 \pm_{10}^{10} \text{ }^\circ\text{C}$ の水を給水して通常の洗濯サイクルで動作させる、など。

がより不利となるであろうことも考慮すべきである。

一般に、出力が大きい時にフリッカが大きくなるとは限らないことにも注意が必要である。例えば、オン/オフ制御されているヒーターは、機器の設定、ヒーターの負荷 (例えば液体を加熱している場合はその液体の量)^{†22}や周囲環境 (例えば気温) などの要因によってオン/オフの周期やデューティーが、従って測定されたフリッカの値が変化するかも知れず、場合によっては最大出力に設定した時にはオンのままとなってフリッカを生じなくなるかも知れない。

どの条件で測定結果が悪くなるかがわからない場合、試験条件の決定のため、フリッカメータで実際の測定結果を確認しながら動作条件を変えることなどが必要となるかも知れない。

観測期間は最も不利な電圧変動を生じる動作サイクルを含まなければならない。 P_{st} の観測期間にフリッカを発生しにくい期間が含まれれば P_{st} の測定結果は小さくなるので、 P_{st} の評価に際してはフリッカに関して不利な動作サイクルを実際の使用で想定される範囲内で連続的に繰り返すようにする。^{†23}

3.5.2 P_{st} の測定

10 分の観測期間のあいだ、EUT を §3.5.1 で述べたような形で動作させ、その観測期間中の P_{st} 、またその観測期間中の T_{\max} 、 d_c 、 d_{\max} の最大値を求める。

3.5.3 P_{1t} の測定

P_{st} の測定を 12 回 (2 時間) 繰り返し、一連の P_{st} の値から、

$$P_{1t} = \sqrt[3]{\frac{\sum_{i=1}^N P_{st i}^3}{N}}$$

その観測期間での P_{1t} を求める。

^{†22} 例えばヒーターのバンバン制御 (温度が上側のしきい値を超えればヒーターをオフにし、下側のしきい値を下回ればヒーターをオンにするような制御) によって液体の温度制御を行なっている場合、液体の量が少なければ熱時定数が小さくなり、オン/オフが頻繁に行なわれるようになる。

^{†23} これは機器を連続動作とすることを意味するわけではない。間欠動作の方が不利な場合も多く、その場合は不利な条件での間欠動作を繰り返すことになる。

3.5.4 手動スイッチングによる d_{\max} の測定

通常の動作サイクル中の d_{\max} は P_{st} の測定中に行なうことができるが、これには例えば機器の電源のオン/オフの際に発生するような単発的な電圧変動は含まれないので、その評価を別途行なうことが必要となる。^{†24}

このような手動でのスイッチングで発生する d_{\max} の測定は以下に行なう：

1. 次のように、 d_{\max} の測定を 24 回繰り返す：^{†25}
 - (a) 測定を開始する；
 - (b) EUT の電源を投入する；
 - (c) 1 分の観測期間のあいだ、EUT をできる限り長く動作させる；^{†26}
 - (d) 1 分の観測期間が終わる前に EUT の電源を切り、全ての可動部が静止し、 d_{\max} 低減デバイスが冷めるまで待つ；^{†27†28}
 - (e) 次の測定を開始する。
2. 24 回の測定結果から最小と最大の結果を除き、残りの 22 個の値の平均値を求める。

この測定は主に電源の投入時の突入電流によって引き起こされる d_{\max} の評価を意図したものであるが、例えばタイマやセンサなどによる低い頻度での

^{†24} これは実質的には突入電流の評価と考えることができる。但し、この評価は半サイクル毎の実効値で行なわれるため、電源投入時に生じることがあるような細いスパイク状の突入電流のピーク値（それによって引き起こされる細いスパイク状の著しい電圧低下）がそのまま評価されるわけではない。図 5 も参照。

^{†25} d_{\max} の測定結果は電源投入時の位相角の違いなどによってかなり大きくばらつくかも知れない。

^{†26} 起動から停止までを 1 分のあいだに行なうことが難しい場合、観測時間を長くすることが必要となるかも知れない。

^{†27} d_{\max} の低減（突入電流の制限）にはしばしばパワー・サーミスタ（NTC）が用いられ、これは冷えている初期状態では高い抵抗を持ち、突入電流を制限するが、通電に伴って温度が上昇して抵抗が低下する。従って、初期状態と同様の評価を繰り返すためには、電源を切った後、それが十分に冷めて高抵抗状態に戻るまで待つことが必要となる。パワー・サーミスタの熱時定数（大抵は数十秒から数分）はそれが冷めるために必要な時間の目安となるが、機器への実装の影響などでそれよりもかなり長い時間が必要となることもあるかも知れない。電流制限抵抗とそれを短絡するリレーやサイリスタなどが突入電流の制限に用いられることもあり、この場合に待つべき時間はその回路に依存するものの、これは通常はそれほど長い時間にはならないであろう。また、整流平滑回路が含まれる場合、平滑用コンデンサは次の電源投入の前に十分に放電されているべきである。

^{†28} この評価では、電源を切ったすぐに再投入するような操作、あるいは短時間の停電の影響は考慮されない。だが、そのような状況で突入電流が適切に抑制されないことが予期され、それが実際の使用状況で問題となる可能性が懸念されるような場合には、その確認を追加で行なっておく価値があるかも知れない。

自動的なスイッチングのように、 P_{st} の観測期間に含まれない、著しい電圧変動を引き起こすかも知れない動作が他にもある場合、それについてもこれと同様の方法での評価が必要となるかも知れない。

3.5.5 測定の省略

対象の機器が有意な電圧変動やフリッカを引き起こしそうになく、測定なしに適合性を判断できる場合、測定は不要である。但し、実際に測定を省略する場合、有意な電圧変動やフリッカを引き起こさないという判断とその根拠を文書化しておくべきだろう。

場合によっては一部の項目の測定のみを行なえば良いと判断できることもあるだろう。例えば温度制御などを持たない単純な電気ストーブのような機器や消費電流が小さい電子機器などの場合、電源を入れて安定状態に達した後の電源電流の変動は小さく、その状態で有意なフリッカを発生することはないので、 P_{st} や P_{lt} の実測は不要で、手動スイッチングでの d_{\max} と T_{\max} の測定のみを行なえば良い、と判断できるかも知れない。

P_{lt} （1 回の測定に 2 時間を要する）に関しては、その定義から、

- P_{st} が適切に測定されていれば、 P_{lt} が測定のばらつきの範囲を超えて P_{st} よりも大きくなることはない筈である、
- 連続動作時間が 30 分以内で、その後 1.5 時間は再び動作させられない機器の場合、 $\sqrt[3]{(1^3 \times 3 + 0^3 \times 9)/12} \approx 0.630 < 0.65$ より、 $P_{st} < 1$ であれば $P_{lt} < 0.65$ となる筈である、

などといったことがわかるだろう。従って、

- P_{st} の測定結果が P_{lt} の限度（限度に対するマージンを設けるのであればマージンを考慮した値）を超えない
- 連続動作時間が 30 分以内で、通常の使用ではその後 1.5 時間は再び動作させられない

などの場合は、 P_{lt} の測定を行わずに、 P_{st} の測定結果と机上での評価によって P_{lt} の限度への適合の判断を行なえるかも知れない。

4 IEC 61000-3-11

4.1 適用範囲

IEC 61000-3-11^[2]、「公共低圧電源系統の電圧変動、電圧動揺、及びフリッカの制限 – 定格 75 A/相以下で条件付き接続の対象となる機器」は、ライン – 中性線間電圧が 220～250 V、50 Hz の低圧配電系統への接続を意図した、条件付き接続の対象となる機器による電圧変動やフリッカの発生の制限を定めている。

ここで言う条件付き接続とは、この規格の限度への適合のためには分界点 (図 9 参照) における需要家の電源がリファレンス・インピーダンス Z_{ref} ^{†29} よりも低いインピーダンスを持つことが必要となることを意味する。

この規格は典型的には 16 A/相を超える機器に適用されるが、16 A/相以下で IEC 61000-3-3 に適合しない機器にも適用することができる。

条件付き接続となる機器は、分界点における電源インピーダンス、あるいは電流容量として設定された条件を満たす施設の電源にのみ接続できることになり、これによって他の需要家への干渉のリスクを低減する。但し、需要家の施設内での干渉のリスクの低減のためには、条件付き接続となる機器への電源は分界点のすぐ下流で他の系統から分離して引くなど、追加の配慮が必要となるかも知れない。

4.2 評価されるパラメータ、限度、動作条件

評価されるパラメータやそれらに対する限度は IEC 61000-3-3 と同様である (§3.3, §3.4)。

測定での一般的な試験条件や測定手続きも IEC 61000-3-3 (§3.5.1) と同様で、定格 16 A/相以下の機器で IEC 61000-3-3 Annex A で試験条件が規定されている場合は同様にその条件にも従う。

4.3 測定、評価、接続の条件の宣言

測定の原理は IEC 61000-3-3 (§3.5) と同様であるが、測定用のインピーダンスとして IEC 61000-3-3

で用いられるリファレンス・インピーダンス Z_{ref} と異なるものの使用が必要となることがある。

Z_{ref} で測定した結果、あるいは測定結果を Z_{ref} での相当値に換算した結果が限度に適合する場合、その機器は条件付き接続とならず、IEC 61000-3-3 への適合を宣言することができる。^{†30}

その他の場合は条件付き接続となり、最大許容系統インピーダンス Z_{max} を宣言することが、あるいは 100 A/相以上の電源容量が必要であると宣言することが必要となるが、そのいずれとするかによって異なる評価の方法が適用される。

4.3.1 Z_{max} を宣言する場合

1. 測定用インピーダンス Z_{test} として、

- 安定状態での電圧降下が電源電圧の 2～9 %^{†31}
- Z_{test} の誘導性と抵抗性の成分の比率 X_{test}/R_{test} が 0.5～0.75

の条件を満たすものを用いて一連の測定を行なう。

2. 測定結果に Z_{ref}/Z_{test} を掛けて Z_{ref} での相当値に換算する:

$$d_c = d_{ctest} \cdot \frac{Z_{ref}}{Z_{test}}$$

$$d_{max} = d_{maxtest} \cdot \frac{Z_{ref}}{Z_{test}}$$

$$P_{st} = P_{sttest} \cdot \frac{Z_{ref}}{Z_{test}}$$

$$P_{lt} = P_{lttest} \cdot \frac{Z_{ref}}{Z_{test}}$$

^{†30} 定格電流が 16 A/相以下であればそもそも IEC 61000-3-3 を適用すべきものとなる。定格電流が 16 A/相以下を超えるものは IEC 61000-3-3 の適用範囲には入らないが、この場合は条件付き接続とならず、その機器は IEC 61000-3-3 に適合する機器と同様に特別な配慮なしに電源系統に接続できることになる。

^{†31} 単相の場合、IEC 61000-3-3 での測定用インピーダンス Z_{ref} は $(0.24 \Omega + j0.15 \Omega) + (0.16 \Omega + j0.10 \Omega)$ で、16 A での電圧降下は 7.5 V (230 V の 3%)、43 A での電圧降下は 20 V (230 V の 9%) 程度となる。定常状態での電圧降下が 10% 近くとなる状況では機器の動作に悪影響が出るかも知れないので、消費電流がより小さい場合でも Z_{ref} よりも小さい Z_{test} の使用が必要となるかも知れない。

^{†29} IEC 61000-3-3 での測定に用いられるインピーダンス (§3.5 参照)。

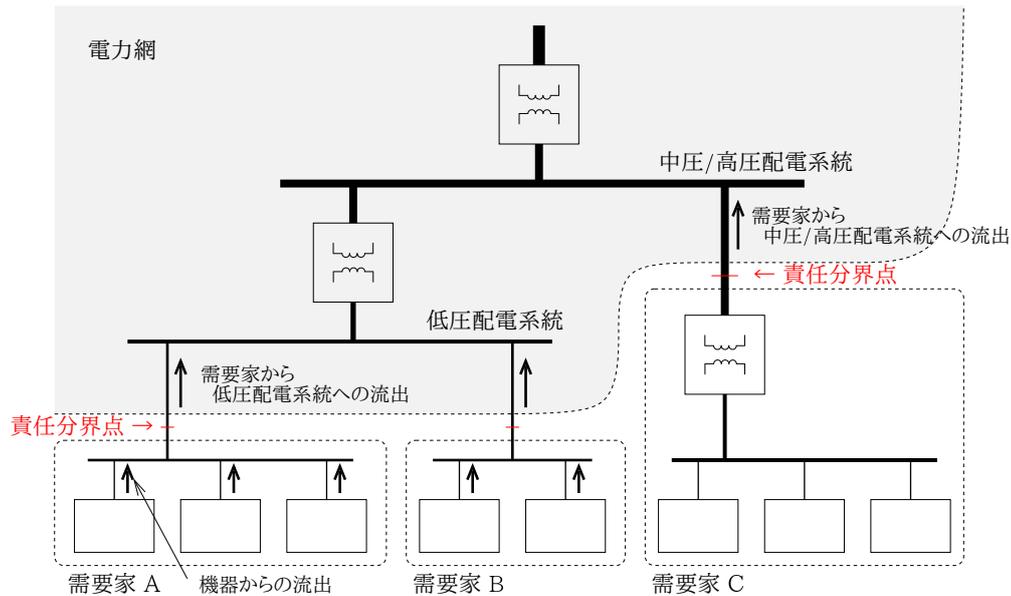


図 9: 配電系統の概観

3. Z_{ref} での相当値に換算した結果全てが限度に適合していれば IEC 61000-3-3 への適合を宣言する。
4. Z_{ref} での相当値に換算したいずれかの結果が限度に適合しない場合、以下のように それらの値から $Z_{sys1} \sim Z_{sys4}$ を求める:

$$Z_{sys1} = Z_{ref} \cdot \frac{\text{(該当する } d_{max} \text{ 限度)}}{d_{max}}$$

$$Z_{sys2} = Z_{ref} \cdot \frac{3.3 \%}{d_c}$$

$$Z_{sys3} = Z_{ref} \cdot \left(\frac{1}{P_{st}} \right)^{\frac{3}{2}}$$

$$Z_{sys4} = Z_{ref} \cdot \left(\frac{0.65}{P_{lt}} \right)^{\frac{3}{2}}$$

5. $Z_{sys1} \sim Z_{sys4}$ の最小値をその機器の最大許容系統インピーダンス Z_{max} とし、取扱説明書で Z_{max} を宣言し、必要であれば電力会社と協議し、その機器をそのインピーダンス以下の電源のみに接続するようにユーザーに指示する。

上記のように、 Z_{max} はそのインピーダンスでの結果が限度に適合するように決定され、 Z_{max} の下限は設けられていないので、 Z_{max} を非常に小さい

値とすることを許容できるのであればどのような機器でもこの規格に適合させられることになる。

だが、 Z_{max} は実際の使用状況で達成が困難となるほど低いものとするべきではない。算出された Z_{max} が小さ過ぎて使用の条件として厳し過ぎるような場合、機器を改善し、より高い Z_{max} を指定できるようにすることが必要となるかも知れない。

4.3.2 100 A/相以上の電源容量を宣言する場合

1. 測定用インピーダンスとして以下のインピーダンスを用いて測定を行なう:

- 単相 — $0.25 \Omega + j0.25 \Omega$
- 三相 — 各相 $0.15 \Omega + j0.15 \Omega$ 、中性線 $0.1 \Omega + j0.1 \Omega$

2. 測定結果が限度に適合していれば、その機器が 100 A/相以上の電源容量の施設での使用のみを意図している旨を取扱説明書で宣言し、必要であれば電力会社と協議し、分界点における電流容量がその機器のために充分であることを確認するようにユーザーに指示する。

機器には 100 A/相以上の電流容量の施設のみでの使用のために適切である旨を明確に表示する。

5 参考資料

- [1] IEC 61000-3-3:2013+A1:2017, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 3-3: Limits – Limitation of voltage changes, voltage fluctuations and flicker in public low-voltage supply systems, for equipment with rated current ≤ 16 A per phase and not subject to conditional connection*
- [2] IEC 61000-3-11:2017, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 3-11: Limits – Limitation of voltage changes, voltage fluctuations and flicker in public low-voltage supply systems – Equipment with rated current ≤ 75 A and subject to conditional connection*
- [3] IEC 61000-4-15:2010, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-15: Testing and measurement techniques – Flickermeter – Functional and design specifications*
- [4] IEC 61000-3-2, -3-12 の概要, 株式会社 e・オータマ, 佐藤, 2020,
<http://www.emc-ohtama.jp/emc/reference.html>
- [5] *A review of flicker objectives related to complaints, measurements, and analysis techniques*, Mark Halpin et al., 20th International Conference on Electricity Distribution, 2009, DOI:10.1049/cp.2009.0963
- [6] *Flicker of Modern Lighting Technologies Due to Rapid Voltage Changes*, Stefano Lodetti et al., Energies, 2019, DOI:10.3390/en12050865
- [7] *FLICKER: Understanding the New IEEE Recommended Practice*, Naomi J. Miller and Brad Lehman, 2015,
https://www.energy.gov/sites/prod/files/2015/05/f22/miller+lehman_flicker_lightfair2015.pdf