

IEC 61000-4-11, -4-34 の概要 — 交流電源の電圧ディップ、短時間停電、及び電圧変動イミュニティ試験の方法

株式会社 e・オータマ 佐藤智典

2024 年 10 月 31 日

目次

1	概要	1
1.1	背景	1
1.1.1	対象となる現象	2
2	試験発生器	2
2.1	試験発生器の特性	2
2.2	試験発生器の原理	3
3	試験	3
3.1	一般	3
3.2	電圧ディップ、及び短時間停電	3
3.2.1	電圧ディップ	3
3.2.2	短時間停電	5
3.3	電圧変動	5
4	補足	5
4.1	ITI (CBEMA) カーブと電圧ディップ試験レベル	5
4.2	高い突入電流駆動能力の必要性	7
4.3	電圧ディップ時の電流の増加	8
5	関連規格	9
6	参考資料	9

1 概要

IEC 61000-4-11、及び IEC 61000-4-34 は交流電源の電圧ディップ、短時間停電、及び電圧変動に対するイミュニティ試験の方法を定めた規格である。

本稿では、これらの規格の本稿の執筆の時点での最新版である IEC 61000-4-11:2020^[1]、及び IEC 61000-4-34:2005+A1:2009^[2] について解説する。

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。

1.1 背景

電源系統上での障害 (例えば発電所、変電所、送電線などの障害に伴う送電の停止、落雷に伴う一時的な切り離し、系統上での短絡事故のような)、電源系統の切り替え、大型の負荷の投入などに伴って、電源電圧が一時的に失われたり低下したりすることがある。

このような事象は電子/電気機器の動作に悪影響を与える可能性があるが、一般に、ごく短時間の電源の喪失や軽度の電圧低下では影響を受けずに機能を続けることが、またその限界を超えて機能が損なわれた場合も電源の回復の後は通常の機能を回復することが期待されるであろう。

これらの規格はこのような事象の模擬を意図したものであり、IEC 61000-4-11 では 50 Hz や 60 Hz の単相や三相の低圧電源に接続される 16 A/相までの入力電流の機器が、また IEC 61000-4-34 では 16 A/相を超える入力電流の機器がカバーされる。

これらの規格では電源電圧の上昇は扱われない。また、これらの規格では 50 Hz や 60 Hz の交流低

圧電源のみが扱われ、その他の周波数、例えば直流電源^{†1}や 400 Hz や 16 2/3 Hz^{†2}の交流電源は扱われない。電源関連のその他のイミュニティ基本規格については §5 も参照。

1.1.1 対象となる現象

これらの規格で扱われる低圧交流電源電圧の過渡的な変動は次のように分類される：

- 電圧ディップ (voltage dip):

短い時間の後に回復する、電源系統の特定の地点における電圧の規定されたディップ閾値以下への突然の低下 (図 1～図 5)。

1 周期以下の電源電圧の喪失は電圧ディップとして扱われる (図 1～図 3, 表 3)。

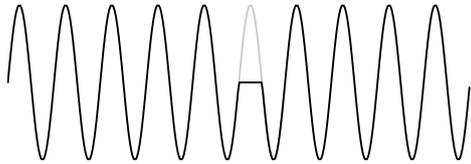


図 1: 電圧ディップの例 — 0 %, 0.5 周期 (10 ms)

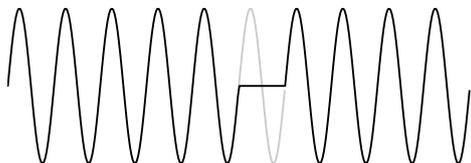


図 2: 電圧ディップの例 — 0 %, 1 周期 (20 ms)

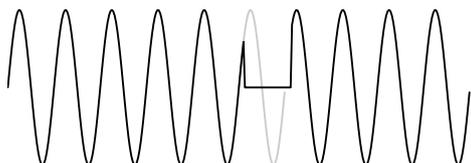


図 3: 電圧ディップの例 — 0 %, 1 周期 (20 ms), 45° で切り替え

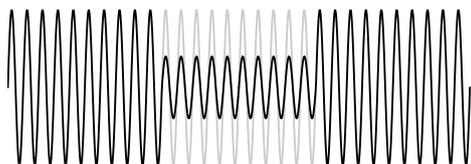


図 4: 電圧ディップの例 — 40 %, 10 周期 (200 ms)

^{†1} 直流電源のこれと似た事象は IEC 61000-4-29 で扱われる。

^{†2} 400 Hz の交流電源は航空機で、16 2/3 Hz の交流電源は欧州の鉄道で使用されることがある。

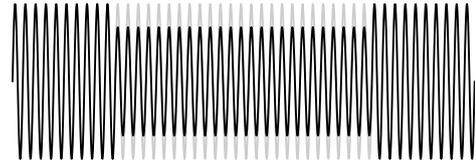


図 5: 電圧ディップの例 — 70 %, 25 周期 (500 ms)

- 短時間停電 (short interruption):

短い時間の後に回復する、電源系統の特定の地点における全ての相の電圧の規定された停電閾値以下への突然の低下 (図 6)。

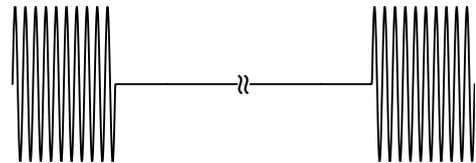


図 6: 短時間停電の例

- 電圧変動 (voltage variation):

電源電圧の緩やかな変化を伴う一時的な低下 (図 7)。

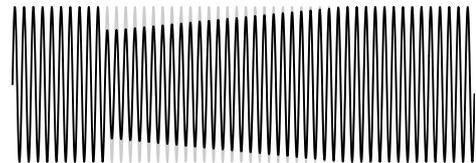


図 7: 電圧変動の例 — 70 %, $t_d =$ 瞬時, $t_s =$ 1 周期, $t_i =$ 25 周期

これらの規格はこれらの現象に対する試験法を含むが、これらの規格を参照する規格の多くは電圧ディップと短時間停電に対する要求のみを含み、電圧変動は滅多に使用されない。

2 試験発生器

2.1 試験発生器の特性

試験は、適切な試験発生器 (電圧変動試験器、電圧ディップ・シミュレータなどと呼ばれる) を用いて EUT に供給する電源電圧を一時的に低下、あるいは停電させた後に復帰させることで行なう。

IEC 61000-4-11 の試験に用いる試験発生器の主要な仕様を表 1 に、また IEC 61000-4-34 のそれを表 2 に示す。

図8に原理を示したような試験発生器ではこれらのパラメータの一部 (例えばピーク突入電流駆動能力) は試験発生器に給電する電源の (そしてある程度までは電源ケーブルの) 影響を強く受けることが予期され、その特定の組み合わせについての検証が必要となりそうである。

2.2 試験発生器の原理

電圧ディップの発生は、例えばトランスの異なる電圧のタップを、あるいは異なる電圧に設定したスライド・トランスを適切なスイッチ (機械的な、あるいは電子的な) を用いて切り替えることで行なえる (図8)。短時間停電の発生もこれと同様の方法で、あるいは単にスイッチを開いて電源を切り離すことで行なうことができる。

また、電圧変動の発生は、例えば電動スライド・トランスを用いて電圧を連続的に変化させることで行なえる。

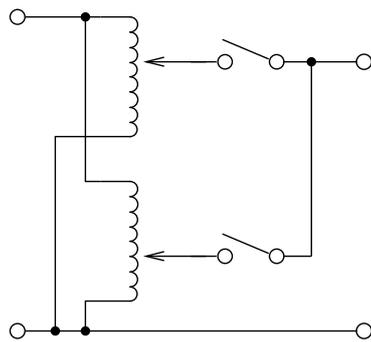


図 8: 試験発生器の原理の例

これらの現象は適切なプログラマブル電源装置を用いて発生させることもできるが、正規の試験のためには表1や表2で示した仕様、特に突入電流駆動能力に注意が必要となりそうである。

3 試験

3.1 一般

試験発生器と EUT のあいだは製造業者が規定した最も短い電源ケーブルで接続する。ケーブル長が規定されていない場合はできる限り短い長さのものを用いる。

試験は定格電源周波数の $\pm 2\%$ で、試験対象の機器の定格電圧 U_T を基準として行なう。

定格電圧に範囲がある場合、

- 定格電圧の範囲がその範囲の下限の 20 % を超えない場合、その範囲内の単一の電圧を U_T とする。^{f3}
- その他の場合、定格電圧範囲の下限と上限の電圧を U_T としてそれぞれについて試験を行なう。^{f4}

試験中、試験用の主電源電圧は 2 % 以内の精度で監視する。

3.2 電圧ディップ、及び短時間停電

EUT は選択された試験レベルと持続時間の組み合わせそれぞれについて 3 回づつ、少なくとも 10 秒の間隔を置いて試験する。この時間は EUT への影響の確認や EUT の状態の回復などのために長くする必要もあるかも知れない。

この試験はそれぞれの典型的な動作モードで実施する。

電源コードが複数ある場合、それぞれの電源コードを別々に試験する。^{f5}

3.2.1 電圧ディップ

電圧の変化はその電圧のゼロ・クロスで、また製品規格などで追加の位相角の規定 (望ましくは 45°、90°、135°、180°、225°、270°、及び 315° から選択された) があればそれらの位相角で発生させる。^{f6}

これらの規格では電圧ディップの試験レベルと持続時間は表3に示すようなものが示されている。

ここで、“10/12 周期” のような表現は、電源周波数が 50 Hz の場合は 10 周期、60 Hz の場合は 12 周期の電圧ディップを発生させることを意味する。

また、例えば“40 %” という試験レベルの規定は U_T の 40 % まで電圧を低下させることを (例えば定格電圧 U_T が 230 V で電圧ディップの試験レベルが 40 % であれば 230 V \rightarrow 92 V \rightarrow 230 V のよ

^{f3} 例えば定格電圧範囲が 220~240 V の場合、その範囲内の電圧、例えば 230 V を U_T とする。

^{f4} 例えば定格電圧範囲が 100~240 V の場合、その範囲の下限と上限、すなわち 100 V と 240 V を U_T として 2 回試験を行なう。

^{f5} 同じ電源系への接続が予期されるような場合、一括での試験も行なう価値があるかも知れない。

^{f6} 例えば IEC 60601-1-2:2014 は 0°、45°、90°、135°、180°、225°、270°、及び 315° での電圧ディップの要求を含む。

無負荷での出力電圧	規定された残留電圧の $\pm 5\%$ [†]
発生器の出力における電圧負荷変動	
100 % 出力、0~16 A	U_T [‡] の 5 % 未満
80 % 出力、0~20 A	U_T の 5 % 未満
70 % 出力、0~23 A	U_T の 5 % 未満
40 % 出力、0~40 A	U_T の 5 % 未満
出力電流駆動能力	以下の電流 (相当りの実効値) の供給が可能なこと: <ul style="list-style-type: none"> ● 定格電圧で 16 A RMS ● 定格電圧の 80 % で 20 A を 5 秒間 ● 定格電圧の 70 % で 23 A を 3 秒間 ● 定格電圧の 40 % で 40 A を 3 秒間
ピーク突入電流駆動能力	試験発生器で制限されないこと。 但し、以下の値を超える必要はない: <ul style="list-style-type: none"> ● 公称 250 V~600 V — 1000 A ● 公称 200 V~240 V — 500 A ● 公称 100 V~120 V — 250 A
発生器の出力を 100 Ω の抵抗性負荷で装荷した状態での、電圧の瞬時ピーク・オーバーシュート/アンダーシュート	U_T の 5 % 未満
発生器の出力を 100 Ω の抵抗性負荷で装荷した状態での、電圧の立ち上がり時間 t_r (また立ち下がり時間 t_f)	1~5 μs
位相角の設定 (必要な場合)	0~360°
電圧ディップや停電の電源周波数に対する位相	$\pm 10\%$ 未満
発生器のゼロ・クロス制御	$\pm 10\%$

[†] 定格電圧の 0~20 % の電圧は完全な停電 (0 %) とみなす。

[‡] U_T は EUT の定格電圧 (試験の基準となる電圧)。

表 1: 試験発生器の仕様 — IEC 61000-4-11

うに変化させることを)、すなわち U_T の 60 % だけ電圧を低下させることを意味する。^{†7}

三相システムの場合、その電源システムに応じて次の箇所の電圧を変化させて試験を行なう (図 10):

- 中性線のある三相システム:
それぞれの相—中性線電圧、及び相—相電圧 (L1-N, L2-N, L3-N, L1-L2, L2-L3, L3-L1 の 6 組の試験)

- 中性線のない三相システム:
それぞれの相—相電圧 (L1-L2, L2-L3, L3-L1 の 3 組の試験)

相—中性線電圧のディップは各相の位相角は維持したままで、1 つの相の相—中性線電圧の大きさのみを低下させることで発生させられる (図 9, 図 10)。

これに対して、相—相電圧のディップは 1 つか 2 つの相の相—中性線電圧の低下とそれらの相の位相角の変化とを伴う (図 9, 図 11~図 13)。^{†8}位相角を変化させずに相—中性線電圧を低下させて相—相電圧を低下させる方法は許容されない。

^{†7} 規格によっては試験レベルが電圧の低下の割合で、例えばこれらの規格での 40 % に相当するものが “60 % reduction” のように表現されていることもある。パーセンテージだけの表現が誤解を招きそうな場合、例えば “40 % residual” や “60 % reduction” のようにその値がいずれを示しているかを明示すると良いかも知れない。

^{†8} 相—相電圧のディップではディップさせられた相—相電圧以外の 1 つか 2 つの相—相電圧も変化する (図 9)。

無負荷での出力電圧	規定された残留電圧の $\pm 5\%$ [†]
機器の試験中の発生器の出力における電圧	規定された残留電圧の $\pm 10\%$ [†]
出力電流駆動能力	多相の場合は電圧ディップ中に電圧ディップされていない相の電流が 200 % 程度増加する可能性 (§4.3) も考慮し、電圧を必要な電圧の $\pm 10\%$ に維持するのに十分な電流駆動能力を持つこと。
ピーク突入電流駆動能力	機器の定格電流に応じて、以下の値以上であること： <ul style="list-style-type: none"> • 定格 16 A～50 A — 500 A • 定格 50.1 A～100 A — 1000 A • 定格 > 100 A — 1000 A 以上、かつ最大ピーク電流のあいだ電圧を $\pm 10\%$ 以内 (1/2 周期毎の実効値で評価) に維持できること
発生器の出力を抵抗性負荷で装荷した状態での、電圧の瞬時ピーク・オーバーシュート/アンダーシュート	U_T [‡] の 5 % 未満
発生器の出力を 100 Ω の抵抗性負荷で装荷した状態での、電圧の立ち上がり時間 t_r (また立ち下がり時間 t_f)	以下の範囲にあること： <ul style="list-style-type: none"> • ≤ 75 A — 1～5 μs • > 75 A — 1～50 μs
電圧ディップの開始/終了の位相角	0～360°、分解能: 最大 5°
電圧ディップや停電の電源周波数に対する位相	$\pm 5\%$ 未満
発生器のゼロ・クロス制御	$\pm 10\%$

[†] 定格電圧の 0～20 % の電圧は完全な停電 (0 %) とみなす。

[‡] U_T は EUT の定格電圧 (試験の基準となる電圧)。

表 2: 試験発生器の仕様 — IEC 61000-4-34

3.2.2 短時間停電

電圧の変化の位相角は製品委員会が規定する。その規定がない場合は 0° に同期させることが推奨される。

これらの規格では短時間停電の試験レベルと持続時間は表 4 に示すようなものが示されている。

三相システムの試験では 3 相全てを同時に停電させる。この場合、電圧の変化はいずれかの相の位相角に合わせて同時に発生させる。

3.3 電圧変動

最も代表的な動作モードにおいて、規定された電圧変動のそれぞれについて 3 回づつ、10 秒間隔で試験する。

電圧を連続的にではなく段階的に変化させる場合、それぞれの電圧の変化はゼロ・クロスで生じさせる

べきであり、電圧の変化の刻みは U_T の 10 % を超えるべきではない。

これらの規格では短時間電圧変動のパラメータ (図 15) は表 5 に示すようなものが示されている。

4 補足

4.1 ITI (CBEMA) カーブと電圧ディップ試験レベル

ITI (CBEMA) カーブ^{[4]†9}と表 3 に示した電圧ディップ試験レベルとの対比を図 16 に示す。

IEC 規格の要求がこれに基づいて定められたわけではないが、このカーブでは 1 周期程度までの瞬停は「機能中断なし」の範囲にあり、これは多くの IEC 規格で 1 周期までの電圧ディップに対して動作

^{†9} Information Technology Industry Council (旧称 Computer and Business Equipment Manufacturers Association) による、120 V 60 Hz の電源系についての、ほとんどの情報技術機器が典型的に耐えられる電源電圧変動の範囲を示したもの。

クラス	電圧ディップの試験レベルと持続時間 (50 Hz/60 Hz)				
クラス 1	機器の要求に応じてケース・バイ・ケースで				
クラス 2	0 %、1/2 周期 ‡	0 %、1 周期	70 %、25/30 周期		
クラス 3	0 %、1/2 周期 ‡	0 %、1 周期	40 %、10/12 周期	70 %、25/30 周期	80 %、250/300 周期
クラス X†	X	X	X	X	X

† クラス X は製品委員会が規定。

‡ 0 %、1/2 周期 は IEC 61000-4-34 には含まれない。

表 3: 電圧ディップの推奨試験レベルと持続時間 — IEC 61000-4-11, -4-34

クラス	短時間停電の試験レベルと持続時間 (50 Hz/60 Hz)
クラス 1	機器の要求に応じてケース・バイ・ケースで
クラス 2	0 %、250/300 周期
クラス 3	0 %、250/300 周期
クラス X†	X

† クラス X は製品委員会が規定。

表 4: 短時間停電の推奨試験レベルと持続時間 — IEC 61000-4-11, -4-34

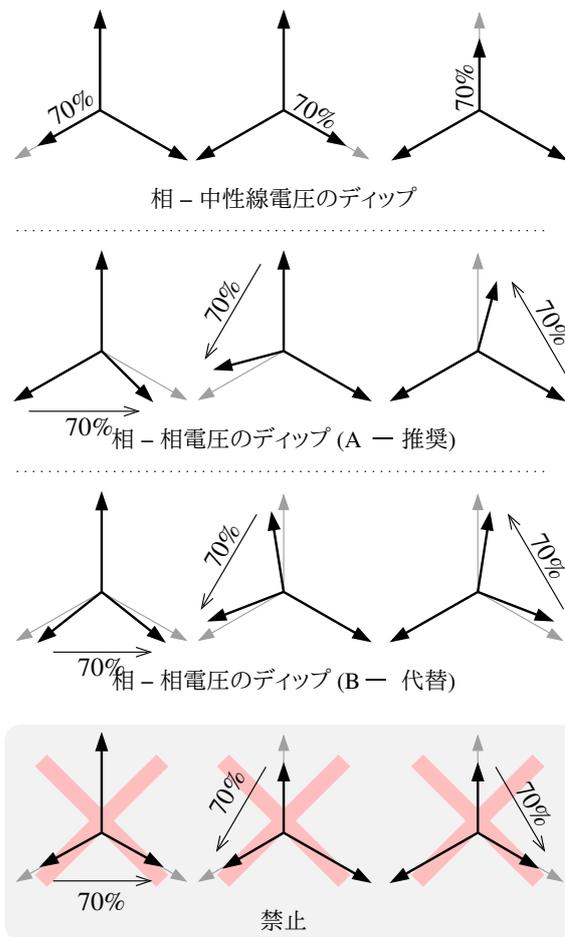


図 9: 三相システムの電圧ディップの方法

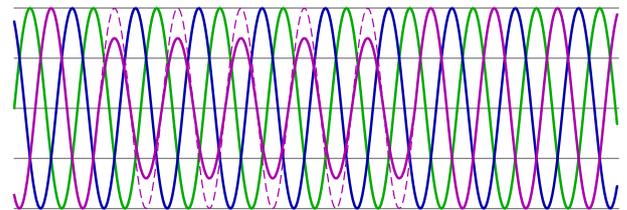


図 10: 三相システムの相—中性線の電圧ディップの例 (図 11 と似ているが、位相はシフトせずに振幅のみが変化する)

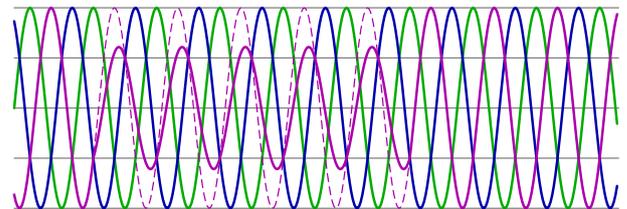


図 11: 三相システムの相—相電圧のディップ時の相—中性線電圧の例 (方法 A, 70 % U_T) (図 10 と似ているが、位相のシフトを伴う)

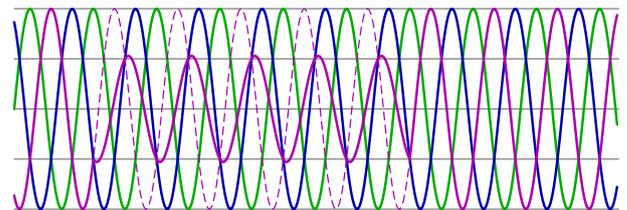


図 12: 三相システムの相—相電圧のディップ時の相—中性線電圧の例 (方法 A, 40 % U_T) (図 11 よりもディップが深く、位相のシフトも大きくなっている)

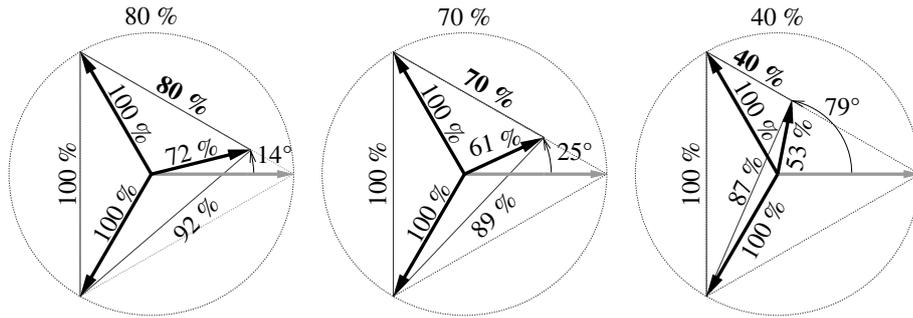


図 13: 三相システムの相—相電圧のディップ時のベクトル図 (方法 A)

電圧試験レベル	電圧を低下させる時間 (t_d)	低下した電圧での時間 (t_s)	電圧を上昇させる時間 (t_i)
70 %	急峻	1 周期	25/30 周期
X†	X†	X†	X†

† X は製品委員会が規定。

表 5: 短時間電圧変動のパラメータ — IEC 61000-4-11, -4-34

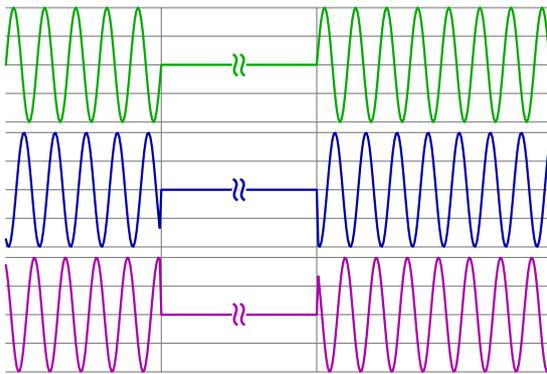


図 14: 三相システムの短時間停電の例

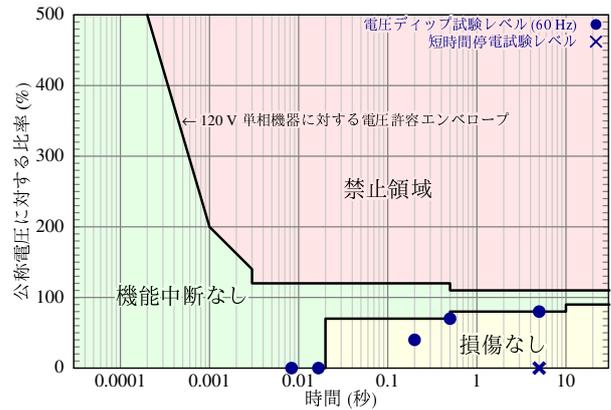


図 16: ITI (CBEMA) カーブと電圧ディップ試験レベル

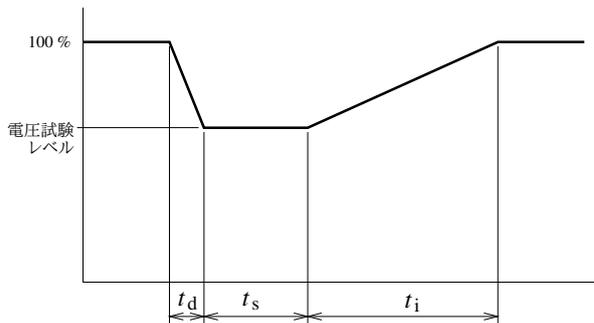


図 15: 電圧変動のパラメータ

の継続が求められていることと整合しているとも言えそうである。

4.2 高い突入電流駆動能力の必要性

モータ、変圧器、電球やヒータ、整流平滑回路などには、電源の投入時に短時間ではあるが著しく大きい (時には定常時の電流の 10 倍から 40 倍程度、あるいはそれ以上に達するような) 電流が、すなわち大きな突入電流が流れることがある (図 17)。

このような突入電流は、ヒューズの溶断や部品の損傷 (例えば整流用ダイオードの焼損、電源スイッチの溶着、平滑用コンデンサの劣化のような) のような問題を、さらには電源電圧の一時的な低下とそれに伴う他の機器への影響 (例えば同じ電源系統に接続された機器のリセットのような) を引き起こす可能性がある。

このため、機器の多くは、必要であれば適当な突入電流防止回路を用いて突入電流を制限するなどの

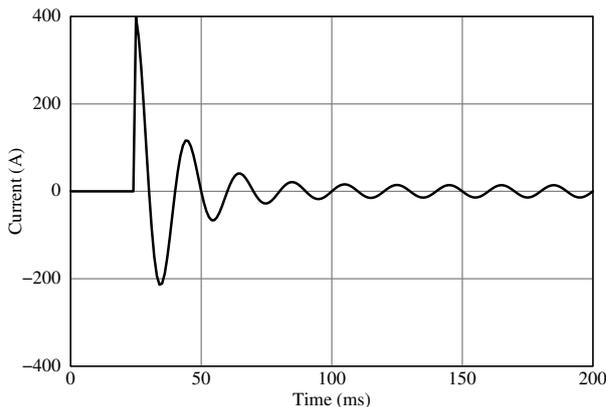


図 17: 突入電流のイメージ

対応を行ない、電源の投入に際しての突入電流が高くなり過ぎないように設計されている筈である。^{†10} 突入電流防止回路としては、しばしば直列のパワー・サーミスタ (NTC)^{†11}、あるいは電源投入後に少し時間を置いて SCR (サイリスタ) などのスイッチで短絡される直列抵抗が用いられる (図 18)。

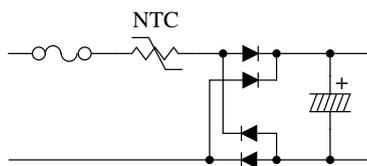


図 18: 突入電流防止回路の例

だが、短時間停電や電圧ディップからの復帰に際してこのような突入電流防止回路が正常に働かず、通常の電源投入の際よりも遥かに大きい突入電流が流れることがある。

例えば突入電流の抑制にパワー・サーミスタが用いられている場合、短時間停電や電圧ディップからの復帰に際してそのパワー・サーミスタが熱いままの、従って抵抗が低下したままの状態となり、突入電流を制限することができない可能性がある。

抵抗とスイッチが用いられている場合も、電圧ディップの深さや持続時間によっては電源電圧の復帰時も抵抗が短絡された状態のままとなり、突入電流を制限することができない可能性がある。

短時間停電や電圧ディップの試験でこのような状況を評価するためには試験発生器が突入電流を制限

^{†10} IEC 61000-3-3 や IEC 61000-3-11^[3] の d_{max} の制限は実質的に突入電流を制限するものとなる。

^{†11} NTC (負温度特性サーミスタ) は温度が低い時は高い抵抗を、温度が高い時は低い抵抗を示す素子で、電源の投入時は温度が低いために高い抵抗を示して突入電流を制限し、通電に伴い自己発熱によって温度が上昇して低抵抗状態となる。

すべきでなく、このため、これらの規格では試験発生器が表 1 と表 2 で示したような大きな突入電流駆動能力を、例えば IEC 61000-4-11 で電源電圧が 200~240 V の場合は 500 A、もしくは EUT の突入電流の 1/0.7 倍以上の突入電流駆動能力を持つことが求められている。^{†12}

図 8 に原理を示したような試験発生器では突入電流駆動能力は試験発生器に EUT 用の電力を給電する電源系統、またそのケーブルの影響も受け^{†13}、従ってその検証はそれらの特定の組み合わせについて行なうことが必要となりそうである。^{†14}

4.3 電圧ディップ時の電流の増加

単相であれ三相であれ、電源電圧が低下しても電力を一定に保とうとするような負荷の場合、電源電圧が低下すればそれに応じて電源電流が増加する。これは表 1 で示した出力電流駆動能力にも反映されている。

だが、三相負荷の場合、これに加え、電圧ディップに際してディップしていない相の電源電流が著しく増加することもある。

例えば三相の誘導モータの場合、電源電圧の有意な不平衡は他の問題とともに電流の顕著な増加を引き起こすことが予期される。

また、例えば三相の整流平滑回路で 1 つか 2 つの相 (図 9 に示すように、相—相電圧の方法 2 でのディップでは 2 つの相の電圧がディップする) の電圧が低下すると電力の多く/全てが電圧が高い相か

^{†12} 突入電流駆動能力の測定方法はこれらの規格の Annex A で述べられているが、この電流は半周期毎の実効値でさえなく、位相角 90° と 270° でオンとした時の単純なピーク値で規定されている。このため、試験発生器が高い電流を供給できるのが電源波形の周期よりも遥かに短い短時間であっても文面上はこの規格のピーク突入電流駆動能力の要求を満足できることになりそうであるが、このようなものでは上記のような事象は適切に模擬できそうにない。規格では突入電流をどれだけ長時間供給できるべきかなどの規定はないが、上記のような事象を適切に模擬するためには、少なくとも半周期から数周期程度は高い電流を供給できることが必要となりそうに、あるいは少なくとも望ましそうに思われる。

^{†13} 例えば容量の小さい変圧器や安定化電源から給電している場合、あるいはその電源から試験発生器までを細くて長いケーブルで接続している場合、突入電流駆動能力がその電源やケーブルによって制限される可能性が予期される。

^{†14} 図 8 のような原理に基づく試験発生器が用いられる場合、必要な場合、実際の試験時に電源が制限となっていないかどうかは試験発生器の入力端での電圧波形を適切な電圧プローブとオシロスコープで監視することで判断できるかも知れない。この電圧波形の有意な低下が見られないならば、おそらく電源が制限となっていない。

ら供給されるようになり、その相の電流が著しく増大する可能性がある (図 19)。

このため、試験システムはそのような電流の増加に対処できるだけの電流駆動能力を持つことが必要となる。

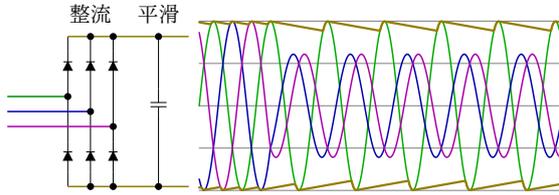


図 19: 三相システムにおける電圧ディップ時のコンデンサ・インプット型整流平滑回路の電圧波形のイメージ — 相電圧のディップの影響で電力の全て/多くがディップしていない相から供給されるようになり、その相の電流が著しく増大する可能性がある

5 関連規格

- IEC 61000-4-14, *Electromagnetic compatibility (EMC) — Part 4-14: Testing and measurement techniques — Voltage fluctuation immunity test for equipment with input current not exceeding 16 A per phase*
(電圧の上昇を含む電源電圧変動)
- IEC 61000-4-28, *Electromagnetic compatibility (EMC) — Part 4-28: Testing and measurement techniques — Variation of power frequency, immunity test for equipment with input current not exceeding 16 A per phase*
(電源周波数変動)
- IEC 61000-4-27, *Electromagnetic compatibility (EMC) — Part 4-27: Testing and measurement techniques — Unbalance, immunity test*
(三相電源の不平衡)
- IEC 61000-4-13, *Electromagnetic compatibility (EMC) — Part 4-13: Testing and measurement techniques — Harmonics and interharmonics including mains signalling at a.c. power port, low frequency immunity tests*
(電源の高調波/中間高調波歪み)

- IEC 61000-4-29, *Electromagnetic compatibility (EMC) — Part 4-29: Testing and measurement techniques — Voltage dips, short interruptions and voltage variations on d.c. input power port immunity tests*
(直流電源の電圧ディップ、短時間停電、及び電圧変動)

6 参考資料

- [1] IEC 61000-4-11:2020, *Electromagnetic compatibility (EMC) — Part 4-11: Testing and measurement techniques — Voltage dips, short interruptions and voltage variations immunity tests for equipment with input current up to 16 A per phase*
- [2] IEC 61000-4-34:2005+A1:2009, *Electromagnetic compatibility (EMC) — Part 4-34: Testing and measurement techniques — Voltage dips, short interruptions and voltage variations immunity tests for equipment with mains current more than 16 A per phase*
- [3] 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, 2021, <https://www.emc-ohtama.jp/emc/reference.html>
- [4] *ITI (CBEMA) Curve Application Note*, Information Technology Industry Council, 2000, <https://www.itic.org/dotAsset/b7e622fd-7b12-4641-bb0b-00af8c9e5c37.doc>