

IEC 61000-4-29 の概要 — 直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 11 月 7 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	2
3	試験	4
3.1	一般	4
3.2	電圧ディップ、及び短時間停電	4
3.3	電圧変動	5
4	補足	5
4.1	この試験を含む製品群規格などの例	5
4.2	正負の突入電流駆動能力の必要性	6
5	参考資料	8

1 概要

IEC 61000-4-29 は直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 61000-4-29:2000^[1] 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]を参照していただきたい。

1.1 背景

DC 電源系から給電される機器 (あるいは機器やシステムの一部となるコンポーネント) は、その DC 電源系が他の機器と共用される場合は特に、様々な要因に伴って電源電圧の一時的な喪失や変動に曝されることがある。

この種の事象としては、例えば次のようなものが考えられるかも知れない:

- DC 電源系に給電している DC 電源装置の AC 電源入力の短時間停電や電圧ディップに伴う短時間停電や電圧ディップ;
- DC 電源系に給電する電源の切り替え (例えば、AC 電源の停電/復電に伴う DC 電源装置とバッテリーのあいだの切り替え、DC 電源装置の故障に伴う現用系から待機系への切り替え、のような) に伴う短時間停電;
- DC 電源系上の急激な負荷変動 (例えば他の機器の電源の投入や始動に伴う突入電流を含む) に伴う電源電圧の変動、主に電圧ディップ;

- DC 電源系上の他の機器の短絡故障 (おそらく短い時間の後にヒューズなどの過電流保護デバイスの動作によって遮断される) に伴う短時間停電や深い電圧ディップ。

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。

この規格はこのような事象の模擬を意図したものであり、低圧 DC 電源系からの給電が想定される機器に適用される。

この規格では AC 電源の短時間停電、電圧ディップなどは扱われず、これは IEC 61000-4-11 や IEC 61000-4-34^[2] でカバーされる。専用の DC 電源装置 (AC アダプタ) から給電される機器は DC 電源側でこの規格を用いて試験するのではなく AC 電源入力側でそれらの規格を用いて試験されることが多い。

車載機器に対しては ISO 7637-2^[3] や ISO 16750-2^[4] に代表されるような車載機器向けの一連の規格があり、これらの規格では車両の低圧直流電源に関連する様々な現象が扱われている。

1.1.1 対象となる現象

これらの規格で扱われる DC 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):
数ミリ秒から数秒の短い時間の後に回復する、低圧 DC 電源系の特定の地点における電圧の突然の低下 (図 1)。

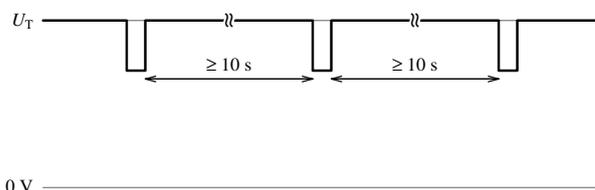


図 1: 電圧ディップの試験波形の例

- 短時間停電 (short interruption):
典型的には 1 分を超えない期間の、低圧 DC 電源系の特定の地点における電源電圧の喪失 (図 2)。

実用上、定格電圧の少なくとも 80 % の大きさのディップは停電とみなして良い。

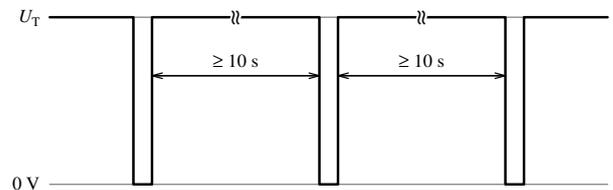


図 2: 短時間停電の試験波形の例

- 電圧変動 (voltage variation):
定格電圧よりも高い、あるいは低い電源電圧への緩やかな変動 (図 3)。†1
変動の期間は短いことも長いこともある。

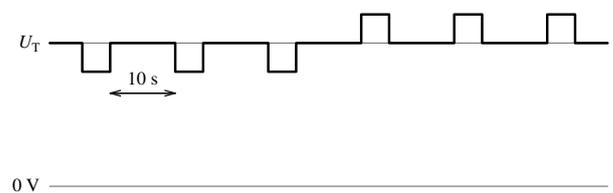


図 3: 電圧変動の試験波形の例

2 試験発生器

2.1 試験発生器の特性

試験発生器の主な特性を表 1 に示す。

2.2 試験発生器の原理

電圧ディップ、短時間停電、及び電圧変動は次のような方法で発生することができる:

- 出力電圧を所定の値に設定した 2 台の DC 電源をスイッチで切り替える (図 4)。

このスイッチとしては IEC 61000-4-11 用の試験発生器を使用できるかも知れない。†2

この方法を用いる場合、少なくとも出力電圧が低く設定される方の DC 電源については、そ

†1 この規格で示されている試験レベル (表 4) は電圧の変化を急峻に生じさせるもののみとなっている。

†2 このような使い方が意図されているかどうかは試験発生器に依存する。この形での使用が可能な試験発生器でも、トランスが接続された状態で DC 電圧を印加すると損傷を生じる可能性があるため、取り扱いには注意が必要かも知れない。

基本的な特性	
出力電圧範囲 (U_O) [†]	360 V まで
出力電圧の短時間停電、ディップ、及び変動	表 2, 表 3, 及び 表 4 参照
負荷による出力電圧変動 (0 から定格負荷)	5 % 以内
リップル成分	出力電圧の 1 % 以内
100 Ω の抵抗性負荷で装荷した試験発生器の電圧変化の立ち上がり/立ち下がり時間	1~50 μ s
100 Ω の抵抗性負荷で装荷した試験発生器の電圧変化のオーバーシュート/アンダーシュート	電圧変化の 10 % 以内
出力電流 (安定状態) (I_O) [†]	25 A まで
低インピーダンス / 高インピーダンス・モード	短時間停電 — 低インピーダンス、高インピーダンス 電圧ディップ — 低インピーダンス 電圧変動 — 低インピーダンス
低インピーダンス・モード固有の特性	
ピーク突入電流駆動能力 [‡]	$U_O = 24$ V — ± 50 A $U_O = 48$ V — ± 100 A $U_O = 110$ V — ± 220 A
突入電流の極性	正 (EUT への流入)、及び負 (EUT からの逆流)
高インピーダンス・モード固有の特性	
出力インピーダンス	100 k Ω 以上 ($\pm 3 \times U_O$ までの電圧で測定)
過渡過電圧への保護	試験中に EUT が発生する過渡過電圧に対して保護されていること

[†] より高い、あるいは低い電圧/電流定格の試験発生器を用いても良いが、試験発生器の出力電力や電流の容量は EUT の電力や電流の定格よりも少なくとも 20 % 大きくなければならない。

[‡] これよりも低いピーク突入電流駆動能力は、それが EUT のピーク突入電流よりも 30 % 以上高いならば許容される。ピーク突入電流駆動能力や EUT のピーク突入電流の測定方法は規格の Annex B で示されている。

表 1: 試験発生器の特性

の電源の出力電圧よりも高い電圧が出力端子に印加される可能性があること、また電源への逆電流を吸収できるべきことにも注意すべきである。^{†3}

短時間停電のためには、DC 電源を 1 台のみ用い、低インピーダンス条件の場合はもう一方を短絡、高インピーダンス条件の場合は開放とするかその経路のスイッチ (図 5 の SW2) を開いたままとすれば良い (図 5)。

電圧変動も電圧の変化が急峻なものはこの方法で発生させることができるが、これは緩やかな電圧の変化を伴う電圧変動の発生には適さない。

- 所定の電圧変化を発生するように設定できるプ

^{†3} 切り替えに際してその電源の出力により高い電圧に充電された大容量のコンデンサが接続される場合があるため。§4.2 も参照。

ログラムブル電源を用いて、あるいは電圧制御入力を持つ電源とその電源に所定の電圧変化を発生させるための信号を与える信号源 (例えばファンクション・ジェネレータ) とを用いて所定の電圧変化を発生させる (図 6)。

いずれの場合も、

- 高い突入電流駆動能力を含め、規定された性能 (表 1) を満足させる必要があること、
- 電圧を下げる際、電源 (図 4 の場合は電圧が低い側の電源) の出力に出力電圧よりも高い電圧が印加される可能性があること、
- 電源 (図 4 の場合は電圧が低い側の電源) に流れ込む逆電流を吸収できるべきこと

などに特に注意となるかも知れない。

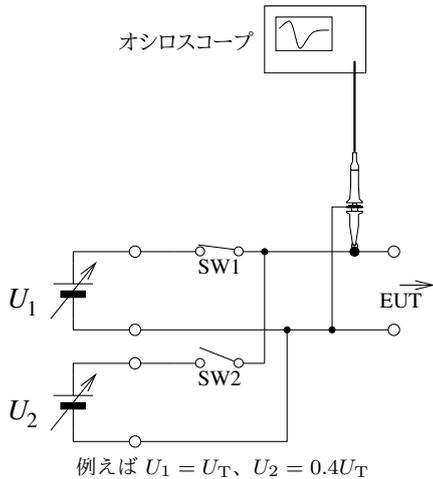


図 4: 試験発生器の原理の例 (1) — 2 台の電源装置とスイッチ

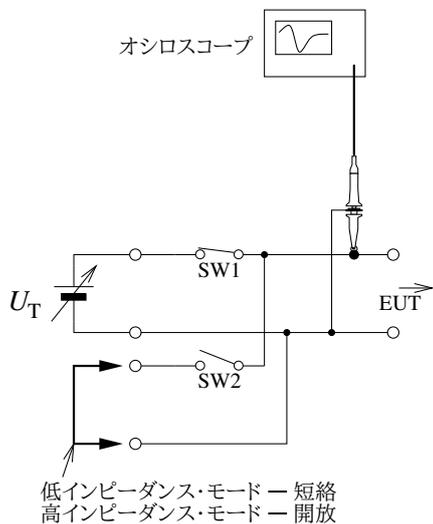


図 5: 短時間停電の発生原理の例 (図 4 に基づく)

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;

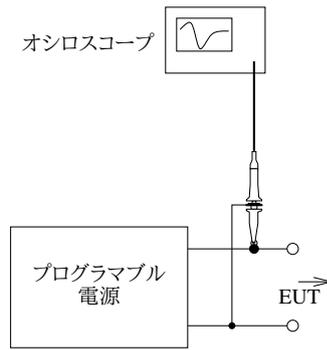


図 6: 試験発生器の原理の例 (2) — プログラマブル電源

- 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。

試験中、試験発生器の出力電圧を 2 % 以内の精度で監視する。

この規格で示されている電圧ディップ、短時間停電、及び電圧変動の試験レベルを表 2、表 3、及び表 4 に示す。

ここで、“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 48 V で電圧ディップの試験レベルが 40 % であれば $48\text{ V} \rightarrow 19.2\text{ V} \rightarrow 48\text{ V}$ のよ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。

それぞれの表のうち、短い持続時間、特に最も短い持続時間のものは、EUT が意図された動作を継続することの確認のために試験すべきである。この規格を参照する製品規格などは、その対象となる製品に対するそれぞれの実際の適用の要否や適用すべき試験レベル、満たすべき最低限の判定基準などをその規格の要求の一部として含むだろう。

これらの表で示された試験では、電圧変動を含めて、電圧の変化は急峻に生じさせる (表 1)。

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。この時間は影響の確認や状態の回復などのために長くする必要はあるかも知れない。

この試験はそれぞれの典型的な動作モードで実施する。

短時間停電試験は試験発生器を高インピーダンス・モード (負荷からの逆電流を阻止する)、及び低インピーダンス・モード (負荷からの逆電流を吸収する) のそれぞれに設定して行なう。

電圧ディップや短時間停電の試験では EUT の入力端子に過渡過電圧が発生するかも知れず、これは試験報告書に記載する。

試験レベル (% U_T)	持続時間 (s)
40、及び 70 または X	0.01
	0.03
	0.1
	0.3
	1
	X

表 2: 電圧ディップの推奨試験レベルと持続時間

試験条件	試験レベル (% U_T)	持続時間 (s)
高インピーダンス 及び/もしくは 低インピーダンス	0	0.001
		0.003
		0.01
		0.03
		0.1
		0.3
		1
		X

表 3: 短時間停電の推奨試験レベルと持続時間

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。

表 4 に示した試験レベルは電圧変化を急峻に生じさせるものとなっているが、必要と判断された場合、製品規格などには例えばバッテリーの充放電サイクルを代表するような緩やかな電圧の変化を伴う変動パターンでの電圧変動の規定などが含まれるかも知れない。

試験レベル (% U_T)	持続時間 (s)
85、及び 120	0.1
	0.3
または 80、及び 120	1
	3
または X	10
	X

表 4: 電圧変動の推奨試験レベルと持続時間

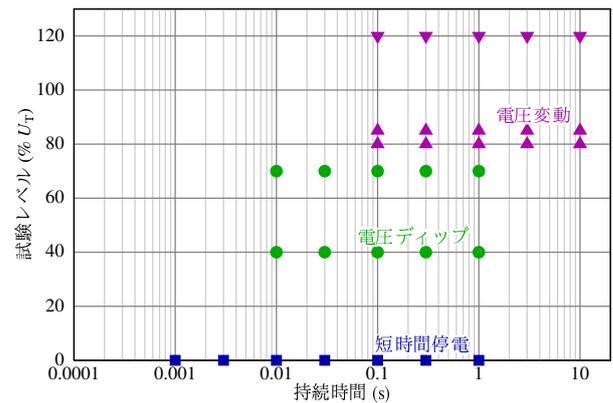


図 7: 試験レベルの一覧

4 補足

4.1 この試験を含む製品群規格などの例

この規格での試験の要求を含む規格はそれほど多くないが、例えば次のような規格に見ることができる:

- IEC 61131-2:2017 (プログラマブル・コントローラ)
試験レベル: 0 % 1 ms (PS1), 0 % 10 ms (PS2)
バッテリーか PS2 に適合した DC 電源装置から給電される機器には PS1 の、その他の機器には PS2 の要求を適用する
- IEC 61000-6-7:2014 (安全関連機能を持つ機器)
試験レベル: 40 % 10 ms, 70 % 10 ms, 0 % 20 ms
- IEC 61326-3-1:2017 (安全関連機能を持つ機器 — 規定された電磁環境)
試験レベル: 40 % 10 ms, 0 % 20 ms

- IEC 61326-3-2:2017 (安全関連機能を持つ機器 — その他の電磁環境)
試験レベル: 40 % 1000 ms, 0 % 1000 ms, 0 % 20 ms

4.2 正負の突入電流駆動能力の必要性

電子機器の DC 電源入力部の顕著な突入電流は、最も典型的には電源入力部のコンデンサによって引き起こされる。

機器の DC 電源入力部にはしばしば大容量のコンデンサが接続されており、入力電圧の立ち上がり際に相当の充電電流が流れる。

これは通常の電源投入時にも生じそうであるが、DC 電源入力の機器の通常の電源のオン/オフはそれに給電する電源装置の入力側で行なわれる場合も多く、その場合の機器の DC 電源入力への突入電流は電源装置の特性によって、またその電源系に接続された他の機器への分流によって制限されそうである。

だが、DC 電源側での電圧ディップや短時間停電からの復帰の際にはその制限が部分的にしか働かず、著しい突入電流が流れる可能性がある。

また、突入電流が問題となりそうな機器は適当な突入電流防止回路を用いて電源の投入の際に突入電流が高くなり過ぎないように設計されているであろう。このような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)^{†4}、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、突入電流防止機能が組み込まれた IC などが用いられる (図 8)。

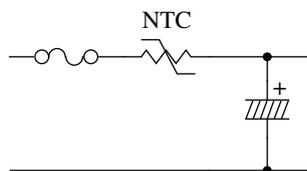


図 8: 突入電流防止回路の例

だが、短時間停電や電圧ディップからの復帰の際に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可能性がある。

^{†4} 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。

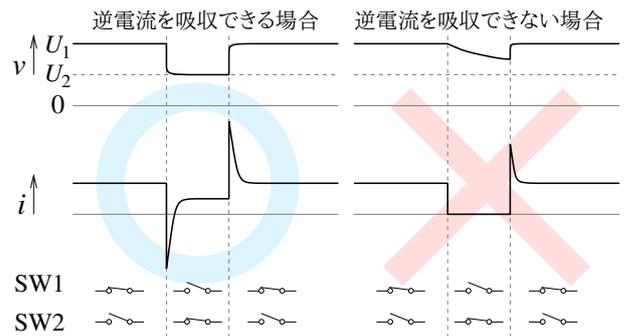
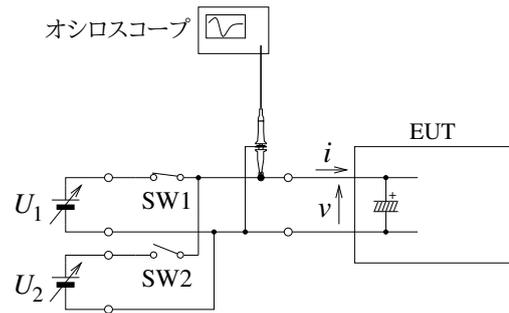


図 9: ディップ試験時の電圧/電流波形のイメージ

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の際にそのパワー・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。

このような突入電流はヒューズの溶断やその他の部品の損傷などを引き起こすかも知れず、その好ましくない状況を試験で模擬するためには試験発生器は EUT の突入電流を制限しないことが必要となる。

機器の DC 電源入力部のコンデンサが電流の逆流を阻止する手段なしに接続されている場合、入力電圧が低下するとコンデンサに蓄えられていた電荷の電源に向けての放電が生じる。

例えば同じ DC 電源系に接続された他の負荷の投入に伴って電源電圧が低下する場合、その機器の入力部のコンデンサに蓄えられていた電荷の一部もその負荷に供給され、その機器の入力部の電圧が急激に引き下げられる可能性がある。

また、例えば同じ DC 電源系上で短絡故障があった場合、その機器の入力部のコンデンサに蓄えられていた電荷もその短絡を通して急激に放電され、その機器の入力部の電圧は 0 V 近くまで急激に引き下げられることが予期される。

このような電圧の低下はその機器の機能の喪失を、

また場合によっては逆電圧による回路の損傷^{†5}を引き起こすかも知れない。

このような状況を試験で模擬するためには試験発生器側で EUT からの逆電流を吸収できることが必要となる。

この逆電流が試験発生器側で阻止された場合、単に逆電流が流れる状況を模擬できないだけでなく、入力部における電圧がかなり緩やかにしか低下しない、特に短い電圧ディップではディップの深さに関わらず電圧がほとんど低下しない可能性さえあり、その形での試験では意図された評価は行なえそうにない (図9)。

逆電流、主に電圧ディップ時に発生する過渡的な逆電流への対応は、電源 (図4のような原理に基づく試験発生器が用いられる場合は電圧が低い方の電源) として適切な出力容量^{†6}の4象限バイポーラ電源や双方向電源^{†7}を用いれば確実に行なえそうである。また、図4のような原理に基づく試験発生器で正負のいずれか、あるいは双方の突入電流駆動能力が不足する^{†10} 場合、電源が大容量の容量性負荷を駆動できるものであれば電源とスイッチのあいだに大容量の (望ましくは EUT 側のコンデンサの容量よりも相当に大きい) コンデンサを接続することで改善できるかも知れない。

EUT の電源入力がそのような逆電流を発生しないようになっている場合、例えば入力部に大容量のコンデンサが入れられているとしてもその前に逆電流を阻止するようなダイオードが入れられている (交直両用の場合は整流ブリッジが、直流専用の場合も逆電圧保護用のダイオードや IC などが直列に入れられている場合がある) ような場合 (図10)、電圧ディップ時に顕著な逆電流は生じず、この場合は逆電流を吸収できない試験発生器を用いても試験の結果に大きな違いは生じそうにない。^{†8}

なお、規格では突入電流駆動能力は単純にピーク

^{†5} 例えば電源が三端子レギュレータに通されている場合、入力の電圧が急激に引き下げられた場合はレギュレータの出力側の電圧の方が高くなる (レギュレータの入力側のコンデンサの電圧はその電荷が電源入力側に引き抜かれた結果として急激に低下するが、レギュレータの出力側のコンデンサの電圧はその先の負荷での消費に応じて緩やかに低下するのみとなる) 場合があるが、このような逆電圧はレギュレータを損傷させる可能性がある。

^{†6} 数百 A のピーク出力電流に対応したバイポーラ電源も市販されている。

^{†7} 電子負荷としての機能を備えた電源装置。

^{†8} ダイオードよりも前にノイズ・フィルタが接続されているような場合、そのコンデンサからの逆電流は生じるが、これは試験に大きな影響を与えそうにはない。

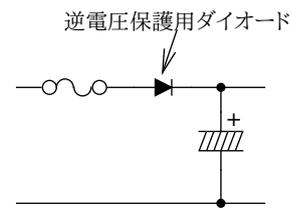


図10: 逆電圧保護用ダイオードが入れられた電源入力部の例

値のみで規定されている (表1)。このため、試験発生器が高い電流を供給できるのが極度に短い時間^{†9} だけ、例えば図11の「低容量電源 + 10 μF 」で示したようなものであっても文面上はこの規格の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。

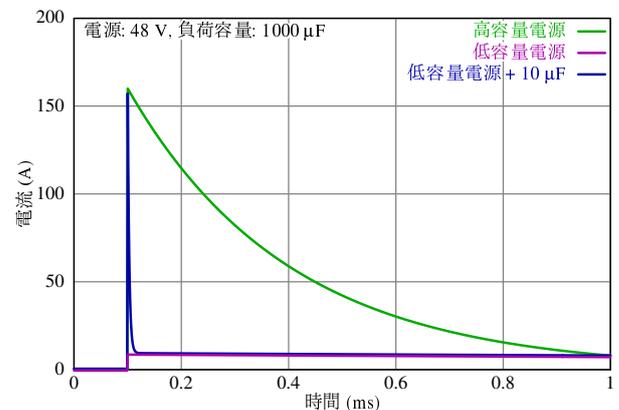


図11: 試験発生器の突入電流への影響のイメージ — 負荷の大容量コンデンサは著しい突入電流を吸い込む (緑)。低容量の電源ではこの電流は電源の能力で制限される (紫)。低容量の電源の出力に小容量のコンデンサが入っている場合、ピーク電流は高くなるが、それ以降の電流は電源の能力で制限されたままとなる (青)。

規格ではこのような電流をどれだけの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、EUT が吸い込もうとする、あるいは流し出そうとする電流を試験発生器が制限しない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。^{†10}

^{†9} 例えば図4のような試験発生器のピーク突入電流駆動能力の測定を規格で示されているように行なった場合、電源の出力の若干の静電容量 (電源に既に含まれている、もしくは出力に並列に接続した) の寄与のみでも、高い、だが非常に短い持続時間の (場合によっては μs のオーダーの) 突入電流が観測される可能性がある。

^{†10} 図4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

5 参考資料

- [1] IEC 61000-4-29:2000, *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*
- [2] 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, 2024,
<https://www.emc-ohtama.jp/emc/reference.html>
- [3] ISO 7637-2 & ISO 7637-3 の概要, 株式会社 e・オータマ 佐藤, 2021,
<https://www.emc-ohtama.jp/emc/reference.html>
- [4] ISO 16750-2 の概要 — 車載機器の電氣的負荷試験, 株式会社 e・オータマ 佐藤, 2022,
<https://www.emc-ohtama.jp/emc/reference.html>

電圧に有意な変動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。

© 2024 e-OHTAMA, LTD.

All rights reserved.

免責条項 — 当社ならびに著者は、この文書の情報に関して細心の注意を払っておりますが、その正確性、有用性、完全性、その利用に起因する損害等に関し、一切の責任を負いません。