

航空用機器の EMC — DO-160G の概要

Part 5: 電源入力

株式会社 e・オータマ 佐藤智典

2021 年 1 月 12 日

目 次

1	概要	1
2	カテゴリ指定	2
3	AC 電源	2
3.1	正常動作条件	2
3.1.1	電圧と周波数	2
3.1.2	電圧変調	2
3.1.3	周波数変調	3
3.1.4	一時的な停電	4
3.1.5	通常のトランジェント	5
3.1.6	通常の周波数変動	5
3.1.7	電圧 DC 成分	6
3.1.8	電圧歪み	6
3.2	異常動作条件	6
3.2.1	安定状態での異常な電圧と周波数の限界	6
3.2.2	一時的な不足電圧動作	8
3.2.3	異常なトランジェント	8
3.2.4	異常な周波数変動	9
3.2.5	3 相電源の欠相	9
4	DC 電源	10
4.1	正常動作条件	10
4.1.1	電圧	10
4.1.2	リップル電圧	10
4.1.3	一時的な停電	10
4.1.4	通常のサージ電圧	11
4.1.5	エンジン始動不足電圧動作	12
4.1.6	露出電圧減衰時間	12
4.2	異常動作条件	13
4.2.1	電圧安定状態	13
4.2.2	低電圧条件	13
4.2.3	一時的な不足電圧動作	13
4.2.4	異常なサージ電圧	13
5	負荷機器の航空機電源システムへの影響	14
5.1	高調波電流エミッション (AC)	14
5.2	位相不平衡 (3 相 AC)	14
5.3	DC 電流成分 (AC)	14
5.4	回生エネルギー (DC)	15
5.5	突入電流 (AC, DC)	15
5.6	電流変調 (AC)	15
5.7	DC 電流リップル試験 (DC)	15
5.8	力率 (AC)	15
6	補足	16
6.1	航空機の電源の例	16
7	参考資料	16

1 概要

RTCA DO-160G^[1] は RTCA^{†1} が発行した航空機搭載機器の環境条件や試験法を定める文書である。

RTCA は主に航空機や関連機器の製造業者や関連機関などが加盟する非営利団体であり、FAA (米国連邦航空局) の支援を受けており、また FAA の諮問機関の 1 つとなつてはいるものの、それが発行した文書が直接法的な効力を持つわけではない。だが、FAA が基準として DO-160G を受け入れる^[4]、国土交通省航空局の「装備品等型式及び仕様承認に係る一般方針」^[5] で DO-160 が参照されるなど、これは航空機搭載機器に対する基準として広く用いられている。

また、RTCA は欧州で同様の活動を行なっている EUROCAE^{†2} と連携しており、EUROCAE ED-14G は DO-160G と整合している。

本稿ではこの DO-160G の要求事項のうち、16 章の電源入力に関する要求について解説する。

なお、本稿はそ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、正確な情報は当該の規格そのもの^[1] や関連する公式な文書を参照されたい。^{†3}



^{†1} 旧称 Radio Technical Commission for Aeronautics; <https://www.rtca.org/>

^{†2} European Organisation for Civil Aviation Equipment; <https://www.eurocae.net/>

^{†3} 例えば、それぞれのパラメータには許容差があり、また電圧や周波数の急変については立ち上がり/立ち下がり時間の規定があるが、それらは本稿では全く示していない。

2 カテゴリ指定

カテゴリ指定は、AC 電源の場合は図 1、DC 電源の場合は図 2 のような、電源を示す指定子の後に、オプションとなる試験の適用の有無を示す指定子が続いたものとなる。

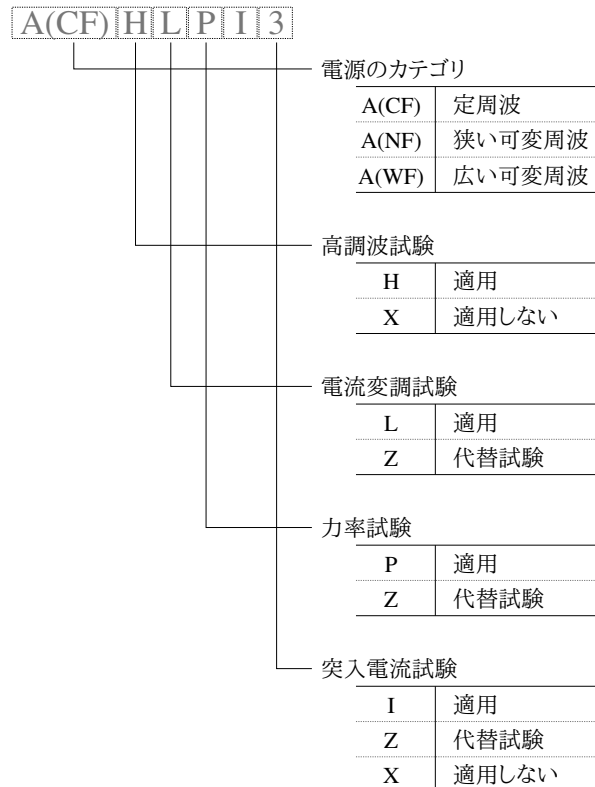


図 1: 電源入力 — カテゴリ指定 (AC)

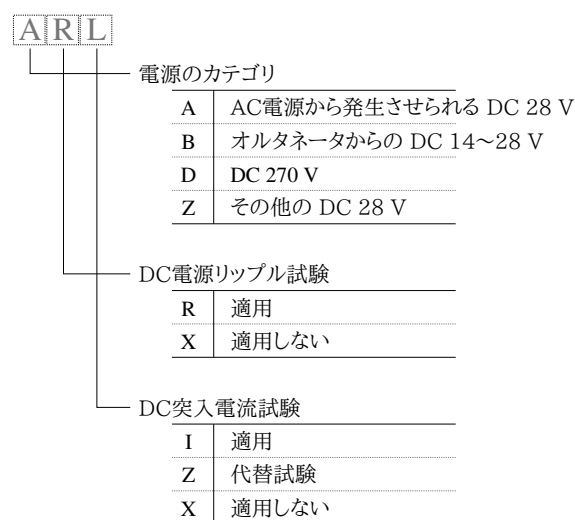


図 2: 電源入力 — カテゴリ指定 (DC)

3 AC 電源

これらの試験は AC 電源から給電される機器への電源条件の影響を評価するものであり、正常動作条件では機器は妨害の印加中、及び印加後に、また異常動作条件では妨害の印加後に、該当する性能規格に従って機能することが必要となる。

特に規定されない限り、試験は下記の電源条件で行なう:

- 電源電圧 — 公称電圧 (通常は 115 V)
- 電源周波数
 - A(CF) — 400 Hz
 - A(NF) — 360 Hz、及び 650 Hz
 - A(WF) — 360 Hz、及び 800 Hz

また、試験対象の機器は最大のデューティ・サイクルで動作させる。

ここで示した試験レベルは電源電圧が公称 115 V の場合のもので、電源電圧が公称 230 V の場合はこれと異なる試験レベルが適用される。

3.1 正常動作条件

3.1.1 電圧と周波数

単相電源の場合、規定された電源電圧範囲の下限と上限、また電源周波数範囲の下限と上限のそれぞれの組み合わせ (図 3) で、最大のデューティ・サイクルで 30 分以上動作させる。

非常電源で動作するように設計された機器は、非常電源に対して規定された電源条件についても同様に試験する。

3 相電源の場合、単相電源と同様の周波数範囲 (図 3) で、電源電圧範囲の下限と上限で、また相電圧を不平衡とした状態で同様に試験する (図 4, 図 5, 図 6)。

3.1.2 電圧変調

図 7 のように電源電圧の振幅を 1 Hz から電源周波数の 1/2 までの範囲の周波数で変調した時、機器は該当する性能規格の範囲内で動作しなければならない。

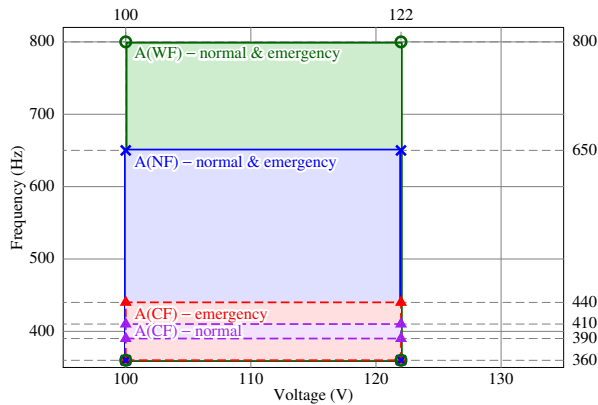


図 3: 電源入力 (AC) — 正常動作条件 — 単相電源の電圧と周波数の範囲

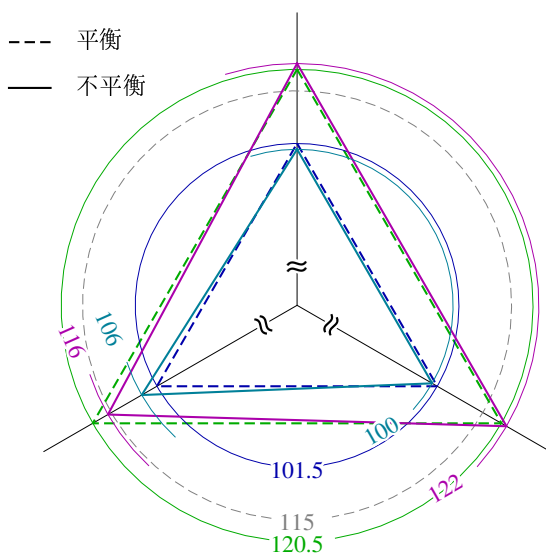


図 4: 電源入力 (AC) — 正常動作条件 — 3 相電源の電圧の範囲 (A(CF), A(NF))

振幅変調の大きさは図 8 のように周波数に対するカーブとして規定されており、電源電圧が 115 V の場合は電圧波形の包絡線の山と谷の電圧で最大 5 V となる。

試験は、ディケード当たり 4 つ以上の変調周波数で、それぞれの変調周波数で 120 秒と機器の仕様で示された時間のいずれか長い方の時間以上動作させることで行なう。

この試験で模擬される現象は、例えば発電機 (主エンジンから調速機を介して駆動される、あるいは APU に装備された) の速度の揺らぎや負荷の変動によって引き起こされることがある。

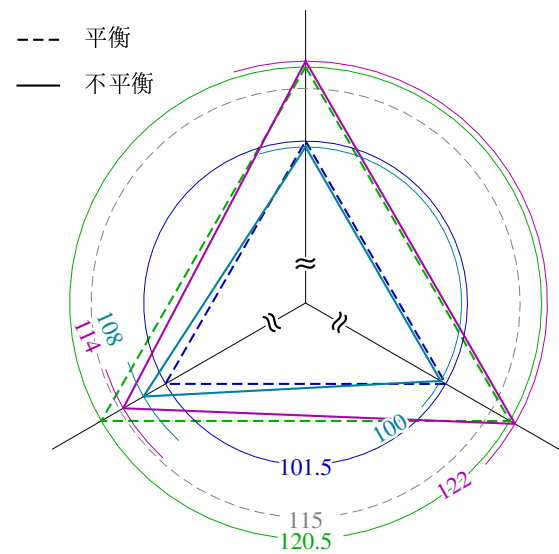


図 5: 電源入力 (AC) — 正常動作条件 — 3 相電源の電圧の範囲 (A(CF), A(NF) の非常用電源、A(WF))

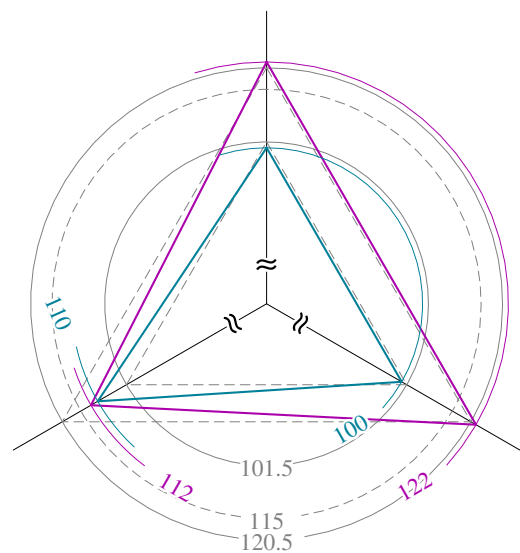


図 6: 電源入力 (AC) — 正常動作条件 — 3 相電源の電圧の範囲 (A(WF) の非常用電源)

3.1.3 周波数変調

図 9 のように電源電圧の周波数を 0.014~100 Hz の変調周波数で周波数変調した時、機器は該当する性能規格の範囲内で動作しなければならない。

周波数偏差の大きさは図 10 のように変調周波数に対するカーブとして規定されており、最大は変調周波数 0.014 Hz の場合の ± 4.9 Hz となる。

試験は、少なくとも図 10 で示した一連の変調周波数で、それぞれ 5 サイクル (変調周波数 0.014 Hz

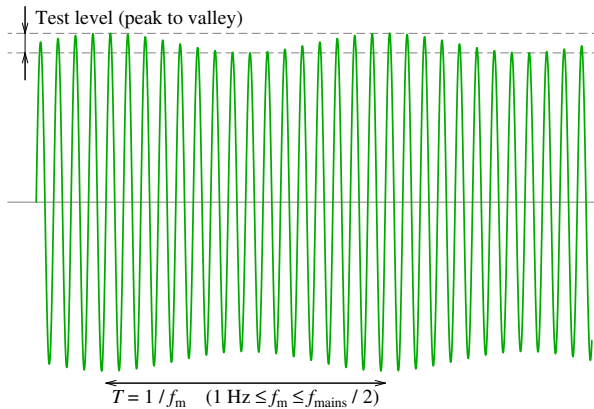


図 7: 電源入力 (AC) — 正常動作条件 — 電圧変調

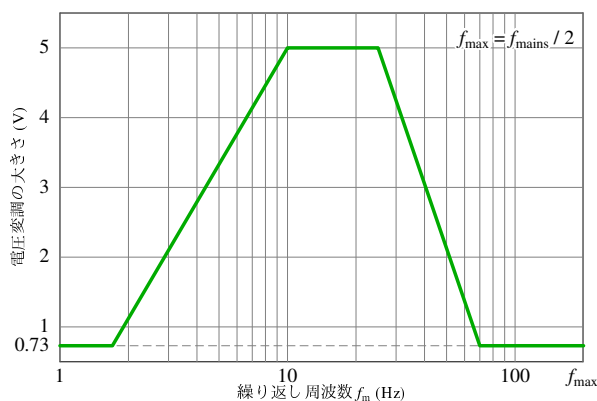


図 8: 電源入力 (AC) — 正常動作条件 — 電圧変調の大きさ

の場合は約 6 分)、30 秒、あるいは機器の仕様で規定された時間のいずれか長い時間以上印加することで行なう。

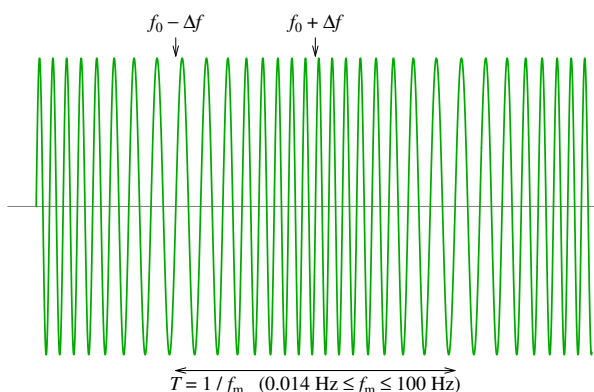


図 9: 電源入力 (AC) — 正常動作条件 — 周波数変調

この試験で模擬される現象は、例えば発電機（主エンジンから調速機を介して駆動される、あるいは APU に装備された）の速度の揺らぎによって引き

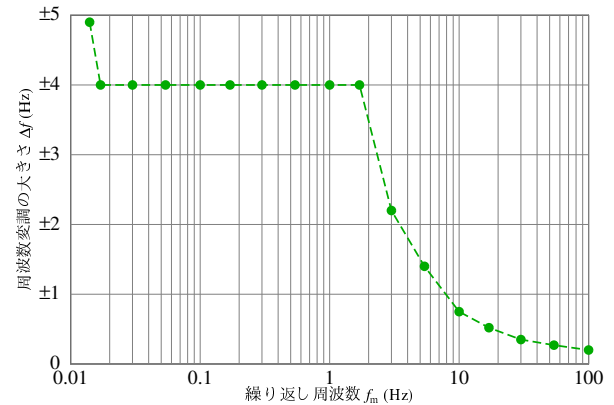


図 10: 電源入力 (AC) — 正常動作条件 — 周波数変調の大きさ

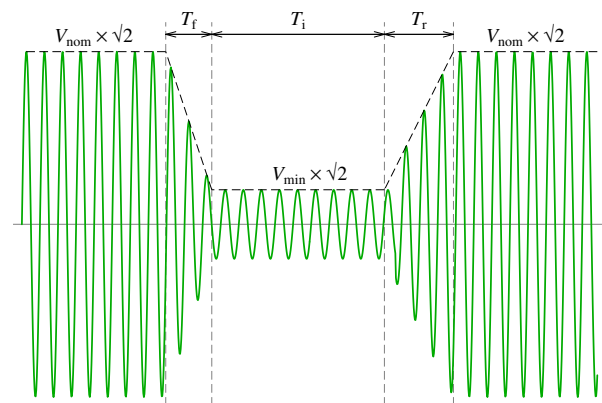
起こされることがある。

3.1.4 一時的な停電

規定された一連のパターンに従って、それぞれの条件について少なくとも 2 回ずつ電源電圧を低下させる (図 11, 表 1)。

さらに、A(NF)、及び A(WF) の機器については、図 12 に示すような周波数変動を伴う試験を追加で行なう。

妨害の印加後、該当する性能規格に従って適合性を判断する。個々の仕様で規定されていない限り、手動でのリセットは許容されない。



パラメータは 表 1 を参照

図 11: 電源入力 (AC) — 正常動作条件 — 一時的な停電

この試験で模擬される現象は、例えば電源の主エンジンの発電機と APU とのあいだでの切り替え、あるいは機上の電源と外部電源とのあいだでの切り替えの際に生じることがある。

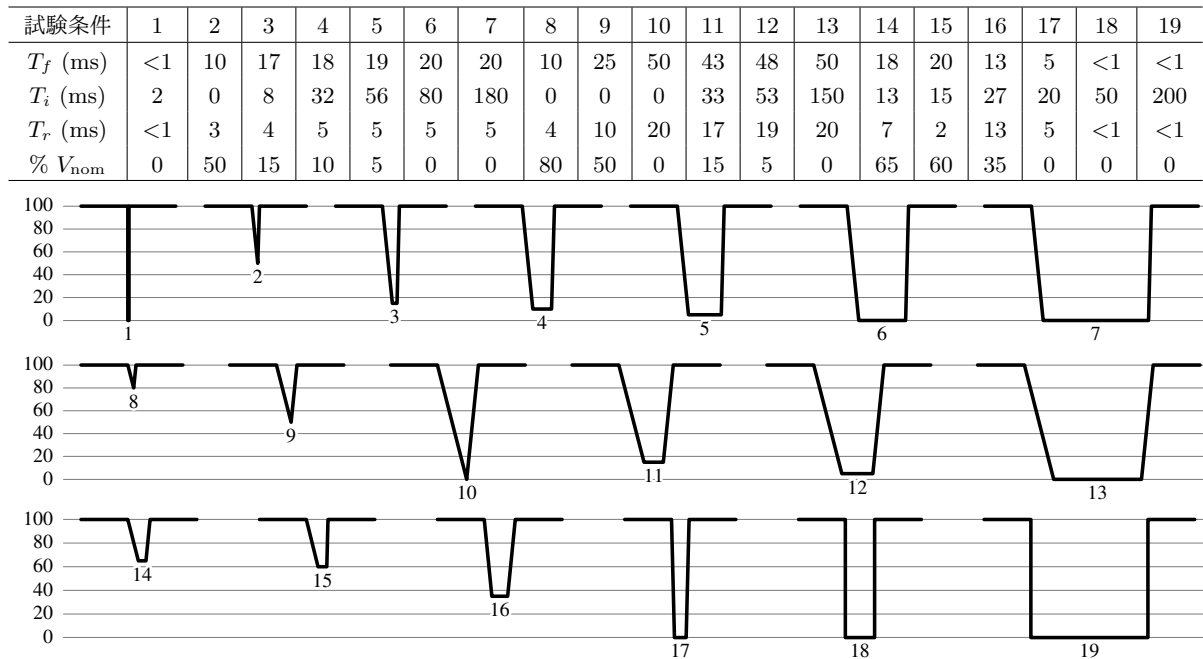


表 1: 電源入力 (AC) — 正常動作条件 — 一時的な停電の試験パラメータ (DO-160G Table 16-1)

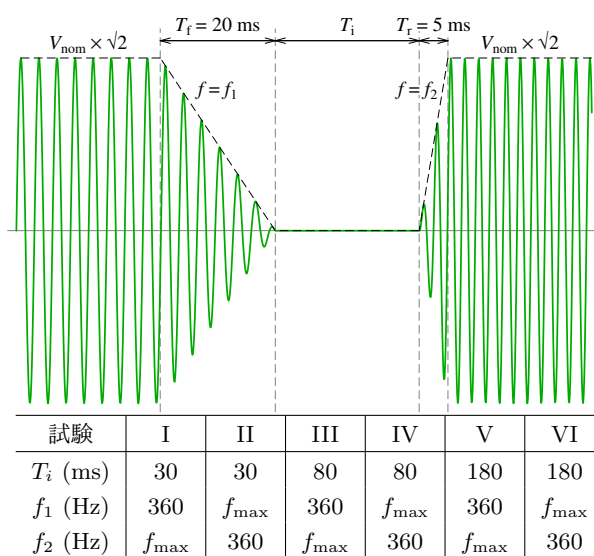
A(NF): $f_{max} = 650$ Hz, A(WF): $f_{max} = 800$ Hz

図 12: 電源入力 (AC) — 正常動作条件 — 一時的な停電, A(NF) と A(WF) の追加試験 (DO-160G Table 16-2)

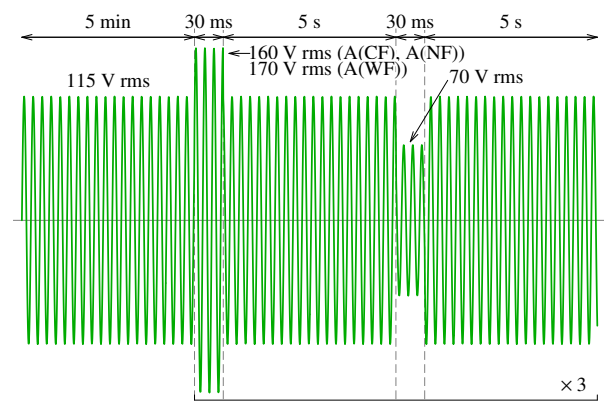


図 13: 電源入力 (AC) — 正常動作条件 — 通常のサージ電圧

3.1.5 通常のトランジェント

3.1.5.1 通常のサージ電圧

図 13 に図示するようなサージ (短時間の過電圧) を 3 回印加する。

この試験で模擬される現象は、例えば負荷の急変に対する発電の制御の遅れによって生じることがある。

3.1.5.2 通常の周波数トランジェント

電源周波数を図 14 に図示するようなパターンで 3 回変化させる。

この試験で模擬される現象は、例えばエンジンの速度の急変に対する調速機の応答の遅れによって生じることがある。

3.1.6 通常の周波数変動

電源周波数を図 15 に図示するようなパターンで 3 回変化させる。

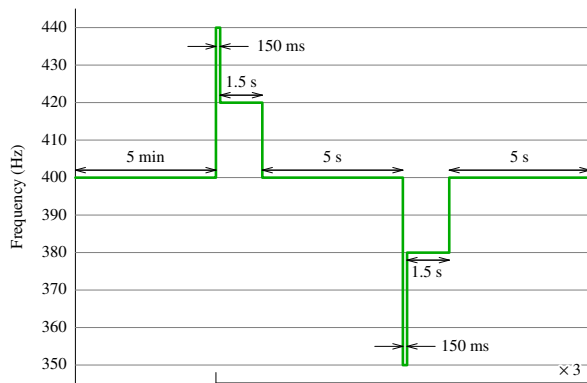


図 14: 電源入力 (AC) — 正常動作条件 — 通常の周波数トランジェント

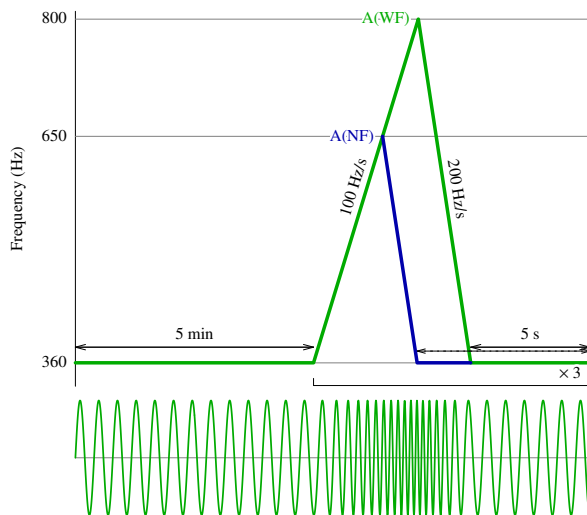


図 15: 電源入力 (AC) — 正常動作条件 — 通常の周波数変動

この試験で模擬される現象は、例えばエンジンの速度の変化によって生じることがある。

3.1.7 電圧 DC 成分

電源電圧に ± 0.2 V の DC 電圧を重畳させ、30 分以上動作させる。

この試験で模擬される現象は、例えば半波整流回路のような、電源電流波形が正負で異なる負荷によって引き起こされることがある。

3.1.8 電圧歪み

最小の電源電圧と周波数 (図 3) の、A(CF) と A(NF) の機器の場合は THD (総高調波歪み) が

8 %、A(WF) の場合は THD が 10 % となる歪んだ電源電圧波形で 30 分以上動作させる。

歪んだ電源電圧波形は、任意の電圧波形を生成できる電源装置が利用可能であればそれを用いて所望の電源波形を合成することで、あるいは例えば全波整流平滑回路を並列に接続する (図 16, 図 17) か電圧波形をクリップする (図 19) ことで得られるだろう。

正弦波をクリップする場合、8 % の THD は波形を 82 % でクリップすることで、また 10 % の THD は波形を 77.8 % でクリップすることで得られる。

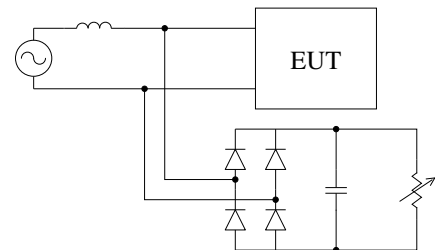


図 16: 電源入力 (AC) — 正常動作条件 — 電圧歪みの発生のための回路の例

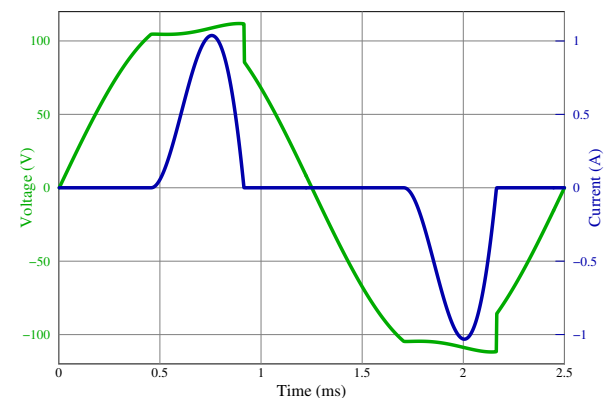


図 17: 電源入力 (AC) — 正常動作条件 — 全波整流回路による電流波形と電圧歪みの例

この試験で模擬される現象は、例えば整流平滑回路や位相制御回路のような非線型負荷によって引き起こされることがある。

3.2 異常動作条件

3.2.1 安定状態での異常な電圧と周波数の限界

単相電源の場合、規定された異常な電源電圧範囲の上限と下限 (134 V と 97 V) で最大のデューティ・サイクルで 5 分以上動作させた後、電源を

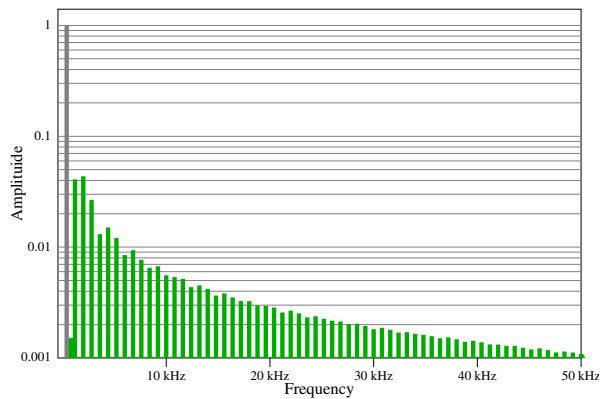


図 18: 電源入力 (AC) — 正常動作条件 — 図 17 の電圧波形の高調波

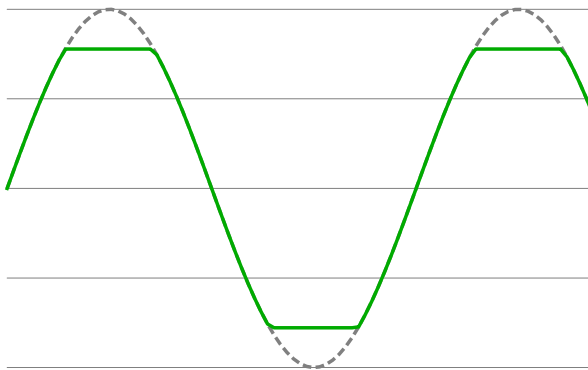


図 19: 電源入力 (AC) — 正常動作条件 — クリップされた電圧波形

入れたままで通常の電源電圧 (115 V) に戻し、該当する性能規格に従って適合性を判断する。

A(CF) の単相機器の場合、これに加えて、通常の電源電圧範囲の下限 (100 V) と上限 (122 V)、また異常な周波数範囲の下限 (370 Hz) と上限 (430 Hz) のそれぞれの組み合わせ (図 20 でも試験する。

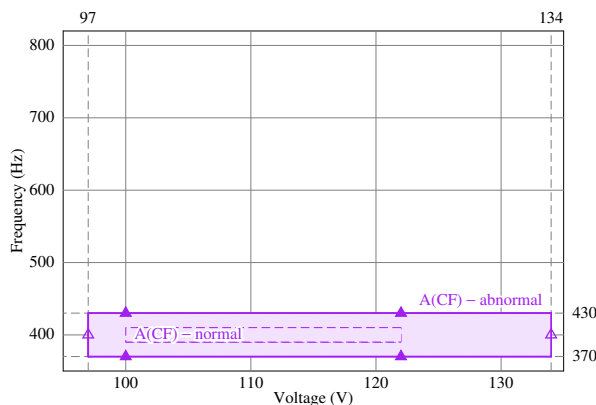


図 20: 電源入力 (AC) — 異常動作条件 — 電源電圧と電源周波数の範囲 (A(CF))

3 相電源の場合、電源電圧範囲の下限と上限で、また相電圧を不平衡とした状態で同様に試験する (図 21)。図 21 で示した電圧は A(CF) と A(NF) に対するもので、A(WF) の場合は 128 V の代わりに 126 V、103 V の代わりに 105 V とする。

また、A(CF) の 3 相機器の場合、これに加えて、図 22 に示す電圧で、370 Hz と 430 Hz でも同様に試験する。

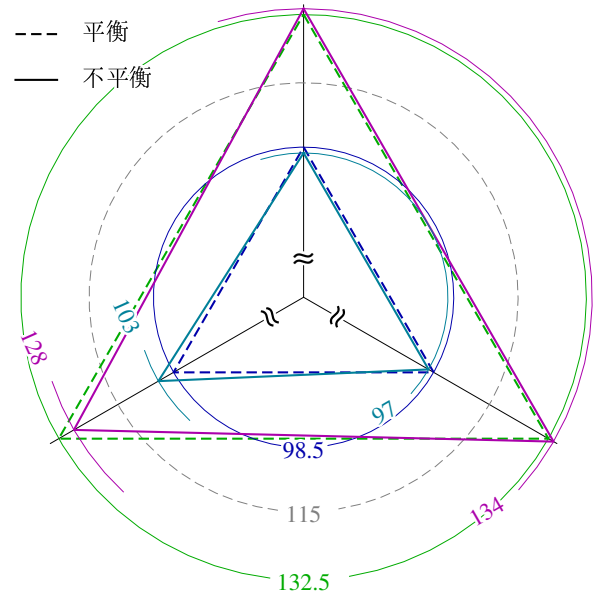


図 21: 電源入力 (AC) — 異常動作条件 — 3 相電源の電圧の範囲

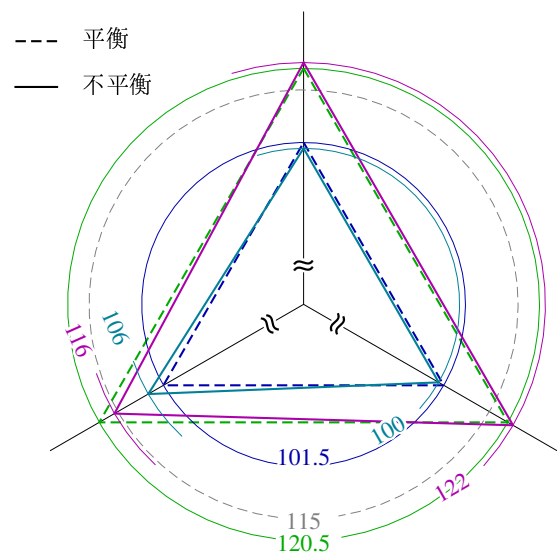


図 22: 電源入力 (AC) — 異常動作条件 — 3 相電源の電圧の範囲 (A(CF) の追加の要求)

3.2.2 一時的な不足電圧動作

図 23 のように電源電圧を 60 V rms、あるいは機器の仕様で規定された値まで 7 秒間低下させ、通常の電源電圧範囲内に戻した後、該当する性能規格に従って適合性を判断する。

さらに、10 V rms までの低下で同様に試験を行なう。

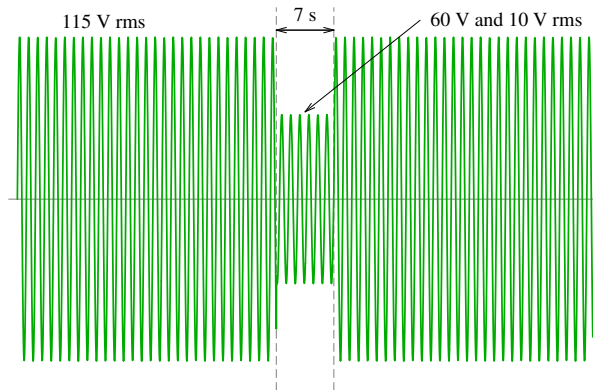


図 23: 電源入力 (AC) — 異常動作条件 — 一時的な不足電圧動作

3.2.3 異常なトランジェント

3.2.3.1 異常なサージ電圧

図 24 に図示するようなサージ (短時間の過電圧) を、単相電源の場合は 3 回 (図 25)、3 相電源の場合は各相に 1 回ずつと全相同時に 1 回 (図 26)、10 秒間隔で印加する。

妨害の印加後、該当する性能規格に従って適合性を判断する。

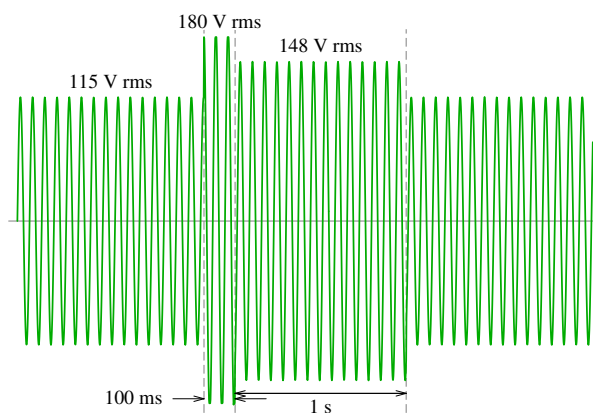


図 24: 電源入力 (AC) — 異常動作条件 — 異常なサージ電圧

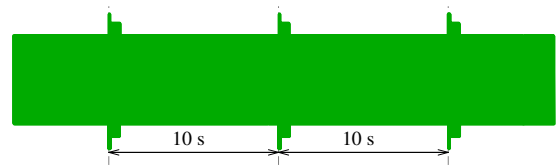


図 25: 電源入力 (AC) — 異常動作条件 — 異常なサージ電圧 (単相)

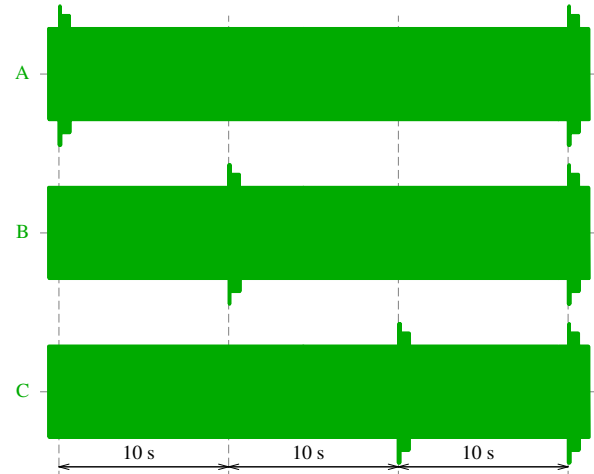


図 26: 電源入力 (AC) — 異常動作条件 — 異常なサージ電圧 (3 相)

3.2.3.2 異常な周波数トランジェント

図 27 ～図 29 で示すような電源周波数の変動を 3 回発生させた後、該当する性能規格に従って適合性を判断する。

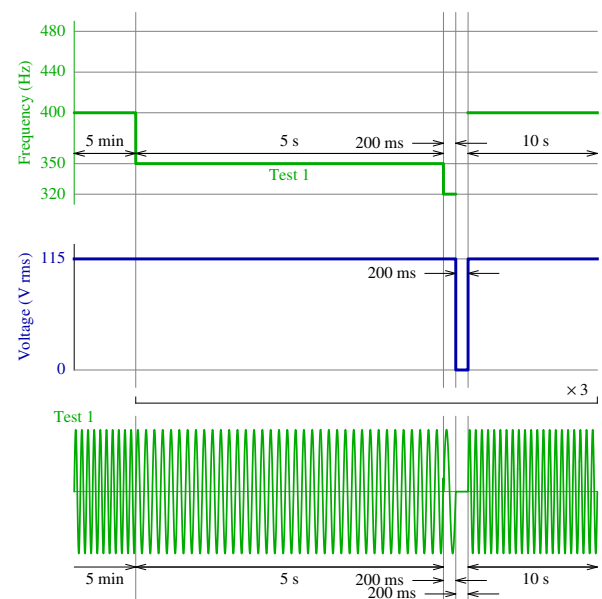


図 27: 電源入力 (AC) — 異常動作条件 — 異常な周波数トランジェント (Test 1)

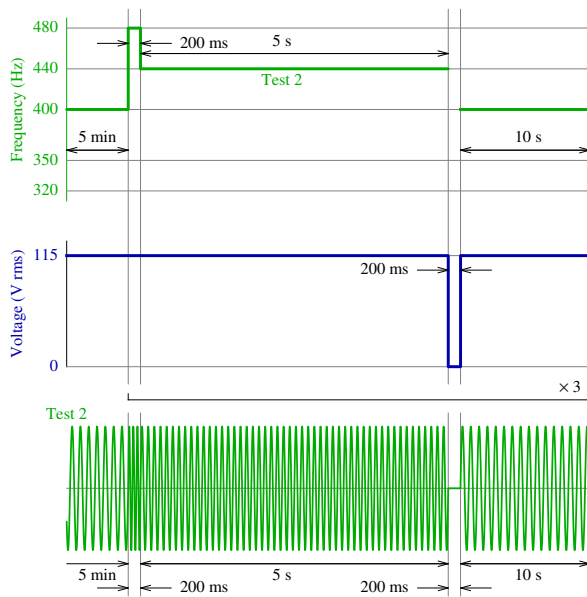


図 28: 電源入力 (AC) — 異常動作条件 — 異常な周波数トランジェント (Test 2)

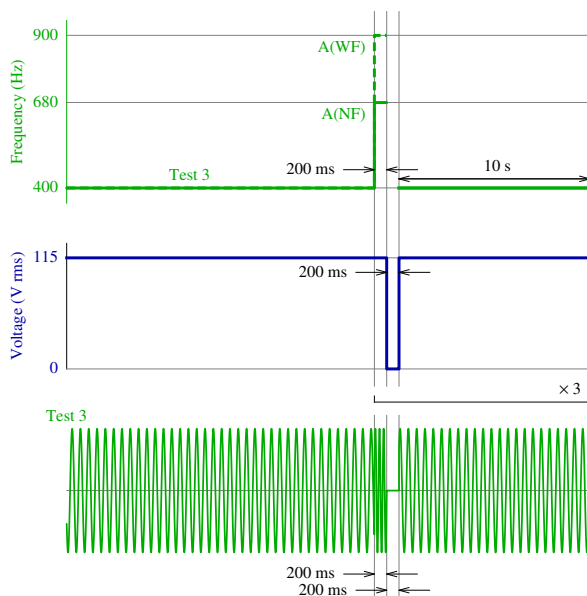


図 29: 電源入力 (AC) — 異常動作条件 — 異常な周波数トランジェント (Test 3)

3.2.4 異常な周波数変動

電源周波数を図 30 のように変化させた後、該当する性能規格に従って適合性を判断する。

周波数を変動させる範囲は通常の電源周波数の範囲 (図 3) で、これは通常の周波数変動 (§3.1.6) と同様であるが、この試験では通常の周波数変動よりも周波数の変化率が高くなっている。

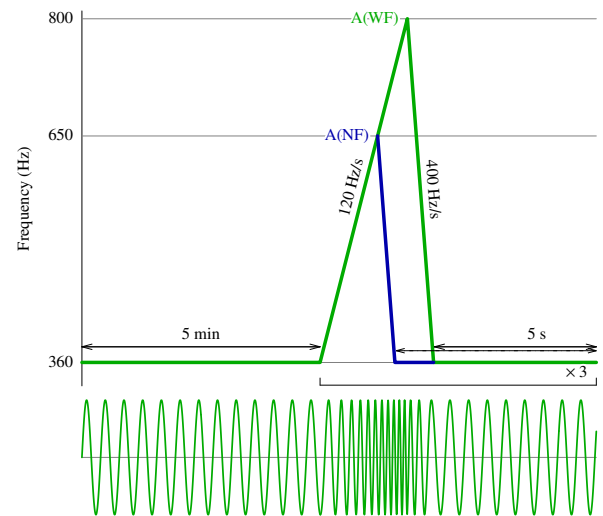


図 30: 電源入力 (AC) — 異常動作条件 — 異常な周波数変動

3.2.5 3 相電源の欠相

図 31 ～ 図 34 のように、3 相全てに給電した状態、また給電を切った状態から、1 相、また 2 相を欠相させ、30 分以上動作させる。

相 X は単一の相の欠相で最も障害を生じやすい、また相 Y と Z は 2 つの相の欠相で最も障害を生じやすいものを選択し、試験報告書にその選択の根拠を示す。

妨害の印加後、該当する性能規格に従って適合性を判断する。個々の仕様で禁じられていない限り、手動でのリセットを行なっても良い。

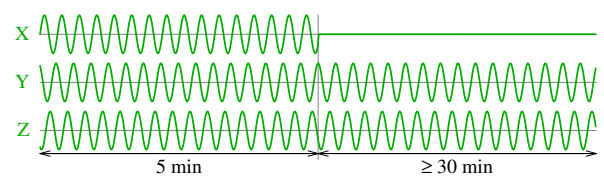


図 31: 電源入力 (AC) — 異常動作条件 — 3 相電源の欠相 (a)

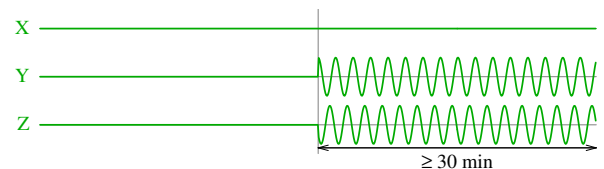


図 32: 電源入力 (AC) — 異常動作条件 — 3 相電源の欠相 (b)

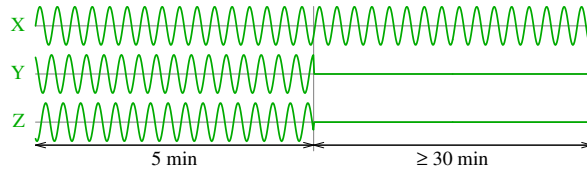


図 33: 電源入力 (AC) — 異常動作条件 — 3 相電源の欠相 (c)

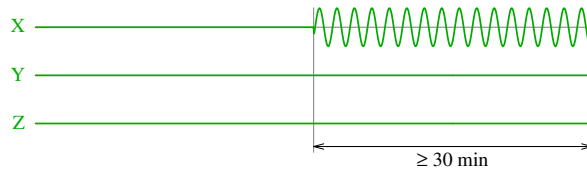


図 34: 電源入力 (AC) — 異常動作条件 — 3 相電源の欠相 (d)

4 DC 電源

これらの試験は DC 電源から給電される機器の動作への電源条件の影響を評価するものであり、正常動作条件では機器は妨害の印加中、及び印加後に、また異常動作条件では妨害の印加後に、該当する性能規格に従って機能することが必要となる。

特に規定されない限り、試験は定格電圧で行なう。また、試験対象の機器は最大のデューティ・サイクルで動作させる。

ここで示した試験レベルは電源電圧が公称 28 V^{†4} と 270 V の場合のもので、電源電圧が公称 14 V の場合はこれと異なる試験レベルが適用される。

4.1 正常動作条件

4.1.1 電圧

規定された電源電圧範囲の下限と上限で最大のデューティ・サイクルで 30 分以上動作させ、その状態での動作を確認する。

非常電源で動作するように設計された機器は、非常電源に対して規定された電源条件についても同様に試験する。

また、カテゴリ D 機器については、電源電圧範囲の上限で、電源のプラス側、またマイナス側を接地電位とした状態でも同様に試験する。

妨害の印加中、該当する性能規格に従って適合性を判断する。

^{†4} この規格での公称 28 V の直流電源は自動車分野で公称 24 V と呼ばれるものと概ね同等である。

公称電圧	DC 28 V	DC 270 V
最大	30.3 V	285 V
最小	22.0 V	235 V
非常電源	18.0 V	235 V

4.1.2 リップル電圧

直流電源上のリップル (図 35) に対する試験は DO-160G の §16.3 で述べられており、これについてはこのシリーズの Part 2^[5] で述べた。

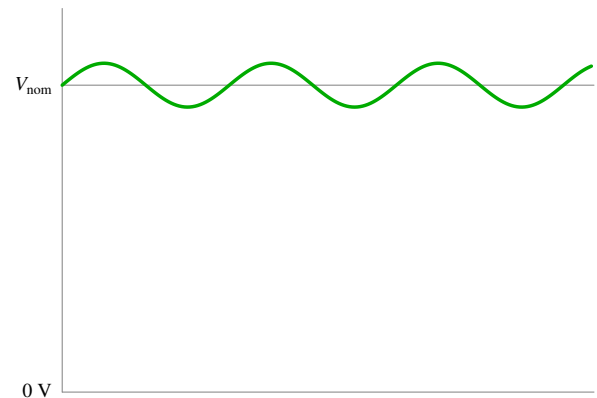


図 35: 電源入力 (DC) — 正常動作条件 — リップル電圧

4.1.3 一時的な停電

4.1.3.1 デジタル回路を含む機器に対する要求

電源電圧を規定された一連のパターンに従って低下させる (図 36, 表 2)。

それぞれの条件で電圧低下を少なくとも 2 回印加し、妨害の印加後、該当する性能規格に従って適合性を判断する。個々の仕様で規定されていない限り、手動でのリセットは許容されない。

4.1.3.2 全ての機器に対する要求

図 37 のような短時間の停電を 5 回以上発生させる。全ての機器について $T_i = 50 \text{ ms}$ で試験し、さらにカテゴリ A と D の機器については $T_i = 200 \text{ ms}$ でも、またカテゴリ Z の機器については $T_i = 1 \text{ s}$ でも同様に試験する。

妨害の印加後、該当する性能規格に従って適合性を判断する。個々の仕様で規定されていない限り、手動でのリセットは許容されない。

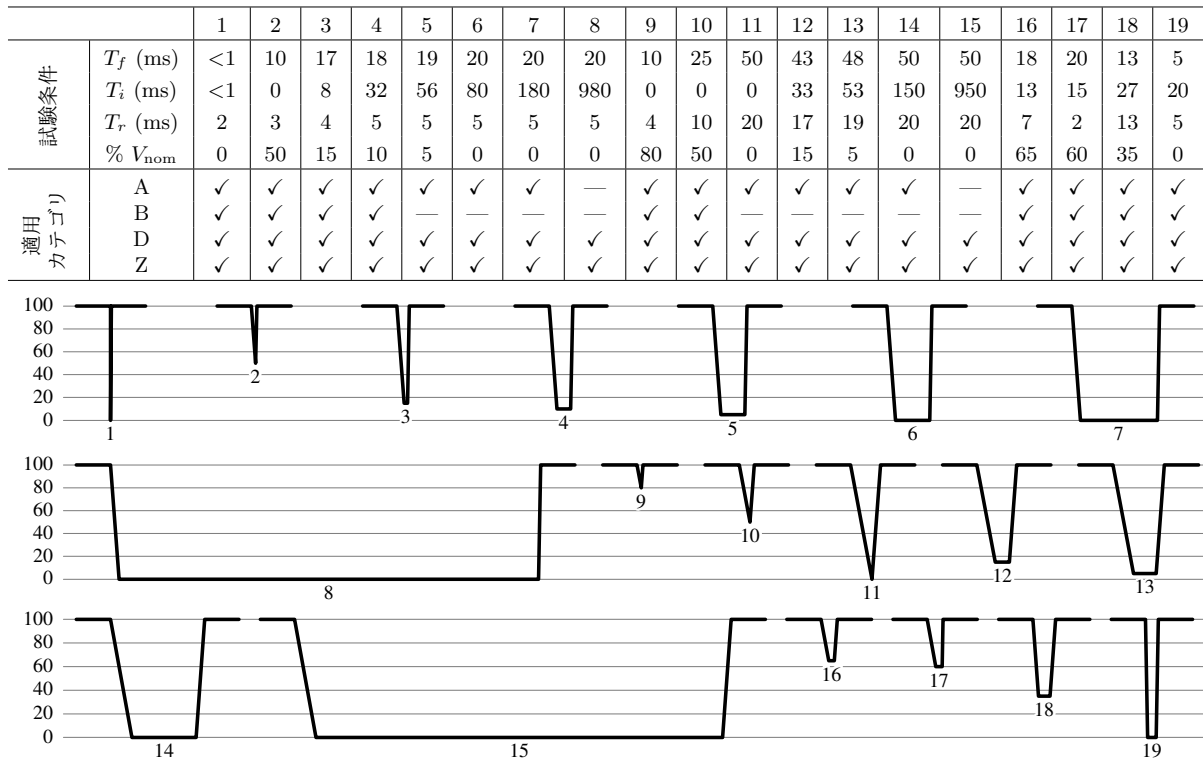
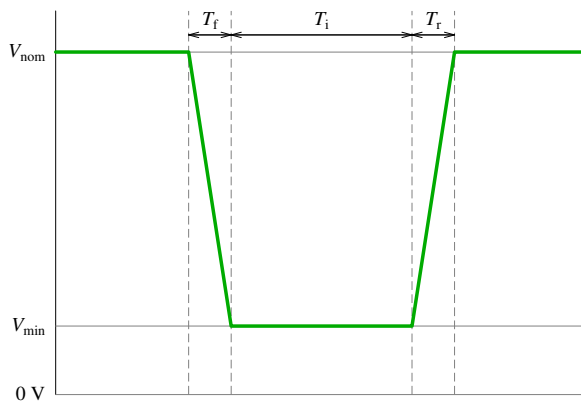


表 2: 電源入力 (DC) — 正常動作条件 — 一時的な停電 — デジタル回路を含む機器に対する試験パラメータ (図 36, DO-160G Table 16-3)



パラメータは表 2 を参照

図 36: 電源入力 (DC) — 正常動作条件 — 一時的な停電 — デジタル回路を含む機器に対する試験

4.1.3.3 デジタル/メモリ・デバイスを含む DC 機器の二重停電試験

規定された一連のパターンに従って、電源を $T_2 = 10$ ms、及び $T_2 = 50$ ms の間隔で 2 回停電させる (図 38, 表 3)。

妨害の印加後、該当する性能規格に従って適合性を判断する。個々の仕様で規定されていない限り、手動でのリセットは許容されない。

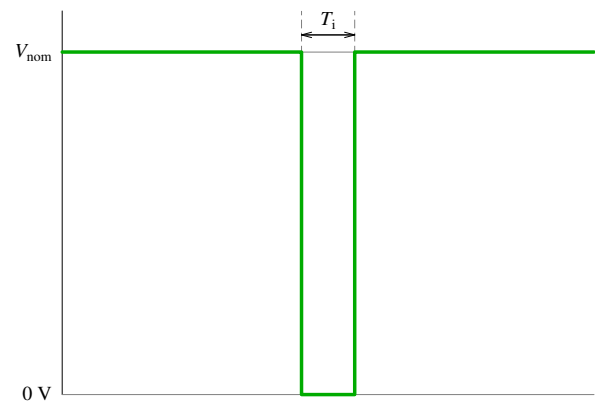


図 37: 電源入力 (DC) — 正常動作条件 — 一時的な停電 — 全ての機器に対する試験

4.1.4 通常のサージ電圧

公称 28 V の場合は図 39、公称 270 V の場合は図 40 のように電源電圧を変化させる。

妨害の印加中と印加後、該当する性能規格に従って適合性を判断する。

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
試験 条件	T_1 (ms)	9000	9000	10	10	10	20	20	20	20	50	50	50	50	100	100	150	150
	T_3 (ms)	20	50	10	50	100	10	50	100	170	10	50	100	140	50	90	10	40
適用 カテゴリ	A	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	B	✓	✓	✓	✓	—	✓	—	—	—	✓	✓	—	—	—	—	—	—
	D	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Z	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

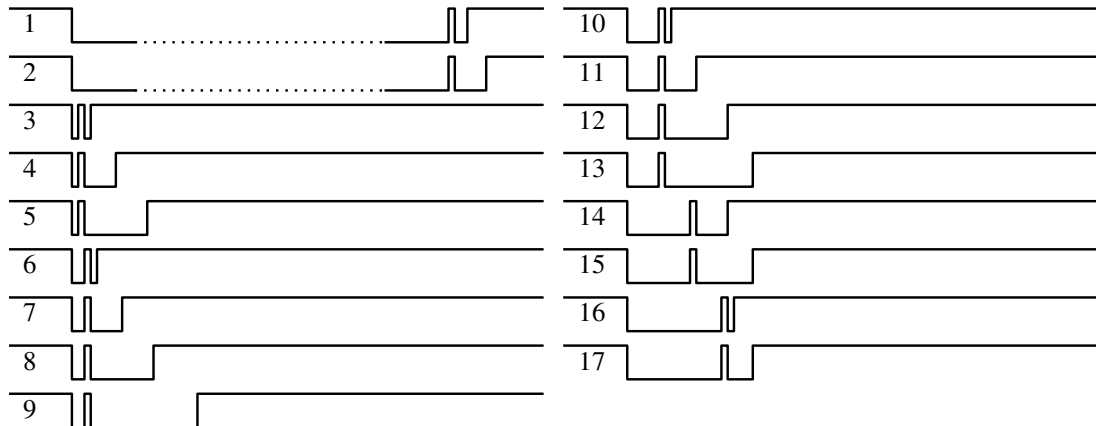
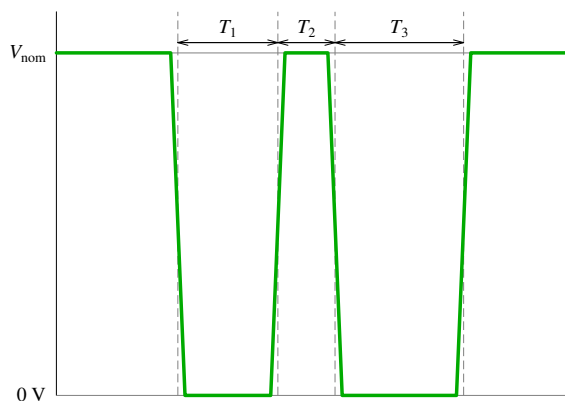


表 3: 電源入力 (DC) — 正常動作条件 — 一時的な停電 — 二重停電試験のパラメータ (図 38, DO-160G Table 16-7)



パラメータは表 3 を参照

図 38: 電源入力 (DC) — 正常動作条件 — 一時的な停電 — 二重停電試験

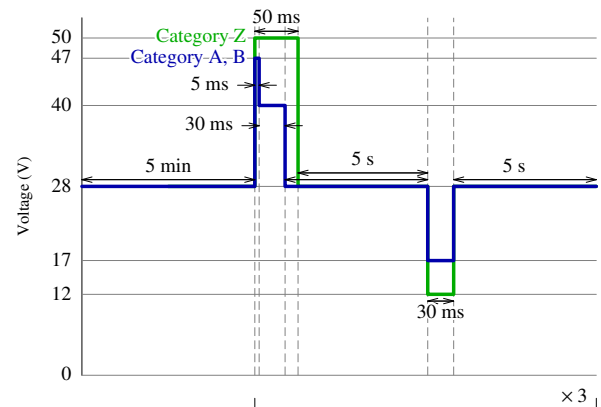


図 39: 電源入力 (DC) — 正常動作条件 — 通常のサージ電圧

4.1.5 エンジン始動不足電圧動作

この要求はカテゴリ Z と 28 V のカテゴリ B の機器に適用され、電源電圧を図 41 のように変化させた後、該当する性能規格に従って適合性を判断する。

この試験で模擬される現象は、例えば APU のエンジンをバッテリーで始動する際に引き起こされることがある。

4.1.6 露出電圧減衰時間

これは、この章で触れる他の試験 (機器の動作への電源条件の影響を評価する) と異なり、機器の使用や保守に際しての感電の防止を目的としたものとなる。

この要求はカテゴリ D (270 V) の機器にのみ適用され、以下のように、機器の露出した外面の電圧が感電の危険を生じないであろうレベルにあることを確認する:

- 機器への設置を代表するように設置した状態で 1 分以上動作させ、機器の露出した外面の

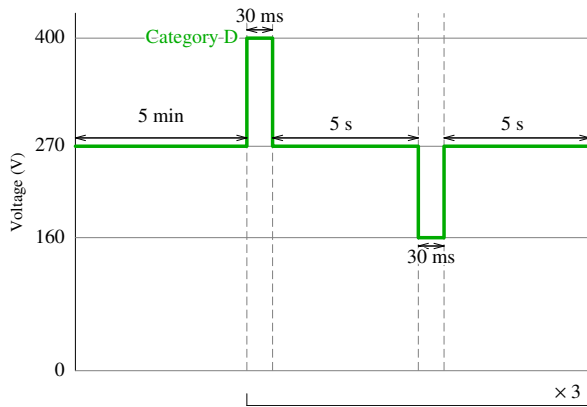


図 40: 電源入力 (DC) — 正常動作条件 — 通常のサージ電圧 (270 V)

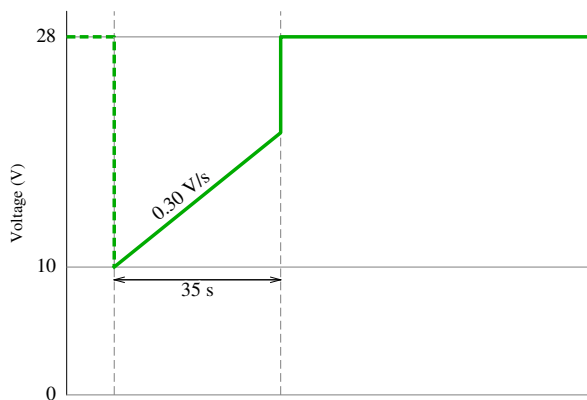


図 41: 電源入力 (DC) — 正常動作条件 — エンジン始動不足電圧動作

シャーンに対する電圧、また部分間の電圧が、ピークで 50 V 以内であることを確認する。

- 270 V のホットとリターンの端子を 10 MΩ 以上の電圧プローブでモニタしながら、1 分以上動作させる。

EUT へのホットとリターンのライン全てを突然切り離した後、機器を機体に取り付けた状態でコネクタを外すことで露出する箇所は 1 秒以内に、機体から外した時に露出する箇所は 10 秒以内にピークで 50 V 以内まで低下しなければならない。

- 機器に給電した状態で非動作状態にできる場合、非動作状態でも同様の測定を行なう。

4.2 異常動作条件

4.2.1 電圧安定状態

規定された異常な電源電圧範囲の上限と下限で最大のデューティ・サイクルで 5 分以上動作させた後、電源を入れたままで通常の電源電圧に戻し、該当する性能規格に従って適合性を判断する。

公称電圧	DC 28 V	DC 270 V
最大	32.2 V	320 V
最小	20.5 V	220 V

4.2.2 低電圧条件

電源電圧を図 42 のように緩やかに低下させた後、通常の電源電圧に戻し、該当する性能規格に従って適合性を判断する。

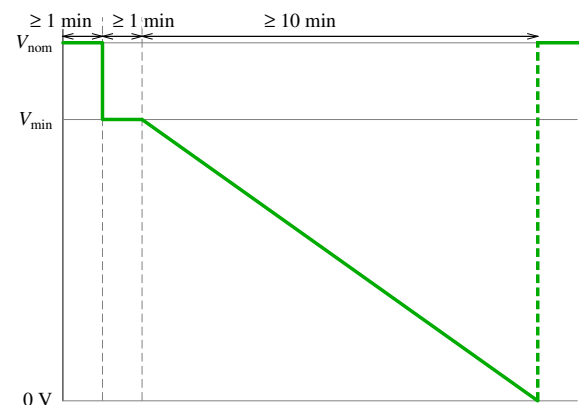


図 42: 電源入力 (DC) — 正常動作条件 — 低電圧条件

4.2.3 一時的な不足電圧動作

図 43 のように電源電圧を低下させた後、電源を入れたままで通常の電源電圧に戻し、該当する性能規格に従って適合性を判断する。

4.2.4 異常なサージ電圧

電源電圧を図 44 のように変化させた後、該当する性能規格に従って適合性を判断する。

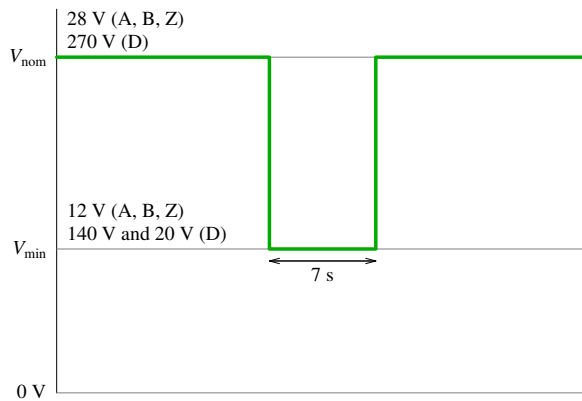


図 43: 電源入力 (DC) — 正常動作条件 — 一時的な不足電圧動作

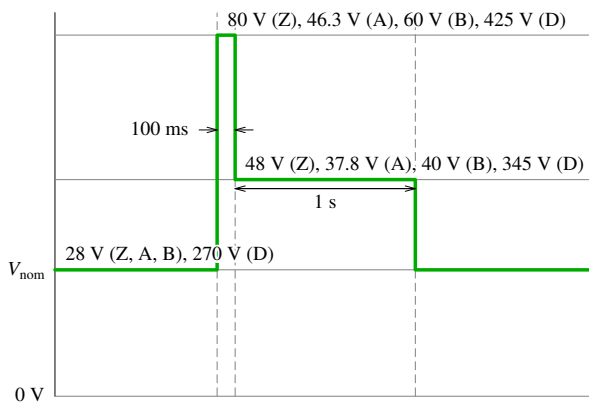


図 44: 電源入力 (DC) — 正常動作条件 — 異常なサージ電圧

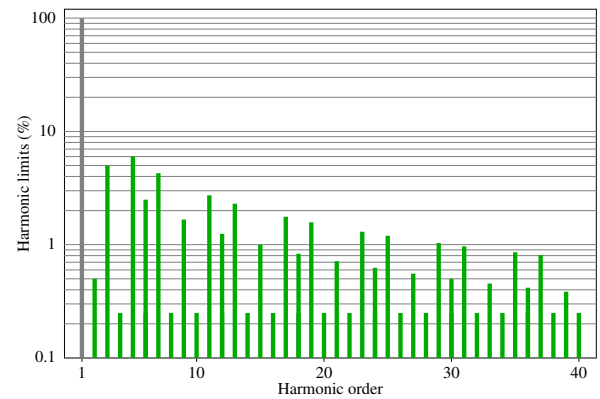


図 45: 電源入力 (AC) — 航空機電源システムへの負荷機器の影響 — 電流高調波限度 (単相)

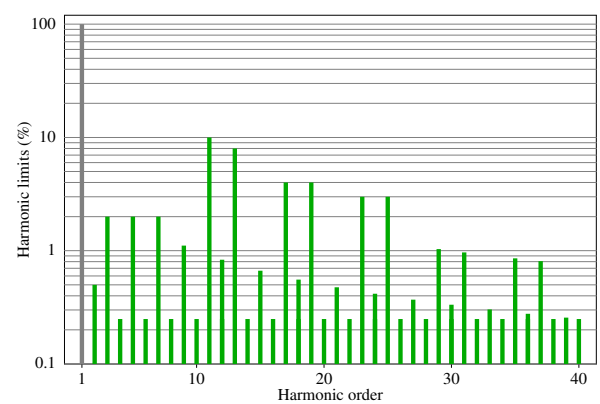


図 46: 電源入力 (AC) — 航空機電源システムへの負荷機器の影響 — 電流高調波限度 (3 相)

5 負荷機器の航空機電源システムへの影響

5.1 高調波電流エミッション (AC)

低歪み (THD < 1.25 %) の電源から給電した時、及び歪んだ電源 (A(CF) と A(NF) で THD 8 %、A(WF) で THD 10 %) から給電した時の電源高調波電流は、図 45 や 図 46 に示した限度よりも対応する個別電圧高調波 1 % について 1.25 % よりも大きくなってはならない。

5.2 位相不平衡 (3 相 AC)

3 相機器の場合、相による電力の差は図 47 に示した値を超えてはならない。

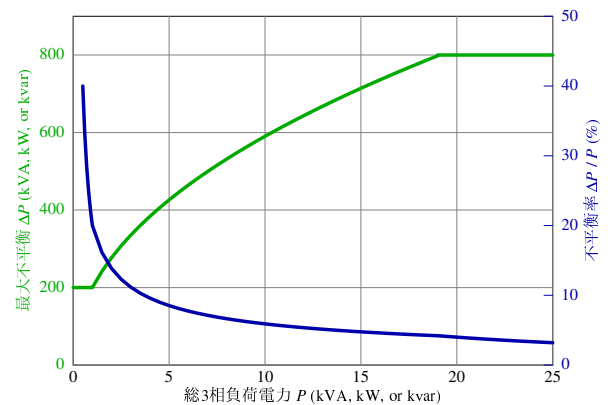


図 47: 電源入力 (AC) — 航空機電源システムへの負荷機器の影響 — 位相不平衡 (3 相)

5.3 DC 電流成分 (AC)

電源電流の直流成分は 5 mA と機器電流の最大実効値の 2 % のいずれか大きい方を超えてはならない。

5.4 回生エネルギー (DC)

DO-160G Figure 16-12 で示されているように低リップルの電源からダイオードを介して給電した時、EUT の電源入力に接続した 10 μ F のコンデンサの両端にピーク-ピークで 8 V を超える電圧を生じてはならない。

5.5 突入電流 (AC, DC)

電源投入時、また短時間停電からの復電時の突入電流が過大とならないことを確認するためのもので、5 分以上電源を切った状態から電源を入れた時 (試験条件 1)、また電流が最大となる動作モードで安定状態に達した後に 200 ms のあいだ電源電圧を公称電圧の 5 % 以下まで低下させて公称電圧に戻した時 (試験条件 2) の電流は最大安定状態電流を 1 として図 48 の値を超えてはならない。

測定は、電源電圧の 3.3~3.6 % の電圧降下を生じるような抵抗 (電源電圧に応じて規格で規定されている) を介して給電した状態で行なう。

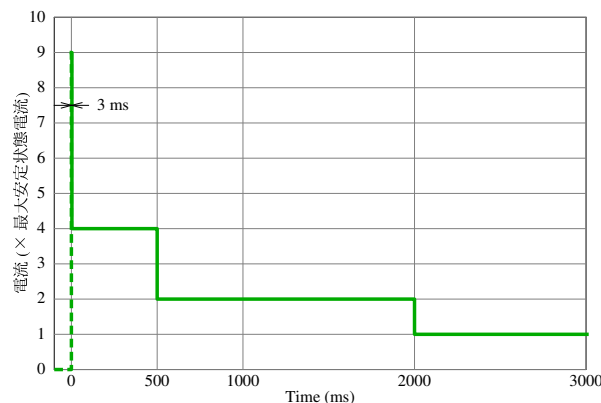


図 48: 電源入力 — 航空機電源システムへの負荷機器の影響 — 突入電流限度

5.6 電流変調 (AC)

機器が安定した後の電源電流の変動の幅は、1 kVA 未満の機器では最大安定状態電流の実効値の 0.28 倍、1 kVA 以上の機器では 0.14 倍を超えてはならない。

5.7 DC 電流リップル試験 (DC)

電源電流のリップル (変動分) は次の値を超えてはならない。

電源	同種の機器の総電力	個々の機器の電流リップル / 最大 DC 電流
28 V	400 W~1 kW	0.140
	> 1 kW	0.070
270 V	< 1 kW	0.280
	1~10 kW	0.140
	> 10 kW	0.070

5.8 力率 (AC)

モータ負荷の安定状態での力率^{†5}は図 49、その他の負荷の力率は図 50 のカーブ以上でなければならない。

この測定は以下の電源周波数で、また公称 230 V 単相の場合は 200 V と 244 V の電源電圧で行なう:

- A(CF) — 400 Hz
- A(NF) — 360, 400, 500, 600, 650 Hz
- A(WF) — 360, 400, 500, 600, 650, 700, 800 Hz

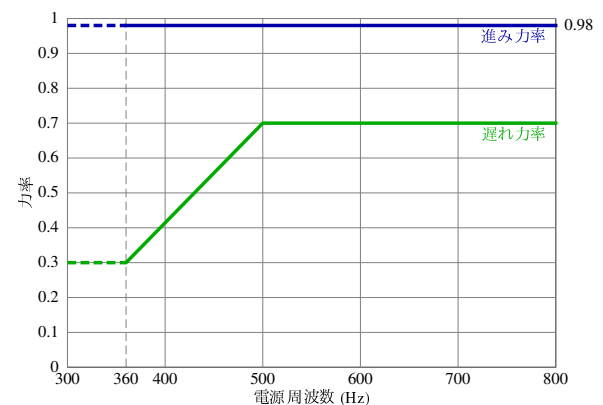


図 49: 電源入力 — 航空機電源システムへの負荷機器の影響 — 力率の下限 (モータ負荷)

^{†5} 力率は有効電力の皮相電力に対する比率で、誘導性負荷、例えば交流電源で直接駆動される交流モータの場合は遅れ力率となり、力率は電流の位相の遅れに伴って低下する。容量性負荷の場合は逆に進み力率となり、力率は電流の位相の進みに伴って低下する。整流平滑回路のような非線型負荷 (図 17) の場合も、その電流波形に応じて力率が低下する。

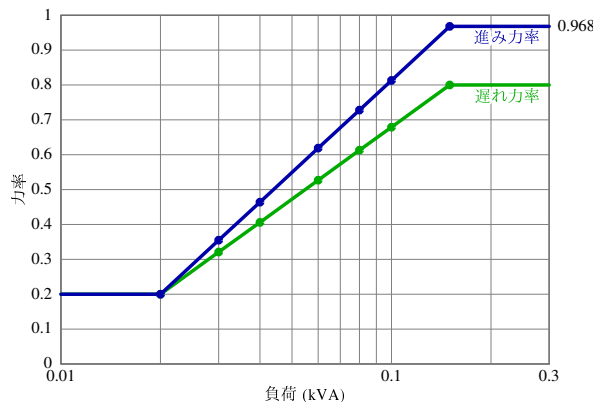


図 50: 電源入力 — 航空機電源システムへの負荷機器の影響 — 力率の下限 (その他の負荷)

6 補足

6.1 航空機の電源の例

大型機の電源は電源の全喪失を防ぐために高度に冗長化されており、例えば次のようになっている。

通常の運行時の電力は左右の主エンジンに装備された交流発電機から供給される。主エンジンの回転数は広い範囲で変動するが、エンジンと発電機のあいだには調速機 (定速駆動装置; CSD) が入れられており、発電機の出力は 400 Hz 前後に維持される。この発電機の障害時には、主エンジンに取り付けられたバックアップ発電機から電力を供給できる。

主エンジン停止時には小型のエンジンを備えた APU (補助動力装置) から、あるいは駐機時であれば地上設備から電力を供給することができる。APU の始動はバッテリーで行なわれ、このバッテリーは上記の全ての発電機が機能を失った時の非常用電源としての役割も果たす。

さらに、飛行中にこれら全ての発電機が機能を失った時に最小限の動力を供給するため、小型のプロペラを機外に展開して風力から動力を得る RAT (ラムエア・タービン) が装備されている。

航空機の通常の運用の中で、また障害発生時に電源の切り替えが必要となるが、この切り替えの際に一時的な電圧低下や停電、また周波数変動が生じることがあり、上で述べた試験のいくつかはその現象を模擬するものとなっている。

7 参考資料

- [1] RTCA DO-160G, *Environmental Conditions and Test Procedures for Airborne Equipment*, RTCA, Inc., 2010
- [2] MIL-STD-461G, *Requirements for the Control of Electromagnetic Interference Characteristics of Subsystems and Equipment*, Department of Defense, 2015
- [3] FAA Advisory Circulars AC 21-16G, *RTCA Document DO-160 versions D, E and F, "Environmental Conditions and Test Procedures for Airborne Equipment"*,
<https://www.faa.gov/documentLibrary/media/AdvisoryCircular/AC.21-16G.pdf>
- [4] 装備品等型式及び仕様承認に係る一般方針, 平成 17 年 4 月 26 日制定, 平成 23 年 6 月 30 日一部改正 (国空機第 282 号), 国土交通省航空局安全部航空機安全課長
<http://www.mlit.go.jp/notice/noticedata/pdf/201107/00005485.pdf>
- [5] 航空用機器の EMC — DO-160G の概要, 株式会社 e・オータマ 佐藤, 2020,
<https://www.emc-ohtama.jp/emc/reference.html>

- Part 1: 無線周波サセプティビリティ、及びエミッション
- Part 2: 電圧スパイク、音声周波伝導サセプティビリティ、及び誘導信号サセプティビリティ
- Part 3: 雷誘導トランジェント・サセプティビリティ、及び静電気放電
- Part 4: 雷の直接的な影響