

方形波インパルス・ノイズ・イミュニティ試験 — NECA TR-28 の概要

株式会社 e・オータマ 佐藤智典

2025 年 2 月 21 日

目次

1	概要	1
1.1	背景	1
1.2	方形波インパルス・ノイズ発生器の原理	2
2	NECA TR-28	2
2.1	方形波インパルス・ノイズ発生器の特性	2
2.2	方形波インパルス・ノイズ発生器の検証	3
2.3	試験セットアップ	3
2.4	電源線への結合	4
2.5	信号線などへの結合	5
3	補足	5
3.1	IEC 61000-4-4 との比較	5
3.2	立ち上がり時間	7
3.3	JEC-2501 (保護継電器の電磁両立性試験)	7
4	参考資料	7

1 概要

電源線やその他のケーブルに重畳するノイズに対するイミュニティ試験法の 1 つに、方形波インパルス・ノイズを用いた試験法がある。

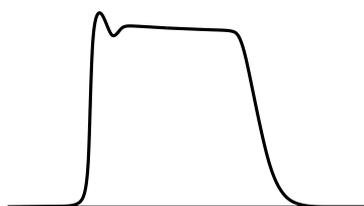
本稿では、この試験法について述べた文書の 1 つである NECA TR-28^[1] について解説する。なお、本稿はこの文書や試験法全てをカバーするものではなく、また正確であるとも限らない。また、この試験法を用いた規格も NECA TR-28 を参照しているとは限らない。この試験法についての正確な情報は関連する公式な文書を参照していただきたい。

1.1 背景

方形波インパルス・ノイズ・イミュニティ試験は、立ち上がりが早く広いスペクトラム^{†1}を持つ、また振幅やパルス当りのエネルギーが比較的大きい方形波のインパルス・ノイズを試験対象の機器の電源線やその他のケーブルに注入してイミュニティ試験を行なうものである。

この方形波インパルス・ノイズは実際のノイズ波形を模擬したものではないが、この試験の結果が良好な機器は一般に現場での耐ノイズ性も良好であると認識されている。

この試験法は、広く用いられている IEC 61000-4-4 (EFT/B)^{[2][3]} と同様に電力のスイッチングで発生するような振幅の大きいインパルス性のノイズに対するイミュニティの評価のために用いることができるが、この試験法では IEC 61000-4-4 では検出できない問題を検出できる場合もあることも知られている。



^{†1} [4] などで示されているように、低い周波数から数百 MHz で有意なレベルの。

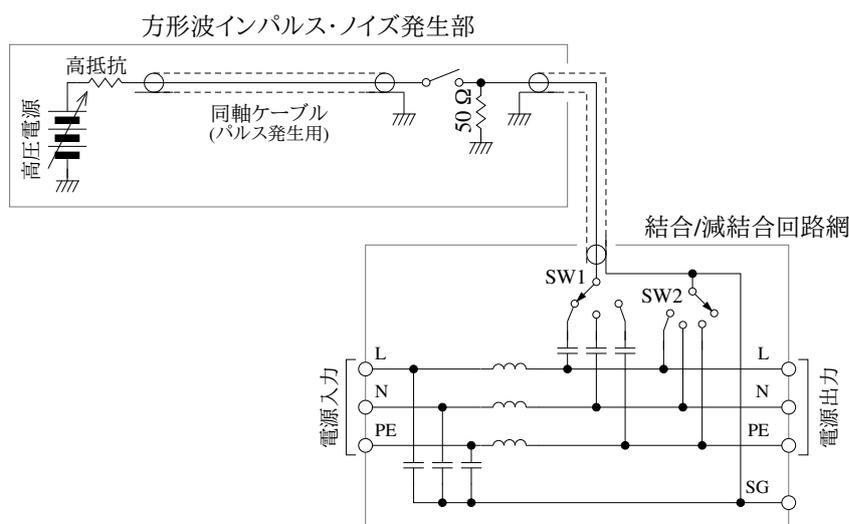


図 1: 方形波インパルス・ノイズ試験器の原理

これは EMC の黎明期に開発された、実績のある試験法であるが、国際規格としては採用されておらず、試験器の供給も限られている。だが、この試験法は例えば

- JEC-2501 (2010)^[5] — 保護継電器の電磁両立性試験 (電気学会)
- J1000 (H14) — 遠隔操作機構を有するものに対する要求事項 (経済産業省)^{†2}
- JIS C 1271-1:2011 — 交流電子式電力量計 - 精密電力量計及び普通電力量計 - 第 1 部: 一般仕様

などで用いられている他、しばしば主に日本国内の製造業者によって自主的に用いられている。

1.2 方形波インパルス・ノイズ発生器の原理

この方形波インパルス・ノイズ発生器の基本原理は、図 1 のような、高圧電源、同軸ケーブル、及びスイッチ^{†3}から構成される単純なものである。

この発生器はパルス発生用の同軸ケーブルの長さを変えることでパルスの他のパラメータにあまり影

響を与えずにパルス幅を広い範囲で設定することができ、市販の試験器は通常は 1000 ns までの範囲でパルス幅を設定できるようになっている。

2 NECA TR-28

2.1 方形波インパルス・ノイズ発生器の特性

この試験に用いる方形波インパルス・ノイズ発生器は、立ち上がりの早い、1000 ns までのパルス幅の方形波のパルス (図 2) を発生するもので、その主要なパラメータは表 1 に示すようなものとなる。

このパルスは概ね平坦なピークと早い立ち下がりも持つが、その平坦さや立ち下がり時間などは規定されていない。

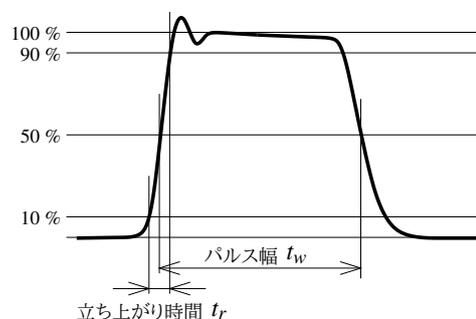


図 2: 方形波インパルス電圧波形

^{†2} 電気用品安全法の技術上の基準の 1 つ。 <https://www.meti.go.jp/policy/consumer/seian/denan/hourei/gijutsukijun/kaisei.2koukijun/140318-j1000.pdf>

^{†3} 伝統的には水銀リレー (現代では規制の対象となっている) が用いられていたが、今は半導体リレーが用いられるようになっている。

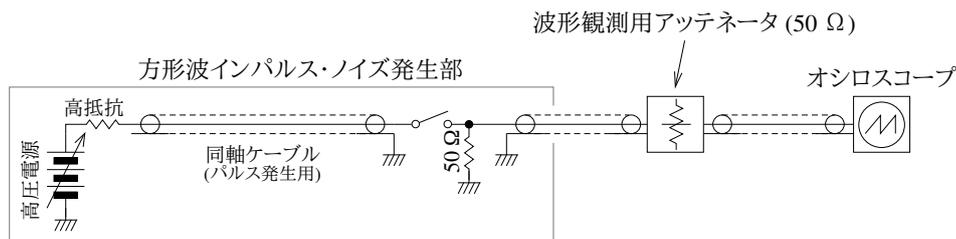


図 3: 方形波インパルス・ノイズ発生器の検証

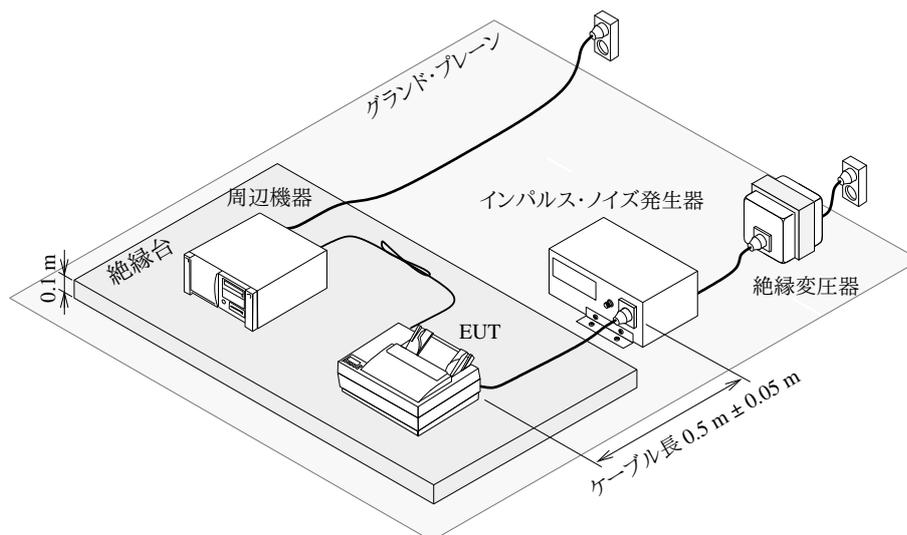


図 4: 試験セットアップの例 (電源ポートへの印加)

インパルスの高さ	0~2 kV (±10 %)
極性	正/負
出力インピーダンス	50 Ω 系
パルスの立ち上がり時間	≤ 1 ns [†]
パルス幅	50~1000 ns (±30 %)
パルスの繰り返し周波数	電源周波数又は可変周波数 (30~100 Hz)
パルスを印加する位相	0~360°

[†] 市販の試験器の仕様は ≤ 3 ns 程度となるかも知れない。

表 1: 方形波インパルス・ノイズ発生器の特性 (NECA TR-28^[1])

2.2 方形波インパルス・ノイズ発生器の検証

方形波インパルス・ノイズ発生器の検証は、図3のように適切な波形観測用アッテネータ (50 Ω アッテネータ) を介して帯域幅 400 MHz 以上のオシロスコープを接続し、波形を観測して行なうことができる。

波形観測用アッテネータは方形波インパルス・ノイズ発生器が発生する高ピーク電力のパルスに耐えて正常に機能することが必要であり、方形波インパルス・ノイズ発生器の製造業者がその用途で供給しているものを用いるのが無難と思われる。^{†4}

2.3 試験セットアップ

この試験のセットアップのイメージを図4に示す。

EUT や周辺機器 (AE)、またケーブルは、基準グランド面の上、0.1 m の高さ配置する。

注入デバイス (結合/減結合回路網や結合クランプ) と EUT のあいだのケーブルの長さは 0.5 ± 0.05 m とし、ケーブルをその長さまで短くできない場合にはコイル状とならないように (非誘導的に) 折りたたむ。

^{†4} 電圧を同一とした場合でも、パルス幅が長い場合のパルス当りのエネルギーは IEC 61000-4-4 の場合よりも極度に大きいものとなり (図9)、IEC 61000-4-4 でのこれと同様の用途での使用に適した負荷もこのパルスには耐えられない可能性がある。

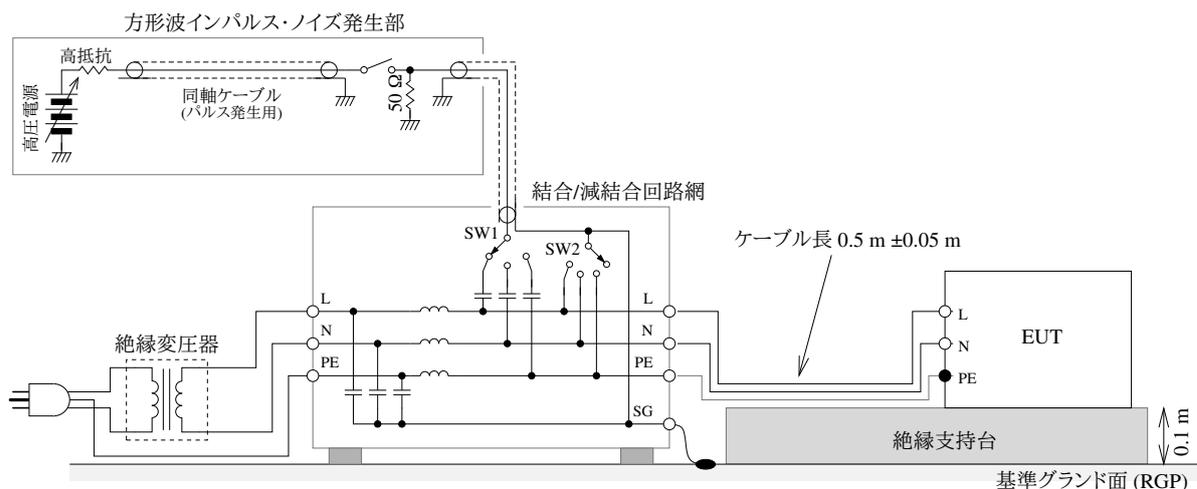


図 5: AC 電源へのコモンモードでの印加の例 (L - RGP)

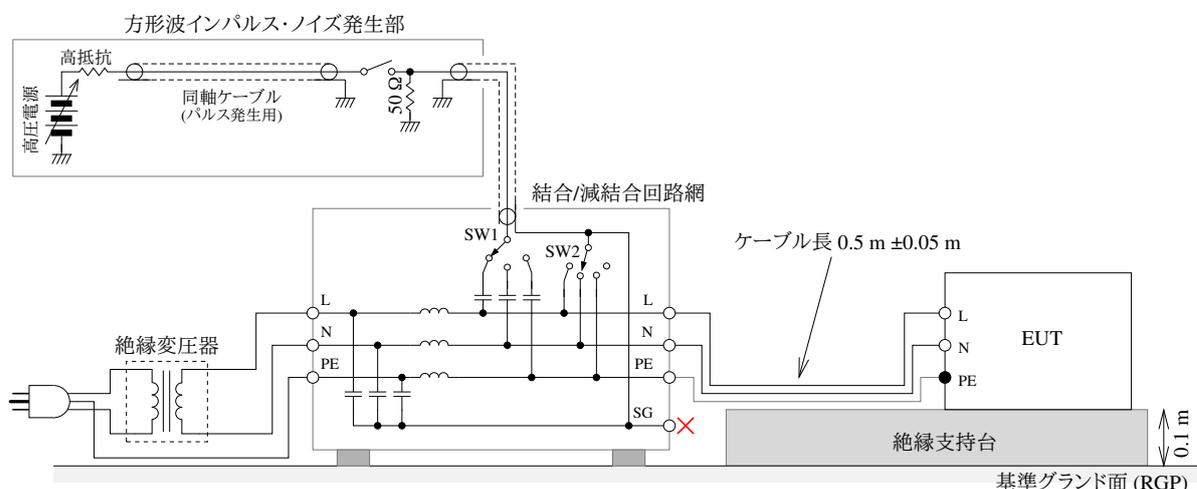


図 6: AC 電源へのノーマルモードでの印加の例 (L - N)

2.4 電源線への結合

電源線への印加は結合/減結合回路網を介して次のように行なう:

- コモンモード

EUT の電源入力のそれぞれの導体と基準グラウンド面 (RGP) のあいだに^{†5}、正と負のそれぞれの極性で方形波インパルス・ノイズを印加する (図 5)。

例えば単相 AC 電源で保護接地 (PE) がある場合、次の箇所が印加の対象となる: L - RGP, N - RGP, PE - RGP

^{†5} この試験法での「コモンモード」の印加は試験対象の導体 1 つと基準グラウンド面 (RGP) のあいだに妨害を印加するもので、「コモンモード」という表現は誤解を招くかも知れない。

- ノーマルモード

EUT の電源入力の 2 つの導体のあいだに、正と負のそれぞれの極性で方形波インパルス・ノイズを印加する (図 6)。印加はパルス発生器の出力からの接続を逆としても行なう。^{†6}

例えば単相 AC 電源で保護接地 (PE) がある場合、次の箇所が印加の対象となる: L - N, L - PE, N - PE, N - L, PE - L, PE - N^{†7}

この試験に際してはパルス発生器の出力は接地から切り離す (図 6 の “SG”)。

^{†6} 例えば、図 6 の構成で SW1 を L、SW2 を N とした試験 (L - N) と別に SW1 を N、SW2 を L とした試験 (N - L) も行なう。L - N への負のインパルスの印加と N - L への正のインパルスの印加は等価のようにも見えるが、このパルス発生器は原理的に著しく不平衡であり、この接続の違いが試験結果に有意に影響する可能性が予期される。

^{†7} ここで、L - N は図 6 で SW1 を L、SW2 を N とした状態を、N - L は SW1 を N、SW2 を L とした状態を示す。

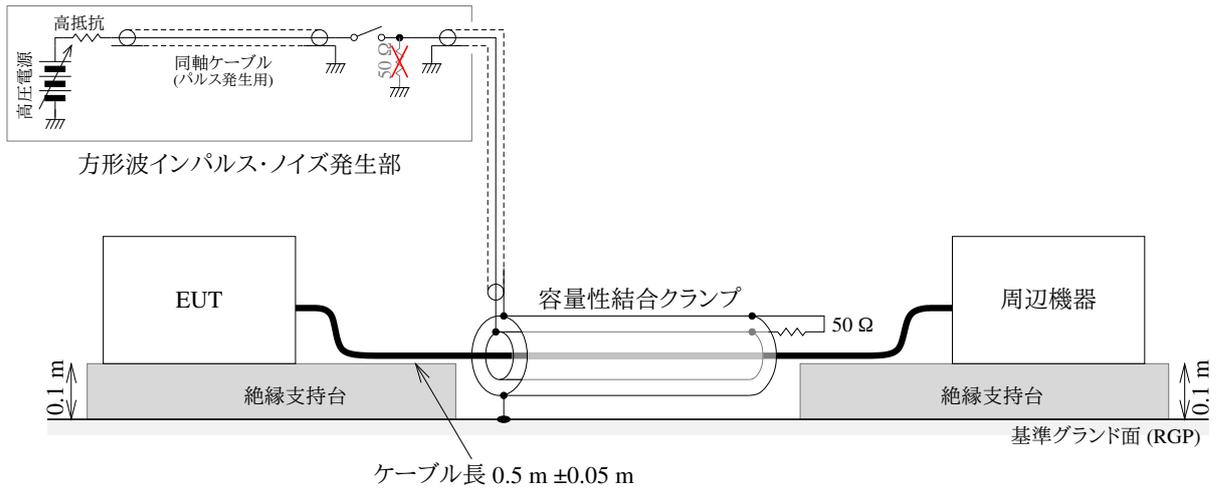


図 7: 容量性結合クランプでの結合の例

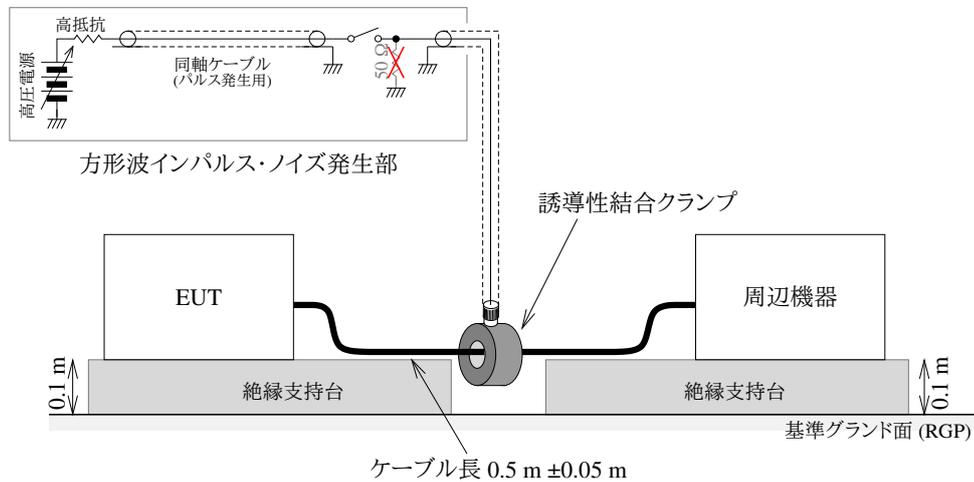


図 8: 誘導性結合クランプでの結合の例

結合の原理上、AC 電源は絶縁変圧器を通してフローティングとすることが必要となる。^{†8}

AC 電源への印加は、電源波形の 0°、90°、180°、及び 270° に同期させて、あるいは非同期で (電源波形の様々な位相角にインパルスが注入されるように適当な周期に設定して) 行なう。

DC 電源への印加も AC 電源の場合と似た形で行なうことができるが、この場合も電源はフローティングとすることが必要となる。^{†9}

2.5 信号線などへの結合

信号線などへの結合は容量性結合クランプ (図 7) か誘導性結合クランプ (図 8) で行なうことができる。

容量性結合クランプの場合はクランプの一方の同軸コネクタを 50 Ω 終端器で終端する必要がある。この終端器は印加されるパルスに耐えて正常に機能することが必要であるが、そのような終端器を別途用意する代わりに方形波インパルス・ノイズ発生器内の終端器に接続することができるかも知れない。

3 補足

3.1 IEC 61000-4-4 との比較

この方形波インパルス・ノイズ試験と IEC 61000-4-4 (EFT/B)^{[2][3]} との比較を表 2 に示す。

^{†8} 図 6 の接続を絶縁変圧器なしで行なった場合、方形波インパルス・ノイズ発生器のグラウンドを直接電源導体に接続する形となることから、感電や地絡などの事故が引き起こされる可能性がある。誤接続が危険を招くことも予期されるので、接続は取扱説明書なども良く確認して慎重に行なうべきであろう。

^{†9} DC 電源の場合、負荷側で接地される可能性にも注意が必要となるかも知れない。

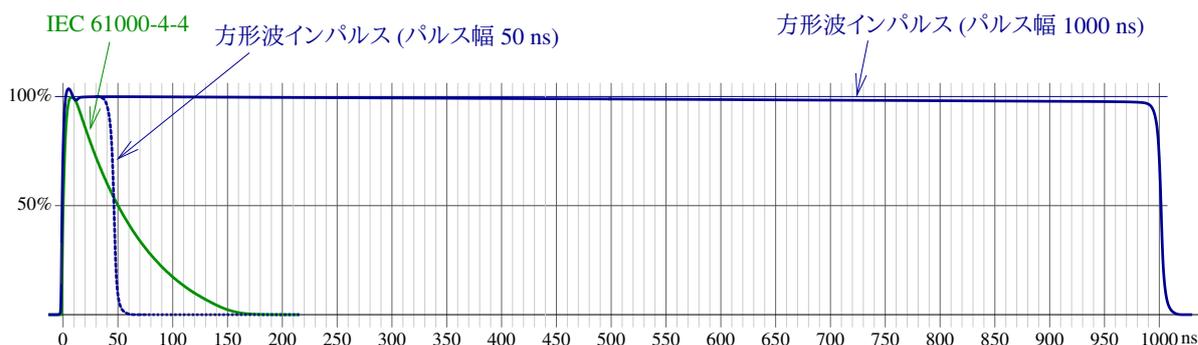


図 9: 方形波インパルスと IEC 61000-4-4 パルス波形の比較

	NECA TR-28	IEC 61000-4-4
パルス波形 (図 9)		
ピーク電圧 (50 Ω 終端)	~2 kV (±10 %)	~2 kV (±10 %)
出力インピーダンス (公称)	50 Ω	50 Ω
立ち上がり時間	≤ 1 ns [†]	5 ± 1.5 ns
パルス幅	50 ns ~ 1000 ns	50 ± 15 ns
パルス繰り返し周波数	電源波形に同期、または 30 ~ 100 Hz	5 kHz 15 ms か 100 kHz 0.75 ms のバーストの 300 ms 周期での繰り返し
電源線への印加	全導体と RGP のあいだ (単相 AC の場合: L+N+PE - RGP)	それぞれの導体と RGP のあいだ (単相 AC の場合: L - RGP, N - RGP, PE - RGP) 任意の導体間 (単相 AC の場合: L - N, L - PE, N - PE, N - L, PE - L, PE - N)
信号線などへの印加	容量性結合クランプ	容量性結合クランプ、誘導性結合クランプ

[†] 市販の試験器の仕様は ≤ 3 ns 程度となるかも知れない。

表 2: NECA TR-28 (方形波インパルス・ノイズ) と IEC 61000-4-4 の対比

立ち上がりの早いパルスのバーストを用いる IEC 61000-4-4^{[2][3]} と異なり、この試験法では方形波の、単発の波形が用いられる。

この方形波インパルス・ノイズのパルス幅は 50 ns ~ 1000 ns から選択されるが、しばしば 1000 ns のパルス幅が用いられ、このパルス当りのエネルギーは IEC 61000-4-4 のものと比較して著しく大きいものとなる (図 9)。

また、この方形波インパルス・ノイズの立ち上がり時間は 1 ns 以下、あるいは 3 ns 以下 (§3.2) で、5 ± 1.5 ns の立ち上がり時間を持つ IEC 61000-4-4

よりも早い。これらのパルスの立ち下がり時間は規定されていないが、IEC 61000-4-4 のパルスが緩やかな低下を示すのに対してこの方形波インパルス・ノイズはかなり早い立ち下がりを持つ (図 9)。

このため、[4] などで示されているように、この方形波インパルス・ノイズは IEC 61000-4-4 のものよりも高い周波数の成分を強く含むものとなる。

電源線への印加の方法にも大きな違いがある。IEC 61000-4-4 では電源線の全導体とグランド・プレーンのあいだに一括で印加されるが、方形波インパルス・ノイズの印加は各導体とグランド・プレー

ンのあいだ、また各導体間に対して行なわれる。

このような違いもあり、この方形波インパルス・ノイズでの試験では IEC 61000-4-4 での試験では検出できないイミュニティ問題を検出できる場合もある。

3.2 立ち上がり時間

伝統的には立ち上がり時間 $\leq 1 \text{ ns}$ のパルスの発生が可能な発生器が用いられてきたが、これはスイッチとして水銀リレーを用いており、水銀の使用の制限に伴ってその供給が打ち切られている。

現在は半導体スイッチを用いた発生器が供給されているが、少なくとも現時点では 1 ns 以下の立ち上がり時間の達成は困難で、現在市販されている発生器の立ち上がり時間の仕様は 3 ns 以下となっている。

3.3 JEC-2501 (保護継電器の電磁両立性試験)

電気学会の JEC-2501 (2010) + 追補 1 (2024)^[5] (保護継電器の電磁両立性試験) に含まれる方形波インパルス・ノイズ試験の試験電圧波形の規定は表 3 のようなものとなっている。

ここで、立ち上がり時間の規定は 2024 年の追補 1 で従来の 1 ns 以内から 3 ns 以内に変更されている (§3.2)。

出力電圧 V	$1 \text{ kV} \pm 10 \%$
極性	正/負
出力インピーダンス	50Ω
インパルス立ち上がり時間	3 ns 以内
インパルス幅	$100 \text{ ns} \pm 30 \%$
インパルス繰返し周波数	50 Hz または 60 Hz

表 3: JEC-2501 の試験電圧波形

4 参考資料

[1] NECA TR-28, 工業用に使用される電気制御機器の方形波インパルス・ノイズに対するイミュニティ試験ガイドライン, 日本電気制御機器工業会, 2006

[2] IEC 61000-4-4, *Electromagnetic compatibility (EMC) — Part 4-4: Testing and measurement techniques — Electrical fast transient/burst immunity test*

[3] IEC 61000-4-4 の概要 — EFT/B (電氣的ファスト・トランジェント/バースト) 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>

[4] 電源線の高周波ノイズ試験について, 株式会社ノイズ研究所, 2019
https://www.noiseken.co.jp/products/catalog_type/emc/ins/

[5] JEC-2501 (2010) + 追補 1 (2024), 保護継電器の電磁両立性試験, 電気学会