

電源線の高周波ノイズ試験について

2019年4月

株式会社ノイズ研究所

技術部 石田 武志

1. 背景

電源線からのノイズの侵入を想定した国際規格はいくつかあるが、高周波パルスの試験では、Electrical Fast Transient/Burst(EFT/B) 試験 IEC 61000-4-4 が代表的なものである。この規格は、モータなどの誘導負荷の接点が開離（オフ）するときに発生するシャワーリングアーカ現象を再現したもので、立ち上がり時間 5 ns、50 %パルス幅が 50 ns の“のこぎり波”を 5 kHz（又は 100 kHz）間隔で発生するノイズを規定している（図1）。一方、日本を中心に IEC 61000-4-4 の国際規格が発行される以前から当社試験器 INS シリーズを用いた方形波インパルスノイズ試験を多くの企業で実施してきた。これまで水銀リレーを使用したインパルスノイズ試験器が普及していたが、半導体方式のインパルスノイズ試験器が市場に投入される状況にあり、改めてインパルスノイズ試験の意味を考えてみる。

2. 半導体式インパルスノイズの波形と特性

同軸ケーブル（分布定数線路）をパルスエネルギーの蓄積コンデンサとして用い、水銀リレーでパルスを出力する方形波インパルス発生器は、立ち上がり時間 1 ns 以下を実現してい

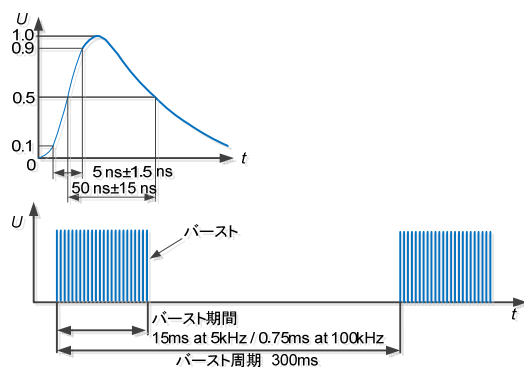


図1 EFT/Bの波形

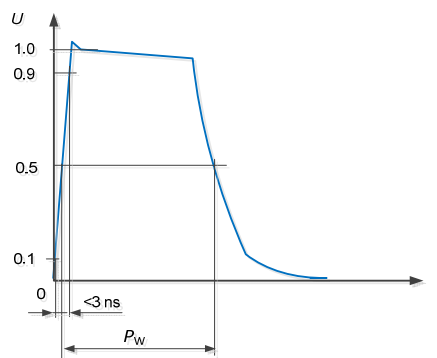


図2 インパルスノイズの波形

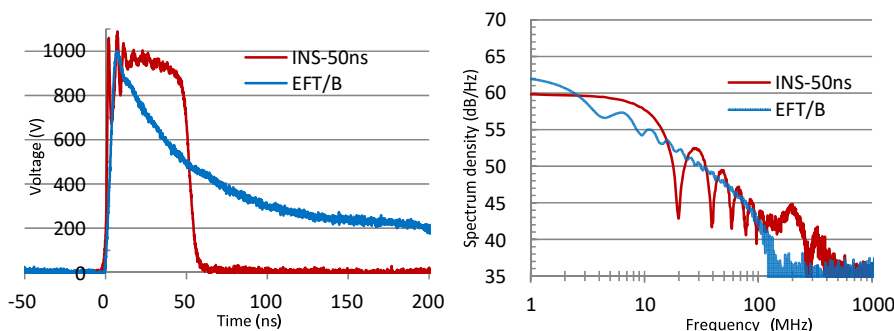


図3 50ns インパルス波形と EFT/B 波形及びそのスペクトラム（Y軸は相対 dB 値）

たが、水銀リレーの様な理想スイッチと違い半導体では立ち上がり時間に制約が発生し、現在 3 ns 以下の立ち上がり波形を実現している。インパルスノイズ波形のパルス幅は、50 ns (1 kV 以上) から 50 ns 刻みで 1000 ns までパネルからの操作で設定が可能となっている。インパルスノイズの電圧は、50 Ω 終端抵抗を接続した状態で、0.5 kV から 2.0 kV まで出力を可変できる (図 2)。

図 3 に EFT/B 波形及びインパルスノイズ波形 (INS 50ns) を示す。立ち上がり時間は、インパルスノイズ波形の方がおよそ半分の時間で高速に立ち上がっている。またこの波形のスペクトラム密度のグラフでは、EFT/B 波形のスペクトラムは 200 MHz 程度でノイズフロアに達しているが、インパルスノイズ波形は、600 MHz 程度まで伸びている。誤動作を与えるイミュニティ試験では、パルスの形状、面積、インピーダンスなどの色々な要因があるが、その波形に含まれる周波数成分が重要な要素となっている。特にデジタルの電子回路が誤動作する原理は、IC の電源線及び／又は信号線に外部からのノイズによる電圧変動が発生し、あるレベル以上の電圧変動が起きると、論理レベルの反転やリセット回路などが動作し、電子回路が誤動作する。研究途上ではあるが、誤動作のメカニズムは伝送性のノイズ、放射性の電磁界がプリント基板のパターンに結合し、電圧・電流変動を与える。この変動は、そのパターンの長さ、インピーダンスにより共振する周波数が特定されその周波数とノイズの周波数が一致したときに大きく現れる。パルスによるノイズは幅広いスペクトラムを含むため共振が発生しやすい。特に高い帯域まで周波数スペクトラムが延びている場合は、ノイズが伝達・結合し易く厳しい結果を与える確率が高くなる。インパルスノイズは、EFT/B 波形に比べて立ち上がり時間が速く、パルス幅を大きく変化させることができ、幅広い周波数成分を EUT (供試体) に与えることができる (図 4)。

3. 民生機器における電源線ノイズ試験とノイズフィルタ

図 5 に EFT/B 試験における民生機器の交流電源線の試験の例を示す。

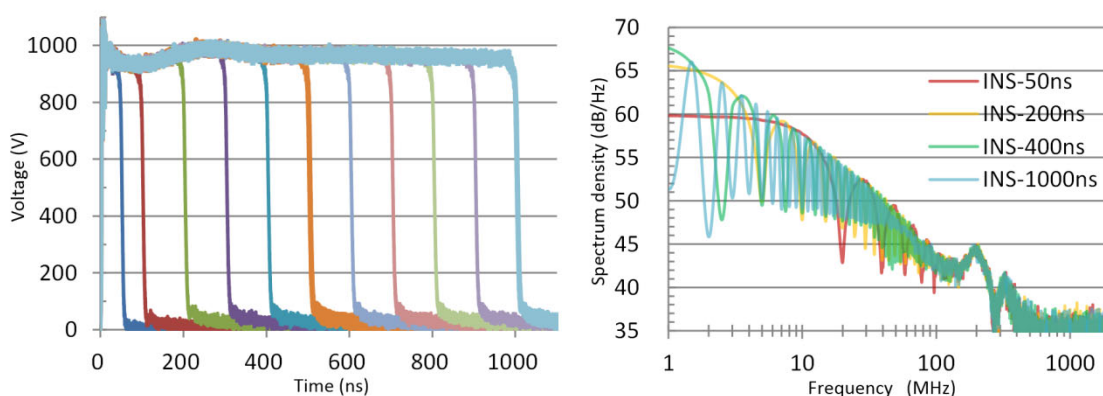


図 4 インパルスのパルス幅 50ns から 1000ns 波形とスペクトラムの変化

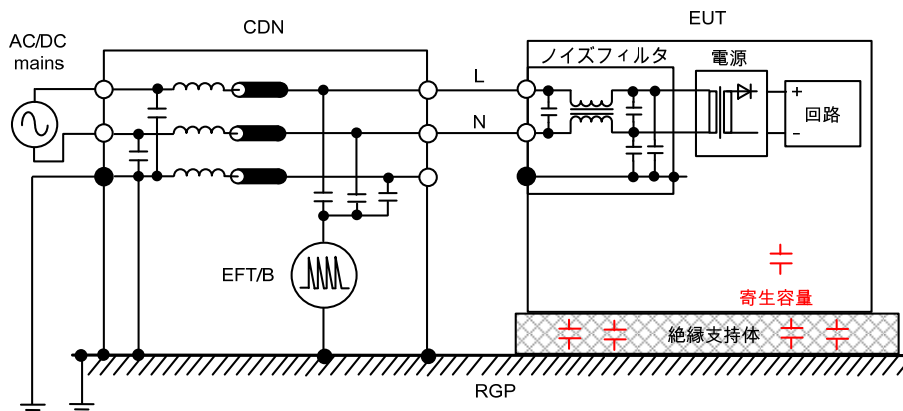


図5 EFT/Bの電源線試験の例

日本の民生機器の多くは、接地を行っていない二重絶縁機器となっている。また AC プラグも PE の無い 2 端子のものの方が主流である。今回の測定では、PE 端子がある状態を前提に測定等を行った。EFT/B の試験は、基準グランドプレーン (RGP) を電位の基準とした全線同時にコモンモード印加を実施する。この試験では、EUT の電源線全体の電位を揺さぶる形となり、内部のスイッチング電源と電子回路の電位も変動する。EUT の電源の入り口には、ノイズフィルタがあり、ノイズフィルタのチョークコイルによりコモンモードである同相のノイズを抑える方向に働く。チョークコイルを抜けてきたノイズは、PE に接続しているコンデンサにより、筐体 (金属筐体を想定) に流れる。筐体は接地をおこなっていないため、EUT の筐体全体の電位を変動させる。この筐体の電位変動は、絶縁支持体を介した RGP との間のできる僅かな寄生容量を介して RGP に流れる。つまり筐体も含めて、電位変動を起こさせる試験となる。仮に筐体が RGP にしっかり接地していると、ノイズフィルタの PE に接続しているコンデンサを介してノイズを逃がし、電位変動は少なくなる。EFT/B 試験は、工場などで電源ケーブルに平行して配置されたノイズを多く含む電力線などから誘導されるノイズを想定しているため、全線同時に同相のノイズが結合するコモンモード試験だけが規定されているが、実際の現場においては、必ずしも均等なノイズが結合するとは限らない。

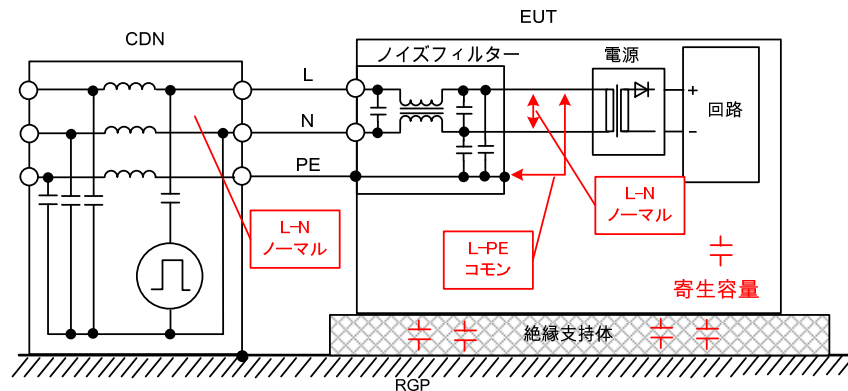


図7 インパルスノイズのノーマルモード結合

インパルスノイズの試験の結合は、コモンモードでは図6に示す L-GND (RGP) 間、N-GND 間及び PE-GND 間の3種類の結合が可能で、ノーマルモードでは、図7に示す L-N 間、L-PE 間及び N-PE 間の印加が可能となっている。またノイズを受ける EUT 側の内部の部品から見れば、L-N 間のコモンモードノイズ及び L-PE 間または N-PE 間のコモンモードのノイズが印加される。

EFT/B 試験との比較のために、コモンモードで印加した場合のノイズフィルタの出力端子のノイズ波形とそのスペクトラムを図8に示す。EFT/B は全線同時印加で、インパルスノイズは、L-GND 間のコモンモードとした。(a)は、ノイズフィルタの L-N 間のノーマルモード、(b)は、ノイズフィルタの L-PE 間の出力波形とそのスペクトラムである。電圧波形は、いずれも EFT/B の方が振幅が大きいように見えるが、波形の振動は、インパルスノイズの方が細かい変動となっている。この結果、スペクトラムを見ると、1MHz 程度の低い周波数では、EFT/B の方がレベルが高いが、100 MHz 以上でのレベルは大きく異なる。この電圧波形の時間軸の単位は、“ μs ”であり、EFT/B の波形は、発生器の波形に近いパルスが観測され、そのあと緩やかな振動を示しているが、インパルスノイズの波形は、50 ns ($0.05 \mu\text{s}$) の区間

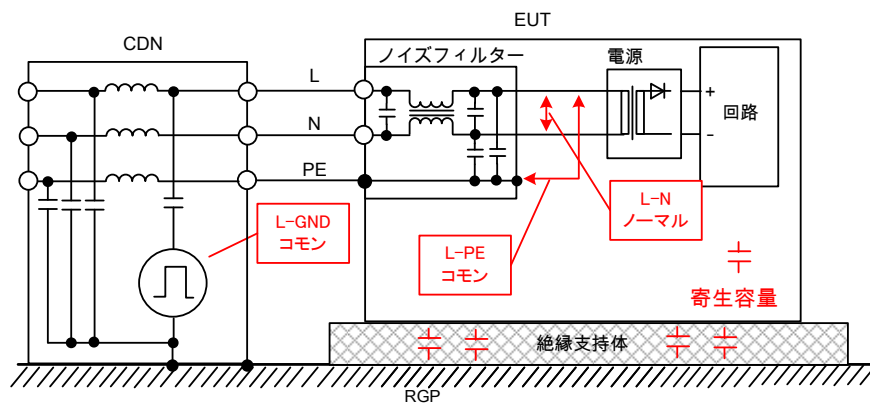


図6 インパルスノイズのコモンモード結合

から大きな振動波形を観測している。この様な違いが、高い周波数においてもエネルギーを維持していることを示している。

インパルスノイズ波形の場合、1000 ns までのパルス幅を設定することができる。パルス幅の設定により、スペクトラムが変化することを図 4 に示したが、より大きなパルス幅のインパルスは、ノイズフィルタのノイズ抑制効果が効かない現象が現れる。図 9 に 200 ns, 400 ns 及び 1000 ns のインパルスでのノイズフィルタ出力波形を示す。1000 V のインパルスノイズをコモンモードの L-GND 間及びノーマルモードの L-N 間及び L-PE 間のノイズフィルタの入力部に印加する。ノイズフィルタ出力端子の L-N 間（ノーマルモード）及び L-PE 間（コモンモード）に現れる電圧を観測した。グラフの時間軸は、“ μ s” 単位である。パルス幅が大きいインパルス波形の方がより波高値が高くなる傾向にある。これらの波形は、ノイズフィルタを通過しているが、ノイズフィルタの高周波ノイズを除去するコモンモードチョークの効果はなく、ノイズフィルタの各ライン間に接続しているコンデンサに、インパルスノイズ電圧を充電している波形が出力されていることになる。パルス幅が大きいインパルスほど、長くコンデンサを充電するため、電圧波形が大きくなっている。例えば 1000 ns のインパルスでは、1 μ s まで電圧が上昇し、その後ノイズフィルタのコンデンサの放電により電圧降下、または共振現象を伴い正弦波状に減衰する。L-PE 間に印加し、L-PE 間のノイズフィルタ出力で観測した図 8 の右下の波形では、各パルス幅のインパルスノイズ波形が殆どそのまま通過していることがわかる。ノイズフィルタのコモンモードチョークは、L,N 相同時に印加する場合には効果を発揮するが、片側だけに印加された場合には効果が発揮できない。

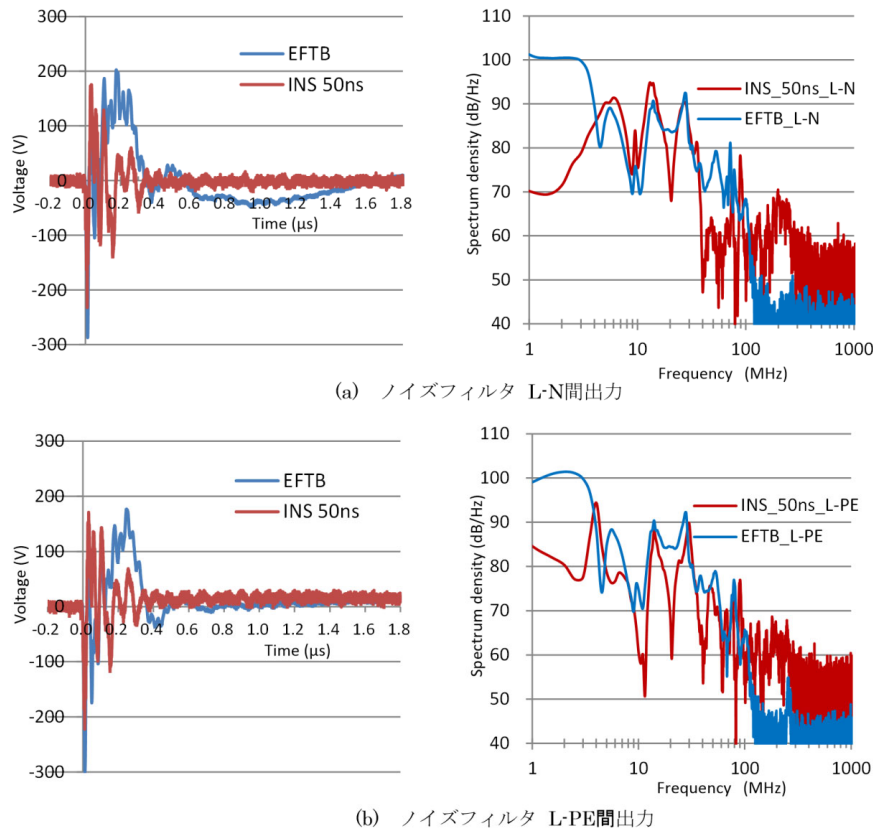


図8 コモンモード印加のEFT/Bとインパルスノイズのノイズフィルタ出力波形

4. 5V駆動の制御基板の電源ラインに与える電圧変動

市販のDVDプレーヤを用いて、EFT/B試験及びインパルスノイズ試験が実際の電子回路にどの程度影響を与えるかを実験した(図10)。DVDプレーヤは、AC100V駆動で、接地は無くノイズフィルタとスイッチング電源が一体となった電源プリント基板からDC5V及びDC12Vの電源を供給し、一枚のプリント基板からなる制御回路にDC5Vを供給している。DVDプレーヤを制御しているLSIの5V(V_{DD})-GND間に外部ノイズの影響を受けない光電圧プローブを接続してLSI直近の電源ラインに現れる電圧変動を測定した(図11)。

インパルスノイズは、2kVのパルス幅50ns、200ns、400ns及び1000nsをL-GND間、N-GND間のコモンモード及びL-N間のノーマルモードを印加した。各結合モードによる差は大きくないが、パルス幅が大きくなるにつれて振幅が小さくなる傾向にある。この波形の振動は、電源線路の共振とみられ振動周波数は、200MHzから400MHz程度となっている。電源線路には、パソコンなど線路インピーダンスを下げる部品が実装されているにもかかわらず5Vの電源ラインに高速の減衰振動波ではあるが5V_{PP}程度の電圧変動が重畳すること

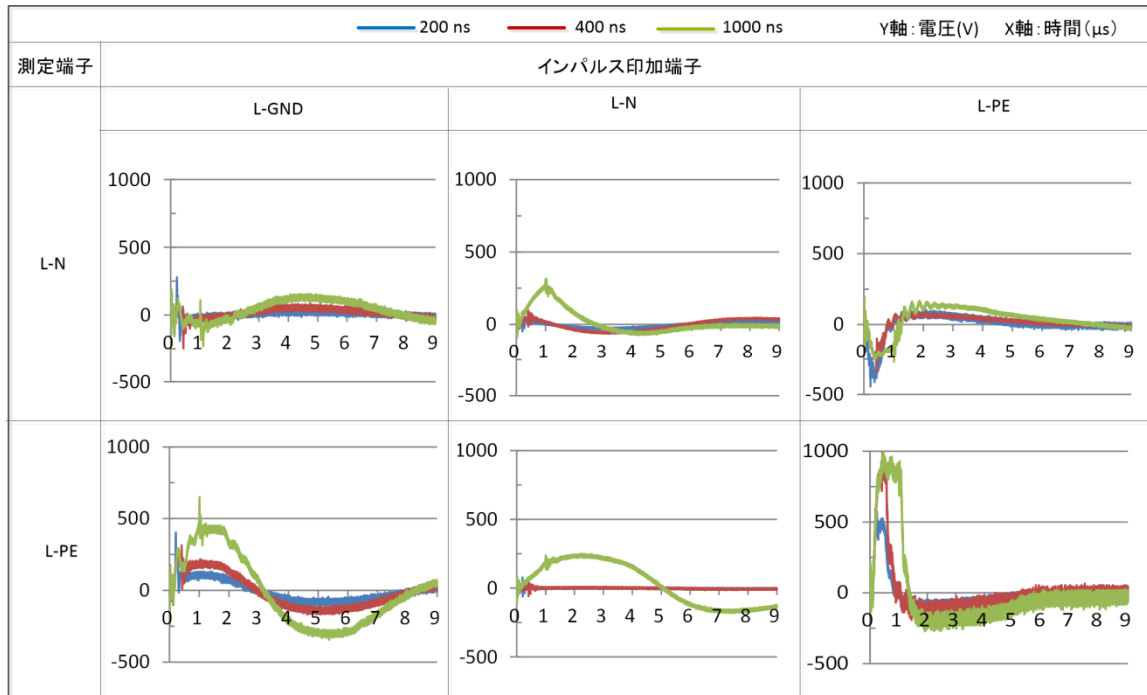


図9 200 ns、400 ns 及び 1000 ns のノイズフィルタ出力波形

はかなり厳しい状況と考える。実際に DVD プレーヤは誤動作を起こしている。

図 11 の最後に何も変動していない波形を記載したが、これは EFT/B 試験器でコモンモード試験を印加したときの同じ電源ラインの波形である。試験電圧を 4 kV に設定しても電源ラインの変動波形を観測することはできなかった。

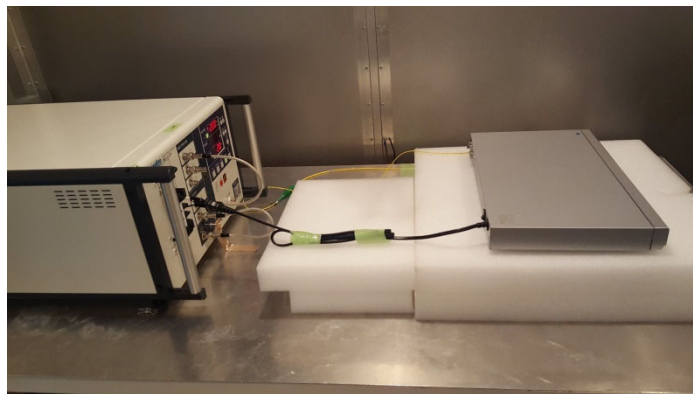


図 10 DVD プレーヤのノイズ試験例

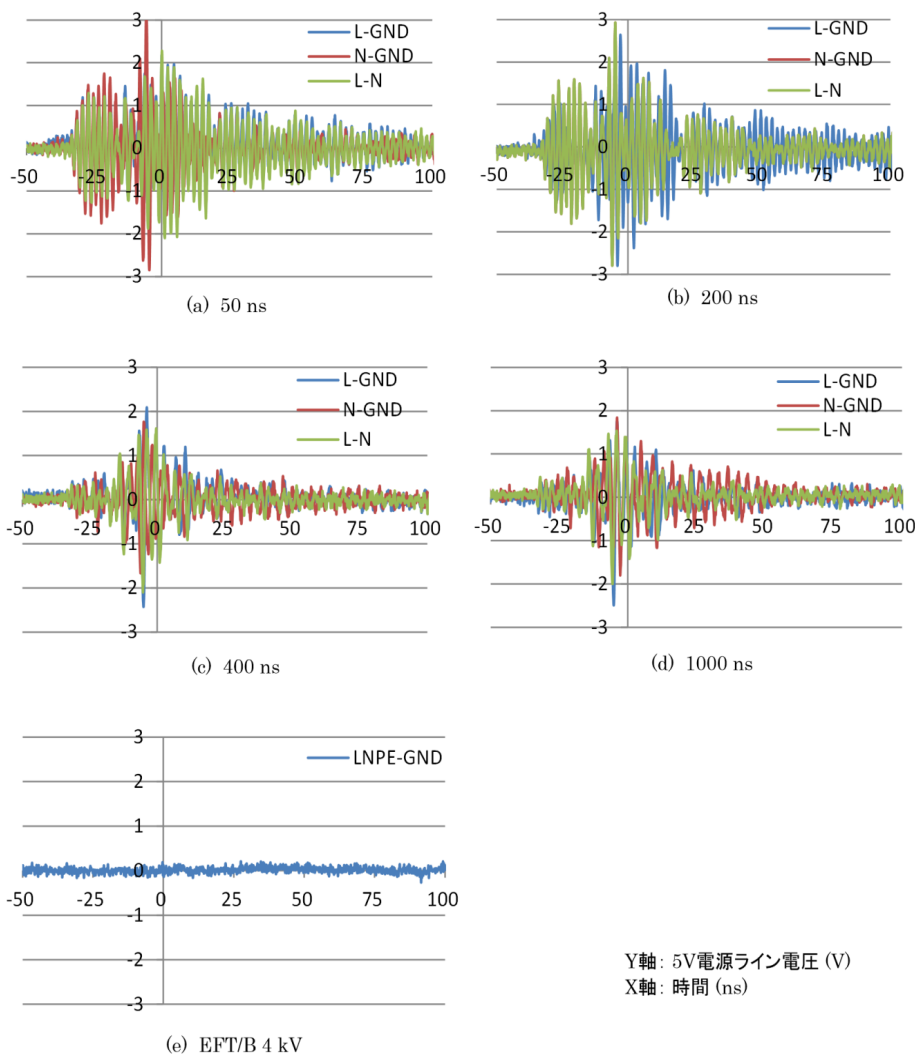


図 11 5V 制御基板の電源ラインに重畳する変動波形

5. おわりに

半導体方式のインパルスノイズ試験器は、新たな可能性を秘めたノイズ試験器であり、また環境問題及び消耗品である水銀リレーから解放されることは喜ばしいことであるが、インパルスの立ち上がり時間については、水銀リレー方式には及ばない。しかしこのレポートの実機測定及び実験を通して、インパルスノイズ試験は、結合モードの選択肢の多さを含めて EFT/B 試験の国際規格 IEC 61000-4-4 で規定する電源線試験では発生しない現象を引き起こし、市場トラブルの再現とその解決に貢献するものと確信する。