

車載機器の高圧直流電源線上の過渡伝導妨害 — ISO/TS 7637-4 の概要

株式会社 e・オータマ 佐藤智典

2023 年 7 月 31 日

目次

1	はじめに	1
2	共通事項	2
2.1	試験セットアップ	2
2.2	試験機器	2
2.2.1	HV-AN	2
2.2.2	高圧電源	3
2.2.3	高圧電源の負荷	3
2.2.4	オシロスコープ	3
2.2.5	高圧差動プローブ	3
2.2.6	妨害発生器	3
3	過渡エミッション	3
4	過渡イミュニティ	4
4.1	試験パルス A — 正弦波妨害のパルス	4
4.1.1	試験レベルの設定	4
4.1.2	試験	4
4.2	試験パルス B — 低周波正弦波妨害	4
4.2.1	試験レベルの設定	10
4.2.2	試験	10
5	参考資料	10

1 はじめに

ISO/TS 7637-4^{[1]†1}は電気自動車やハイブリッド電気自動車での使用が意図されたコンポーネントのシールドされた高圧直流電源線上の過渡伝導妨害に関する両立性の評価のための試験法を述べたもので、エミッションとイミュニティの双方が扱われる。

この文書は過渡伝導妨害に関するものであるが、イミュニティ試験では ISO 7637-2^{[3][5]} のような非正弦波のパルス波形ではなく、断続的 (試験パルス A, 図 7)、また連続的 (試験パルス B, 図 11) な正弦波の妨害が用いられる。

この文書では伝導性の過渡妨害のみが扱われ、例えばラジオ放送などの電磁波に起因するような妨害は扱われない。また、伝導性の過渡妨害についても高圧直流電源線上のもののみが扱われ、低圧直流電源線上の過渡妨害は ISO 7637-2^{[3][5]} で、電源以外の線の上の過渡妨害は ISO 7637-3^{[4][5]} で扱われる。

本稿では、この ISO/TS 7637-4:2020 (ed. 1)^[1] の概要を述べる。

なお、本稿はこの文書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、この文書についての正確な情報は文書そのもの^[1]を参照していただきたい。

†1 規格ではなく技術仕様として発行された。

2 共通事項

2.1 試験セットアップ

DUT は、実際の負荷やセンサなどが利用可能であればそれらを用い、その要求に従って配置し接続する。実際の負荷やセンサなどを利用できない場合はそれらは模擬しても良い。

DUT やその他の機器 (電源を除く) は最小 1000×2000 mm の、また電源を除く試験セットアップ全体よりも 200 mm 以上大きい、厚さ 0.5 mm 以上の銅、黄銅、あるいはめっき鋼板のグラウンド・プレーン上に配置する。

DUT は実際の車両での設置と同様に配置すべきであるが、試験計画書でこれと異なる配置が指定されていない場合、

- DUT やその配線は比誘電率 $\epsilon_r \leq 1.4$ 、厚さ 50 ± 5 mm の絶縁材の上に置き、
- DUT の接地は長さ 200 ± 50 mm の接地線でグラウンド・プレーンに接地し、
- DUT の高圧電源線は HV-AN に 500_{-0}^{+200} mm のケーブルで接続する。

2.2 試験機器

2.2.1 HV-AN

高圧電源のインピーダンスの管理に使用する HV-AN は CISPR 25 で用いられるものと同様の $5 \mu\text{H}/50 \Omega$ のものである (図 1)。

但し、インピーダンスの規定は CISPR 25 と ISO 7637-2 のいずれの AN とも異なり、ISO 7637-2 などで用いられる低圧直流電源用の $5 \mu\text{H}/50 \Omega$ AN と同様に測定ポートと並列に接続される $1 \text{k}\Omega$ の影響を考慮せずに求められた値の $\pm 20\%$ の範囲にインピーダンスが入るように規定されている (図 2)。

必要な場合、HV-AN と DUT のあいだに実際の使用でのインピーダンスを模擬するためのインピーダンス整合回路網を入れることもできる。

通常、HV-AN (また、インピーダンス整合回路網を用いる場合はそれも) はシールド・ボックスに入れ、高圧ケーブルのシールドをシールド・ボックスに高周波的に確実に接続することが必要となる (図 3)。

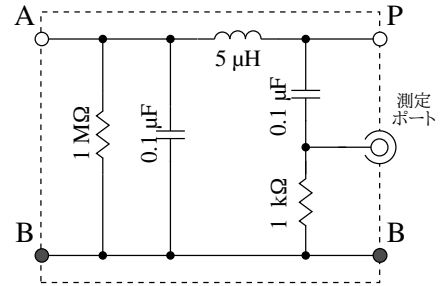


図 1: HV-AN の基本回路

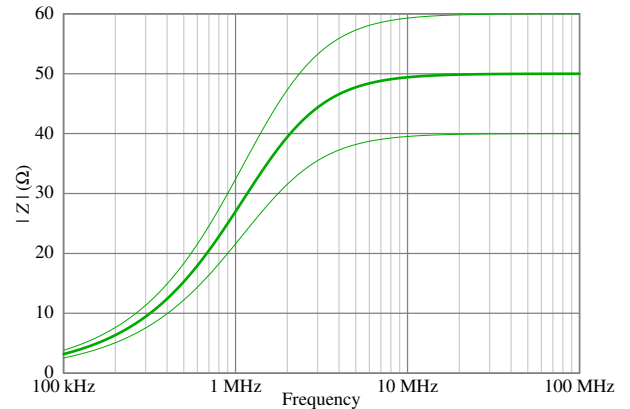


図 2: $5 \mu\text{H}/50 \Omega$ HV-AN のインピーダンス Z_{PB} (測定ポートを 50Ω で終端、端子 A-B を短絡した状態での計算値)

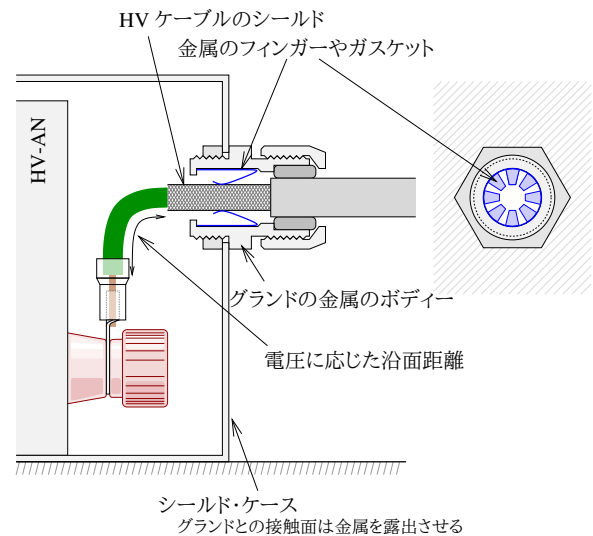


図 3: HV ケーブルの HV-AN への接続の例 — ケーブルのシールドをケーブル・グラウンドの金属のフィンガーなどを介してシールド・ケースに 360° 接続する

試験パルス A でのイミュニティ試験 (§4.1) では HV-AN の測定ポートから高レベルの妨害を注入する形となる (図 8, 図 9) ため、そのような使い方をしても問題がないかどうかは別途確認した方が良くも知れない。

2.2.2 高圧電源

高圧電源としては、規定された公称電圧範囲で必要な電流を供給できる、リップルが公称電源電圧の 1.5 % 以下^{†2}のバッテリーか電源装置を使用する。

2.2.3 高圧電源の負荷

高圧電源の負荷として、高圧電源と HV-AN のあいだに以下の抵抗とコンデンサを並列としたものを接続することができる：

- 抵抗: $R = 500 \Omega \pm 5 \%$ ^{†3}
- コンデンサ: $C = 10 \mu\text{F} \pm 10 \%$, $\text{ESR} < 5 \text{ m}\Omega$ (10 kHz), 公称許容電流 $\geq 50 \text{ A}_{\text{rms}}$ (10 kHz)

2.2.4 オシロスコープ

- 帯域幅: DC から少なくとも 400 MHz
- サンプリング・レート: 2 GSa/s
- 電圧軸分解能: 規定はないが、電源に重畳した過渡妨害の観測のためには高分解能のもの (例えば 12 ビット以上のもの) が望ましいかも知れない

2.2.5 高圧差動プローブ

- 帯域幅: DC から少なくとも 100 MHz
- 入力インピーダンス: DC において $Z \geq 1 \text{ M}\Omega$
- 最大使用電圧、分圧比: 電源電圧や想定される過渡電圧波形に対して適当なもの

^{†2} 例えば電源電圧が 500 V で、試験パルス A の振幅を電源電圧の 10 % となる厳しきレベル II (50 V) とし、試験パルス B も同様に厳しきレベル II とした場合、30~300 kHz での試験レベルは $1.5 V_{\text{p-p}}$ 、すなわち電源電圧の 0.3 % となる (電源線上に現れる妨害の振幅はこれよりもかなり小さくなること が予期される) ので、この周波数帯で 1.5 % のリップルがあればそれだけでイミュニティ試験で注入される妨害のレベルを大きく超えることになる。従って、電源のリップルを許容可能かどうかの判断では適用するエミッション限度やイミュニティ試験レベルも考慮することが必要となるかも知れない。

^{†3} 電源電圧が 500 V の場合はこの抵抗に流れる電流は 1 A で損失は 500 W、1 kV の場合は電流は 2 A で損失は 2 kW となるので、それに見合った抵抗を使用し、また放熱に留意することが必要となる。

2.2.6 妨害発生器

少なくとも 3 kHz~10 MHz の周波数範囲に対応した、正弦信号発生器、必要な最大の試験レベルの妨害の発生で必要となる出力に対応した電力増幅器、方向性結合器、及びパワーメータかそれに相当する測定器から構成される。

正弦信号発生器がそれ自身で試験パルス A (図 7) の波形を発生することができない場合、変調入力を持つ正弦信号発生器と外部のパルス変調器とを組み合わせて所定の波形を発生させることが必要となるかも知れない。

3 過渡エミッション

DUT の様々な動作に伴ってその高圧電源入力に現れる過渡電圧を観測し、その振幅、及び過渡波形のパラメータ (立ち上がり時間、立ち下がり時間、持続時間など) を記録する。

実際のエミッションの波形に適用可能なパラメータはその波形によって異なるであろうが、ISO/TS 7637-4 では次のようなパラメータが示されている：

- ピーク振幅;
- パルスの持続時間;
- パルスの立ち上がり時間;
- パルスの立ち下がり時間;
- パルスの繰り返し時間;
- バーストの持続時間;
- バーストの間隔;
- バーストの周期。

通常は少なくともピーク振幅が限度を超えないかどうかを確認することになるだろうが、この限度は ISO/TS 7637-4 では具体的に示されておらず、イミュニティ試験の厳しきのレベルから導くように述べられている。

この測定は以下のそれぞれの箇所について実施する。^{†4}

^{†4} ISO/TS 7637-4:2020 §4.5.1 ¶5 では電圧プローブとオシロスコープなどを用いて DUT の端子の近くで測定するように述べられている。だが、シールドされた高圧ケーブルに DUT の端子の

- HV+ と HV- のあいだ (図 4);
- HV+ とグラウンドのあいだ (図 5);
- HV- とグラウンドのあいだ (図 5)。

この測定は DUT を最大の妨害を発生する条件で動作させて行なうが、その条件が不明な場合、条件を様々に変えて予備測定を行なうことなども必要となるかも知れない。

4 過渡イミュニティ

4.1 試験パルス A — 正弦波妨害のパルス

試験パルス A でのイミュニティ試験では DUT の高圧電源入力に図 7 のような 1~10 MHz の正弦波妨害のパルスを印加し、DUT への影響を確認する。

この妨害の印加は以下のそれぞれの箇所について実施する:

- HV+ と HV- のあいだ (図 8);
- HV+ とグラウンドのあいだ (図 9);
- HV- とグラウンドのあいだ (図 9)。

妨害波形のパラメータとしては表 1 に示すようなものが示されているが、実際に適用するパラメータは事前に決定して試験計画書で規定することが必要となるだろう。

妨害発生器の出力は試験電圧が $100 V_{p-p}$ の場合で 25 W で、より高い試験電圧を用いる場合 (例えば厳しきレベル IV で $300 V_{p-p}$ とする場合など) はこれよりも大きくなるので、使用する機器はそれに応じたものとするが必要となる。

ライン間 (HV+ と HV- のあいだ) への印加は不平衡—平衡の変換を行なうためのバランを介して行なう。このバランとしては、例えばインダクタンス係数 $A_L = 5400 \text{ nH/N}^2$ のトロイド型フェライト・コア 2 つに同軸ケーブルを 16 回巻いたものを用いることができる。

近くで電圧プローブを接続するのは厄介であり、ISO/TS 7637-4:2020 Figure 1 は電圧プローブを HV-AN で接続するような図となっており、また電圧プローブの位置の測定結果への影響は限定的なものとなりそうであるので、疑義がない限りは電圧プローブは HV-AN の近くで接続する形で良いかも知れない。HV-AN をシールド・ボックスに入れて高圧ケーブルのシールドをシールド・ボックスで終端している場合、電圧プローブのリードをシールド・ボックス内に引き込めばこの接続は比較的容易に行なえそうである (図 4, 図 5)。

4.1.1 試験レベルの設定

試験は進行波電力を制御パラメータとした置換法で行なわれる。試験電圧は 50Ω で終端した状態での妨害発生器の出力電圧で規定され、その設定は試験に先立って図 10 のような構成で行なうことができる。

その測定 (図 10 の右側のアッテネータとパワーメータ) に高入力インピーダンスの電圧測定器 (例えば分圧器と高周波電圧計) を用いる場合は適切な電力定格の 50Ω 終端器で終端することが必要となる。測定系が 50Ω の場合はこの終端器は不要となるが、測定系の電力定格に応じて、適切な電力定格と減衰率のアッテネータを入れることが必要となるかも知れない。

ライン間 (HV+ と HV- のあいだ) への印加については、試験では妨害の印加をバランを介して行なうため、試験レベルの設定でもその影響の考慮が必要となる。^{†5}

試験時にも電圧プローブを接続して (図 8, 図 9) 電圧波形を監視できるようにするが、これは試験レベルの調整には用いない。試験時の電圧波形の確認や記録の要求はないが、電圧波形の確認と記録を行なうことは良い考えかも知れない。

4.1.2 試験

試験パルス A での試験セットアップの例を図 8 と図 9 に示す。

4.2 試験パルス B — 低周波正弦波妨害

試験パルス B でのイミュニティ試験では DUT の高圧電源入力に 3 kHz~300 kHz の正弦波妨害を周波数掃引しながら印加し (図 11)、DUT への影響を確認する。

この妨害の印加は以下のそれぞれの箇所について実施する:^{†6}

^{†5} ISO/TS 7637-4:2020 §4.6.2.4 簡条 4 ではレベル設定の作業で得られた進行波電力にバランの補正係数を加えるように書かれているが、Figure 5 には出力の測定をバランの出力側で行なうような接続が示されており、この形でレベル設定を行なえばバランの損失の補正は不要とできるように思われる。

^{†6} ISO/TS 7637-4:2020 Table A.2 (表 2) では HV+ to HV-, HV+ to ground, 及び HV- to ground となっている。

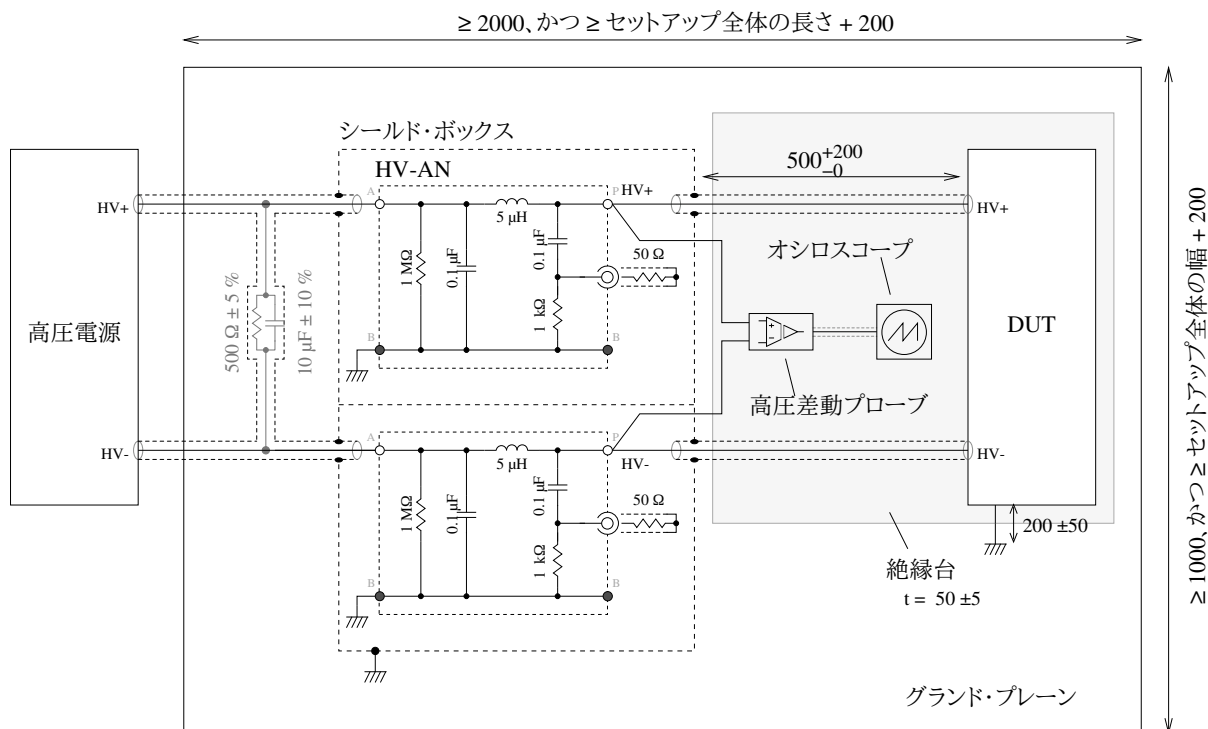


図 4: 過渡エミッション測定の設定アップの例 — ライン間 (HV+ - HV-) の測定

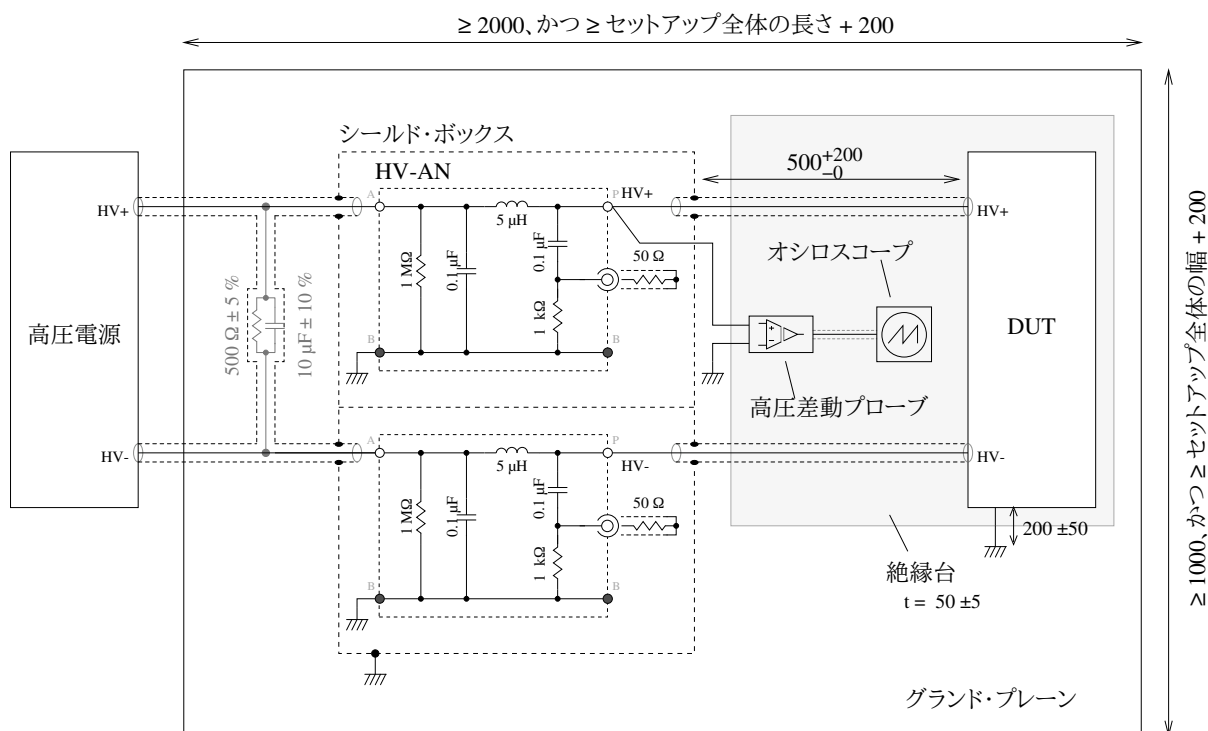


図 5: 過渡エミッション測定の設定アップの例 — ライン-グラウンド間 (HV+ - グラウンド) の測定

パルス周波数 (MHz)	試験電圧 U_{pp} (V) ^a 厳しさレベル				パケット当りのパルス数	繰り返し周期 (μ s)	試験時間 (分)	試験結合
	I	II	III	IV				
1	20	50	100	b	10	200 / 100 / 50	5 / 5 / 5	HV+ — HV- HV+ — グランド HV- — グランド
2								
5								
10								

- a 試験電圧は 50 Ω 負荷で設定する。詳細は試験計画書で規定。厳しさレベルは HV 公称電圧と関係する (例えば 5 % から 10 %)。
- b 特別な用途のための厳しさレベル: 詳細は試験計画書で規定。

表 1: 試験パルス A のパラメータ (ISO/TS 7637-4:2020 Table A.1 より)

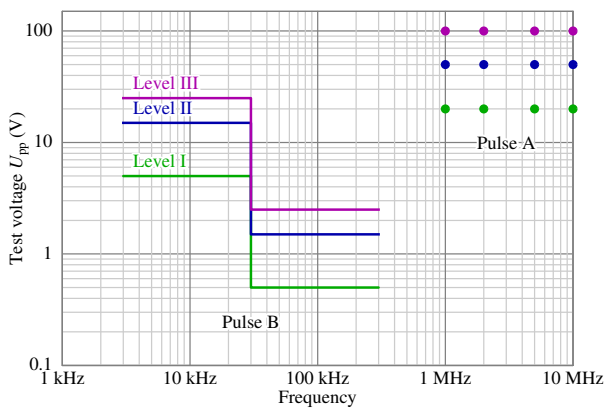


図 6: 過渡イミュニティ試験 — 試験レベル

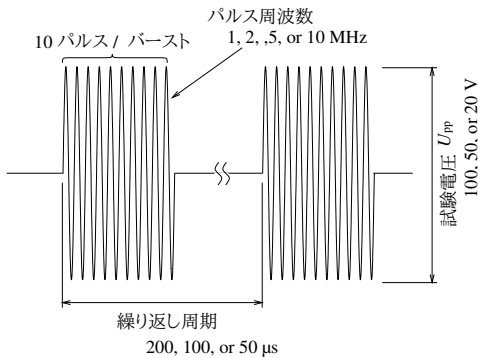


図 7: 過渡イミュニティ試験 — 試験パルス A

- インライン (図 12);^{†7}
- HV+ とグラウンドのあいだ (図 13);
- HV- とグラウンドのあいだ (図 13)。

妨害波形のパラメータとしては表 2 に示すようなものが示されているが、実際に適用するパラメータ

は事前に決定して試験計画書で規定することが必要となるだろう。

この試験では、

- 高圧電源にバッテリーではなく電源装置を用いる場合、電源入力には、100 μ F 以上 (DUT と電源に依存する) の、高圧電源に見合った定格のコンデンサを接続する。

そのコンデンサに通電中に高電圧が印加されるだけでなく電源を遮断した時も電荷が残留する可能性があるため、それと並列に負荷抵抗 (§2.2.3) が接続されていない場合は特に、電源を遮断した時のそのコンデンサへの残留電荷による感電の危険にも注意が必要となるかも知れない。

- 妨害の注入は結合トランスを介して行なう。結合トランスに対する要求事項は示されていないが、少なくとも次のような条件を満たすことが必要となりそうである:

- 印加される最大電力に対応している;
- 試験周波数範囲で良好な結合を与える;^{†8}
- 高圧電源に対して適切な絶縁を与える;
- インラインでの印加では二次巻線 (DUT 側の巻線) に DUT の電源電流がそのまま流れるので、

^{†7} この試験は ISO 11452-10^{[6][7]} (15 Hz~250 kHz がカバーされる) と幾分似ている。

^{†8} 試験パルス B の注入は結合トランスを介して行なわれるため、結合トランスの特性が妨害の印加に有意に影響する可能性がありそうである。だが、少なくとも ISO/TS 7637-4:2020 の文面上は結合トランスに対する要求事項は示されておらず、また試験レベルの設定 (§4.2.1) で結合トランスの影響を加味するようにはなっていない。

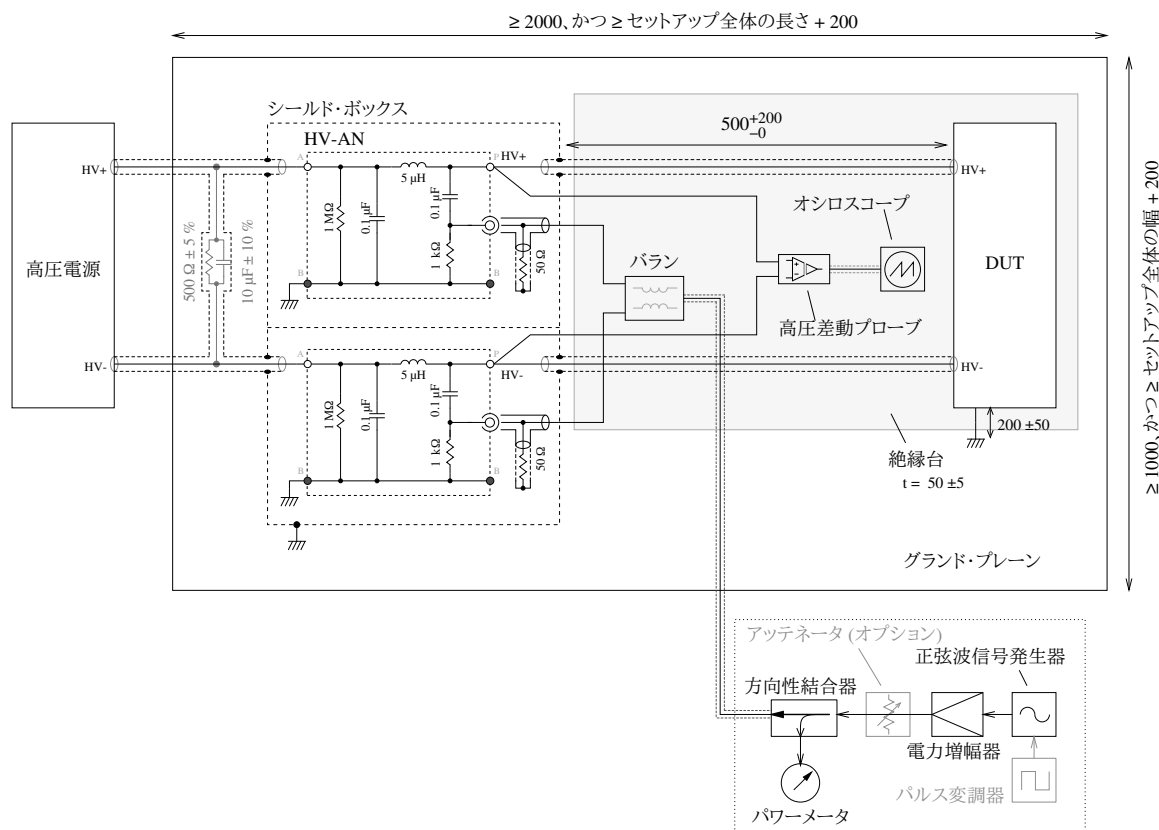


図 8: 過渡イミュニティ試験セットアップの例 — 試験パルス A, ライン間 (HV+ — HV-) への印加

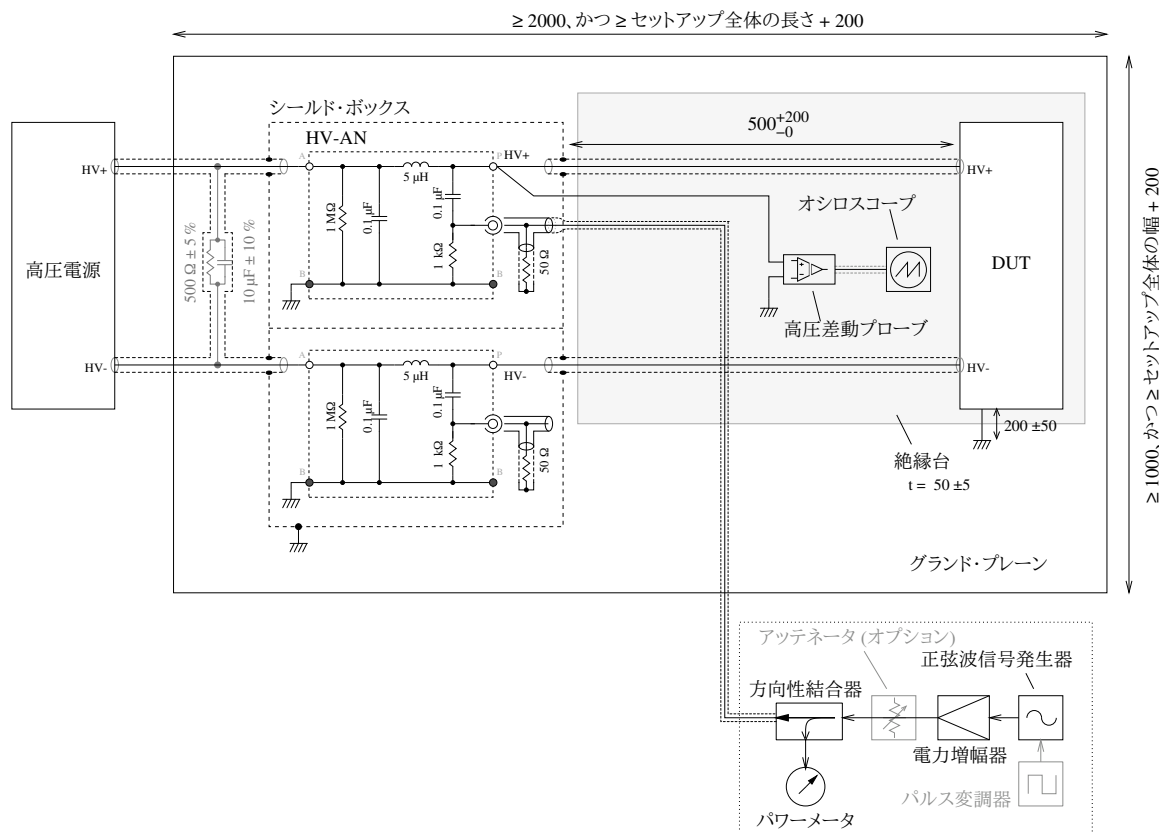


図 9: 過渡イミュニティ試験セットアップの例 — 試験パルス A, ライン—グラウンド間 (HV+ — グランド) への印加

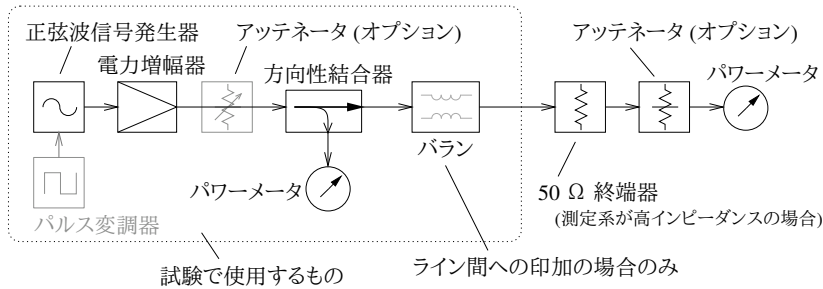


図 10: 過渡イミュニティ試験のレベル設定のセットアップの例 — 試験パルス A

試験周波数 f_{PWM}	周波数 ステップ	試験電圧 U_{pp} (V) ^c 厳しさレベル				ステップ毎の ドウェル・タイム (s)	試験結合
		I	II	III	IV		
オプション: < 3 kHz ^a	a	a	a	a	b	2	HV+ - HV-
3 kHz ~ 30 kHz	例えば 1 kHz	5	15	25	b		HV+ - グランド
30 kHz ~ 300 kHz	例えば 10 kHz	0.5	1.5	2.5	b		HV- - グランド

- a 3 kHz 以下の関係する高調波を伴う用途のためのオプションの試験周波数と厳しさレベル: 詳細は試験計画書で規定。厳しさレベルは HV 公称電圧と関係する (例えば 5% から 10%)。
- b 特別な用途のための厳しさレベル: 詳細は試験計画書で規定。
- c 試験電圧は開放負荷条件で設定する。

表 2: 試験パルス B のパラメータ (ISO/TS 7637-4:2020 Table A.2 より)

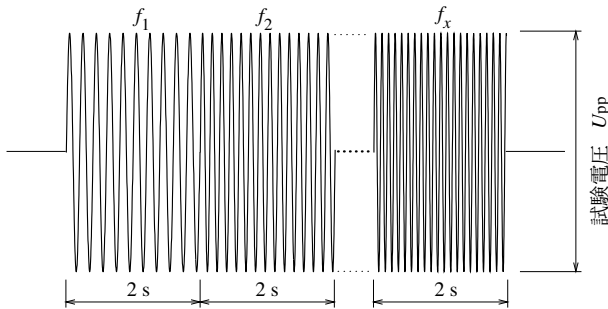


図 11: 過渡イミュニティ試験 — 試験パルス B

- * 二次巻線の電流容量が DUT の電源電流よりも大きく、
- * 想定される最大の電源電流に対しても二次巻線での電圧降下が大きすぎない。
- インラインでの印加ではシールドされた高圧ケーブルの途中に結合トランスを割り込ませることになるだろうが、高圧ケーブルのシールドの連続性を保つように配慮が必要となるかも知れない。^{†9}

^{†9} あるいは、結合トランスの二次側の配線を HV-AN のシールド・ボックスに引き込んでその中で接続を行なうような方法も考えられるかも知れない。

これは高圧ケーブルの途中への他の接続についても同様である。^{†10}

- ライン—グランド間の印加 (図 13) では結合トランスと直列に直流を阻止するためのコンデンサを入れることが必要となる。このコンデンサについては 100 nF という値が例示されている以外の要求事項は示されていないが、少なくとも次のような条件を満たすことが必要となりそうである:
 - 試験周波数範囲で低インピーダンスを与える;^{†11}
 - 高圧電源に対して適切な電圧定格を持つ;
 - 注入される妨害電流に安全に耐える。
- 注入された妨害電流を観測したい場合は、結合トランスと直列に電流監視用の機器、例えば電流プローブ (オシロスコープに接続される) を入れることができる。

^{†10} ライン—グランド間の印加については、図 13 のように高圧ケーブルの途中に接続するのではなく、図 5 のように HV-AN のシールド・ボックスの中で接続することもできるかも知れない。

^{†11} 上述のように 100 nF という値が例示されている (Figure 7) が、100 nF の 3 kHz でのインピーダンスは 530 Ω となるので、3 kHz からの試験の場合でもこれよりもかなり大きい容量のコンデンサの使用を考慮すべきかも知れない。

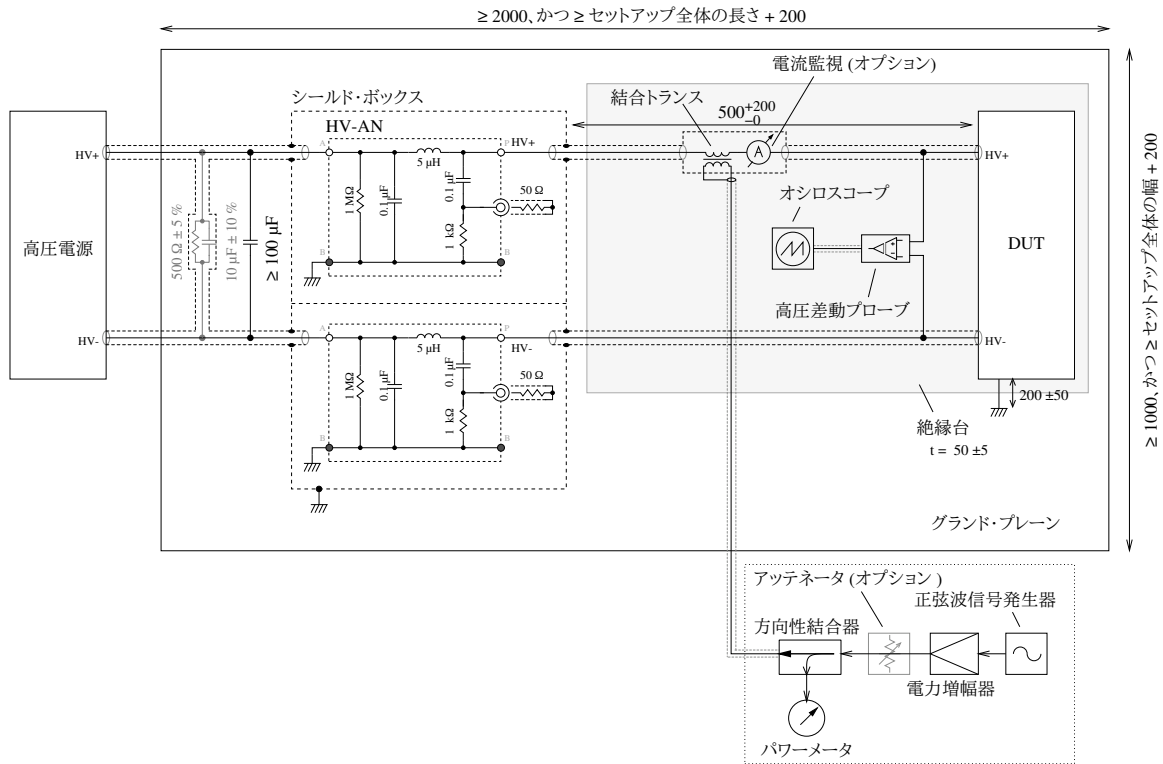


図 12: 過渡イミュニティ試験セットアップの例 — 試験パルス B, インライン (HV+) の印加

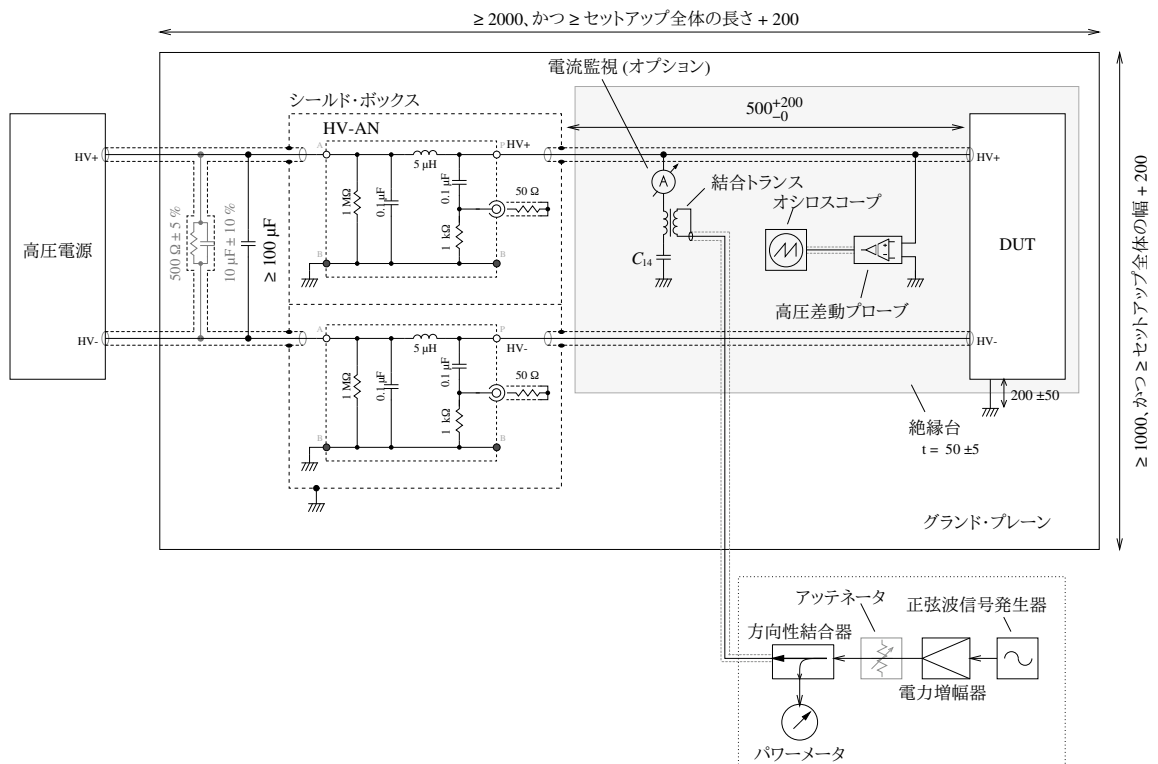


図 13: 過渡イミュニティ試験セットアップの例 — 試験パルス B, ライン—グラウンド間 (HV+ — グランド) への印加

これは電源電流の監視を意図したものではないが、インラインの場合は DUT への電源電流も重畳するため、電源電流の影響の考慮も必要となるかも知れない。

4.2.1 試験レベルの設定

試験パルス A と同様に試験は進行波電力を制御パラメータとした置換法で行なわれる。試験電圧は開放負荷条件での出力電圧で規定され、試験電圧の設定は試験に先立って図 14 のような構成で、高入力インピーダンスの測定系を用いて行なえるだろう。

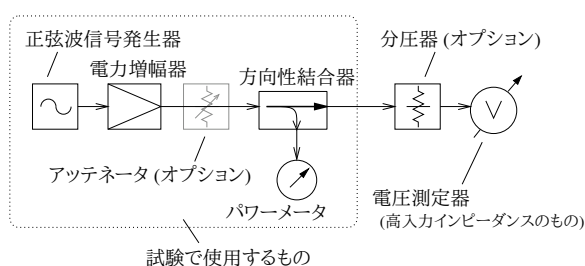


図 14: 過渡イミュニティ試験のレベル設定のセットアップの例 — 試験パルス B

試験時にも電圧プローブを接続して（図 12, 図 13）電圧波形を監視できるようにするが、これは試験レベルの調整には用いない。試験時の電圧波形の確認や記録の要求はないが、電圧波形の確認と記録を行なうことは良い考えかも知れない。

4.2.2 試験

試験パルス B での試験セットアップの例を図 12 と図 13 に示す。

5 参考資料

- [1] ISO/TS 7637-4:2020, *Road Vehicles — Electrical disturbance by conduction and coupling — Part 4: Electrical transient conduction along shielded high voltage supply lines only*
- [2] ISO 7637-1, *Road vehicles — Electrical disturbances from conduction and coupling — Part 1: Definitions and general considerations*

[3] ISO 7637-2, *Road vehicles — Electrical disturbances from conduction and coupling — Part 2: Electrical transient conduction along supply lines only*

[4] ISO 7637-3, *Road vehicles — Electrical disturbances from conduction and coupling — Part 3: Electrical transient transmission by capacitive and inductive coupling via lines other than supply lines*

[5] ISO 7637-2 & ISO 7637-3 の概要, 株式会社 e・オートマ, 2017,

<https://www.emc-ohtama.jp/emc/reference.html>

[6] ISO 11452-10, *Road vehicles — Component test methods for electrical disturbances from narrow-band radiated electromagnetic energy — Part 10: Immunity to conducted disturbances in the extended audio frequency range*

[7] ISO 11452 シリーズの概要, 株式会社 e・オートマ, 2014–2018,

<https://www.emc-ohtama.jp/emc/reference.html>