

様々な LISN の構成と特性

株式会社 e・オータマ 佐藤智典

2025 年 5 月 7 日

目次

1	概要	1
2	測定器	2
2.1	減衰量の測定	2
2.2	インピーダンスの測定	2
2.3	測定用アダプタ	2
3	LISN の例	2
3.1	CISPR 16-1-2 (50 Ω / 50 μ H + 5 Ω LISN, 50 Ω / 50 μ H LISN)	2
3.1.1	インピーダンス	3
3.1.2	アイソレーション	4
3.1.3	電圧分圧比 (挿入損失)	4
3.2	ANSI C63.4 (50 Ω / 50 μ H + 5 Ω LISN, 50 Ω / 50 μ H LISN)	5
3.2.1	インピーダンス	5
3.2.2	電圧分圧比 (挿入損失)	6
3.3	CISPR 25, ISO 11452-1 (5 μ H LISN)	6
3.3.1	インピーダンス	6
3.3.2	電圧分圧比 (挿入損失)	7
3.4	ISO 7637-2 (5 μ H LISN)	7
3.4.1	インピーダンス	7
3.4.2	電圧分圧比 (挿入損失)	8
3.5	MIL-STD-461G (50 μ H LISN)	8
3.5.1	インピーダンス	8
3.5.2	補正係数	8
3.6	DO-160G (5 μ H LISN)	9
3.6.1	インピーダンス	9
3.6.2	補正係数	10
4	補足	10
4.1	アッテネータ	10
4.2	過渡過電圧	10
4.3	電源周波数の影響	11
4.4	漏洩電流	12
5	参考資料	12

1 概要

LISN (line impedance stabilization network; 電源インピーダンス安定化回路網)^{†1}は

- EUT から見た電源インピーダンスを管理し、電源側のインピーダンスの測定結果への影響を低減する、
- 電源電圧を阻止しながら、電源線上的の高周波成分をテスト・レシーバなどの測定器に伝えて測定できるようにする、
- 電源側から伝わるノイズを低減させ、その測定への影響を低減する^{†2}

といった役割を持ち、EMC 試験で頻繁に用いられる。

本稿では代表的ないくつかの規格で定められている LISN について、その主要な特性、また特性の測定の方法を解説する。

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 (§5) を参照していただきたい。



LISN の例 (写真は Rohde & Schwarz 社の厚意による)

^{†1} 規格によって AMN (artificial mains network; 疑似電源回路網)、AN (artificial network; 疑似回路網) などとも呼ばれるが、本稿では LISN と呼ぶ。

^{†2} LISN のノイズ低減の能力は限定的なものであり、電源側からのノイズの影響を排除するためには外付けのフィルタなどが必要となるかも知れない。

2 測定器

2.1 減衰量の測定

本稿では減衰量の測定を信号発生器とレシーバを用いて行なうように示しているが、実際にはこの測定にはネットワーク・アナライザが用いられることも多い。

以下で信号発生器とレシーバを用いて減衰量を測定するように示している箇所は、測定にベクトル・ネットワーク・アナライザ (VNA) を用いる場合はそれぞれポート x とポート y を用いて S_{yx} を測定することに、例えばポート 1 とポート 2 を用いて S_{21} を測定することに相当する。

2.2 インピーダンスの測定

インピーダンスの測定は、例えば LCR メータ、インピーダンス・アナライザ、ネットワーク・アナライザなどで行なうことができるだろう。

このうち、ベクトル・ネットワーク・アナライザ (VNA) は複素インピーダンス、電圧分圧比、アイソレーションの全てを単一の測定器で測定でき、その使用が好まれるかも知れない。だが、VNA は低い周波数範囲で見られる低インピーダンスの測定^{†3}などで測定の不確かさが特に大きくなる傾向があり^{[8][9]}、LISN のインピーダンスの精密な測定のための使用には適さないものとなるかも知れない。

2.3 測定用アダプタ

LISN の EUT ポートには同軸コネクタを直接接続することができず、インピーダンスや電圧分圧比 (挿入損失) などの測定に際してはアダプタを介して測定器に接続することになる。

規格ではこのアダプタについての具体的な規定はないが、このアダプタは特に高い周波数範囲での測定結果に無視できない影響を与えることが予想されるため、その測定への影響を考慮し、またその影響を不確かさに加味することが必要となるであろう。

このアダプタに関する議論は例えば [10]～[13] に見られる。

^{†3} 高インピーダンスの測定でも同様に測定の不確かさが大きくなる傾向が見られるだろうが、LISN のインピーダンスの測定ではそのような高インピーダンスの測定は必要とならないだろう。

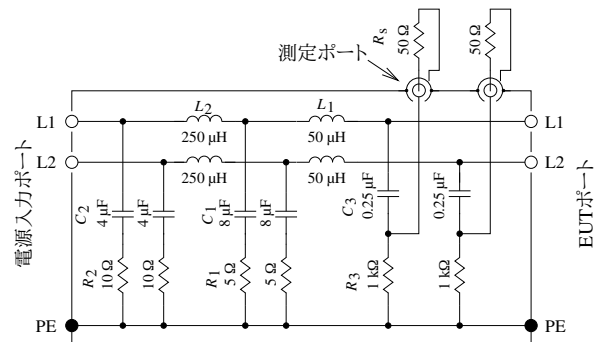


図 1: 50 Ω / 50 μH + 5 Ω LISN (9 kHz～150 kHz) の原理 (CISPR 16-1-2) — 単相電源用

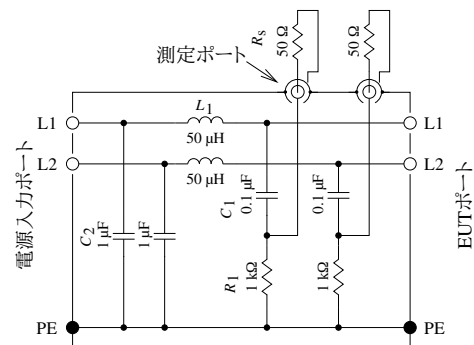


図 2: 50 Ω / 50 μH LISN (150 kHz～30 MHz) の原理 (CISPR 16-1-2, ANSI C63.4) — 単相電源用

3 LISN の例

3.1 CISPR 16-1-2 (50 Ω / 50 μH + 5 Ω LISN、50 Ω / 50 μH LISN)

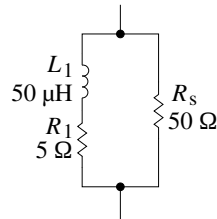
CISPR 16-1-2^[1] で規定されている、良く参照されるであろう LISN (V-AMN)^{†4}は、

- 50 Ω / 50 μH + 5 Ω LISN — 9 kHz～150 kHz
- 50 Ω / 50 μH LISN — 150 kHz～30 MHz

で、それぞれの基本回路は図 1、及び図 2 に示すようなものとなる。

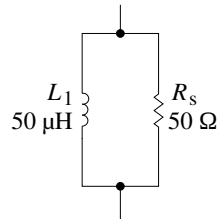
9 kHz～150 kHz は 50 Ω / 50 μH + 5 Ω LISN、150 kHz～30 MHz は 50 Ω / 50 μH LISN でカバーされるが、単一の LISN で双方の要求を満足させることも可能で、しばしばそのようにされている (図 6)。

^{†4} V-AMN の V は、その文字の頂点をグラウンド、それぞれの端点を 2 線のそれぞれのラインに見立てて、グラウンドに対するそれぞれのラインの電圧が測定されることを示す。本稿で触れる回路網は、そのような呼び方をされないとしても、全て同様にグラウンドに対するそれぞれのラインの電圧を測定するものである。他のタイプの回路網、例えば Δ-AMN については本稿では触れない。



$$Z = R_s \parallel (j\omega L_1 + R_1)$$

図 3: 50 Ω / 50 μH + 5 Ω LISN のインピーダンスの単純化された等価回路 (CISPR 16-1-2, 9 kHz~150 kHz)



$$Z = R_s \parallel j\omega L_1$$

図 4: 50 Ω / 50 μH LISN のインピーダンスの単純化された等価回路 (CISPR 16-1-2, 150 kHz~30 MHz)

これらの LISN の測定ポートは、測定時には内蔵か外付けの 10 dB アッテネータ (§4.1; ここでは図示していない) を介してレシーバの 50 Ω 入力に接続され、その他の場合は内蔵か外付けの 50 Ω 終端器で終端される。^{†5}

3.1.1 インピーダンス

CISPR 16-1-2 はこれらの LISN の EUT ポートと基準接地のあいだのインピーダンスの大きさと位相角の要求を含む。^{†6}

このインピーダンスの基準値は図 1 や図 2 の回路から求めることもできるが、CISPR 16-1-2 ではその代わりにそれぞれ 図 3 と図 4 のような単純化した等価回路が用いられ^{†7}、これらの回路から求めたインピーダンスの基準値は図 5 のようになる。

これらの LISN の EUT ポートで測定されたインピーダンスの大きさはこの基準値の ±20 % の、インピーダンスの位相角は ±11.5° の範囲内になければならない。

^{†5} 図 1 や図 2 ではそれぞれのラインに同軸コネクタが付けられているように示しているが、実際の LISN は同軸コネクタに接続するラインをスイッチで選択するように、そしてその他のラインは内蔵の終端器で終端されるようになっていることが多い。

^{†6} 位相角の規定は CISPR 16-1-2:2003/A2:2006 で導入された。

^{†7} ω は角周波数で $\omega = 2\pi f$ 、 $\parallel$ は並列演算子で $a \parallel b = ab/(a + b)$ である。

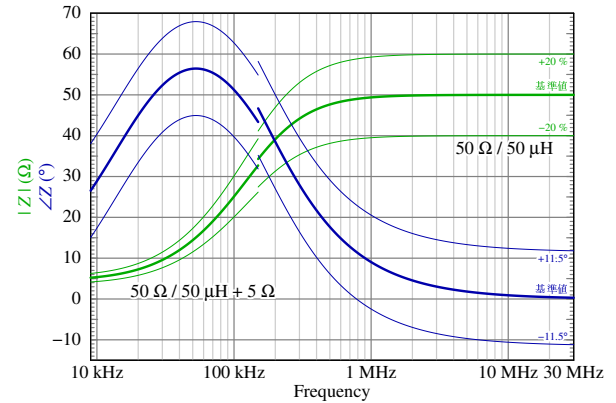


図 5: 50 μH / 50 Ω + 5 Ω LISN、及び 50 μH / 50 Ω LISN のインピーダンスの基準値と許容幅 (CISPR 16-1-2)

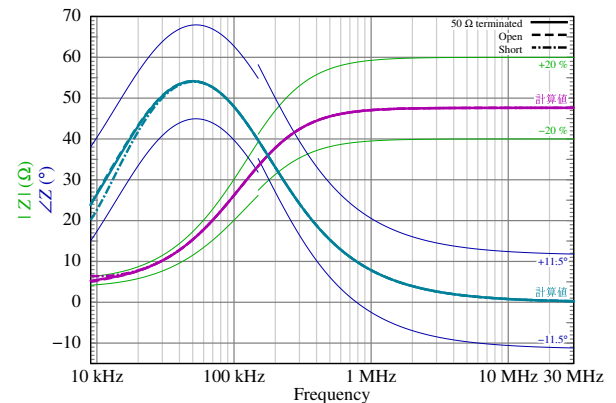


図 6: CISPR 16-1-2 の 50 μH / 50 Ω + 5 Ω LISN のインピーダンスの計算値

この要求は電源入力ポートと基準接地のあいだに短絡を含む任意のインピーダンスを接続した状態で満たされるべきであるが、規格ではこの測定は電源入力ポートを 50 Ω で終端した状態で行なうべきと述べられている。だが、幸い、一般には電源入力ポートの終端インピーダンスのこの測定の結果への影響はそれほど大きくない。

参考のため、図 1 の 50 Ω / 50 μH + 5 Ω LISN と図 2 の 50 Ω / 50 μH LISN の電源入力ポートを開放 (実線) と短絡 (破線) とした状態におけるインピーダンスの計算値を図 6 と図 7 に示すが、50 Ω / 50 μH + 5 Ω LISN で 150 kHz~30 MHz の要求も満たせるであろうこと、また電源入力ポートを開放とした状態と 50 Ω で終端した状態でのインピーダンスの違いがそれほど大きくないであろうことがわかるであろう。

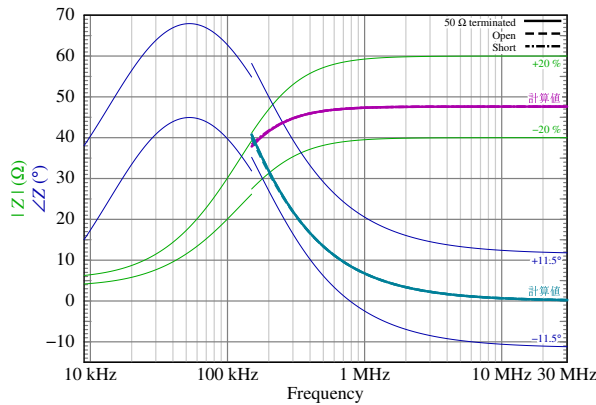


図 7: CISPR 16-1-2 の 50 μ H / 50 Ω LISN のインピーダンスの計算値

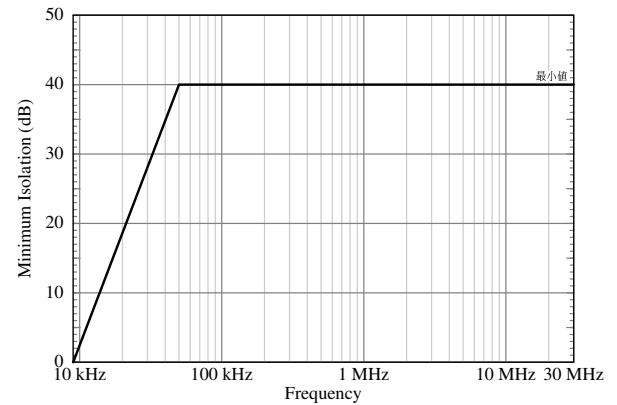


図 9: 50 μ H / 50 Ω + 5 Ω LISN、及び 50 μ H / 50 Ω LISN のアイソレーションの最小値 (CISPR 16-1-2)

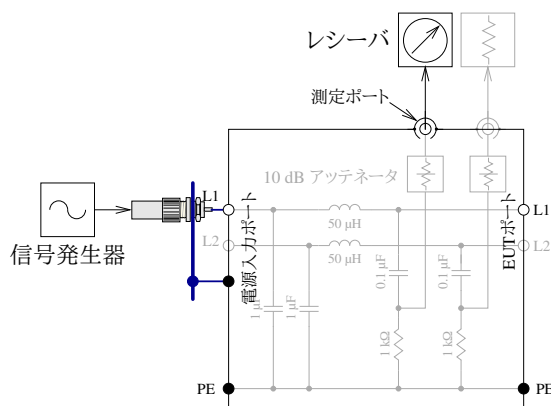


図 8: アイソレーションの測定

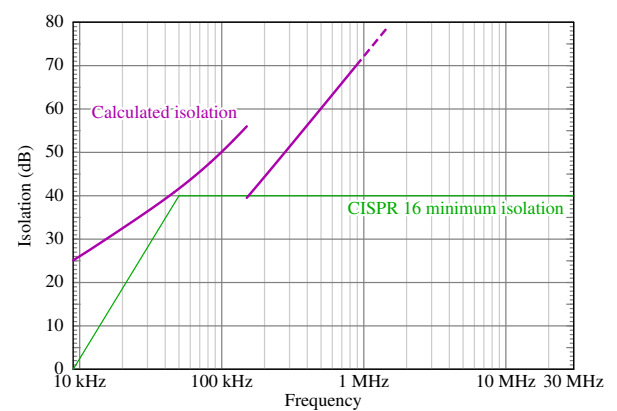


図 10: 50 μ H / 50 Ω + 5 Ω LISN、及び 50 μ H / 50 Ω LISN のアイソレーションの計算値

3.1.2 アイソレーション

これらの LISN の電源入力ポートと測定ポートのあいだのアイソレーション (減衰量) は図 9 で示す値以上であることが求められる。

このアイソレーションの測定は図 8 に示すような形で行なうことができる。対象の LISN がアッテネータ (§4.1) を含む場合、アイソレーションはこの方法での測定の結果からそのアッテネータの減衰量を差し引いて求められる。

参考のため、図 1 と図 2 の LISN のアイソレーションの計算値を図 10 に示す。

3.1.3 電圧分圧比 (挿入損失)

測定ポートで測定された電圧から EUT ポート上の妨害電圧を求めるためには LISN の電圧分圧比 (挿入損失) の情報が必要となる。

これらの LISN の電圧分圧比 (挿入損失) の測定は、図 11 に示すように、

- 図 11 (a) で示すように、測定対象の LISN の測定ポートを 50 Ω で終端した状態で信号発生器とレシーバ^{†8}を測定対象の EUT ポートに T コネクタで接続してノーマライズを行ない、^{†9}
- 図 11 (b) で示すように、測定対象の LISN の測定ポートにレシーバ、ノーマライズに際してレシーバが接続されていた位置に 50 Ω 終端器を接続して (言い換えると、レシーバと 50 Ω 終端器を入れ替えて) 減衰量の測定を行なう

ことで行なえる。

^{†8} 煩雑となるため、この説明では図 11 で示す 10 dB アッテネータについては省略し、例えば “信号発生器を 10 dB アッテネータを介して接続し” ではなく単に “信号発生器を接続し” のように表記する。

^{†9} これにより EUT ポートのインピーダンスの影響を除いて電圧分圧比の測定を行なうことができる。

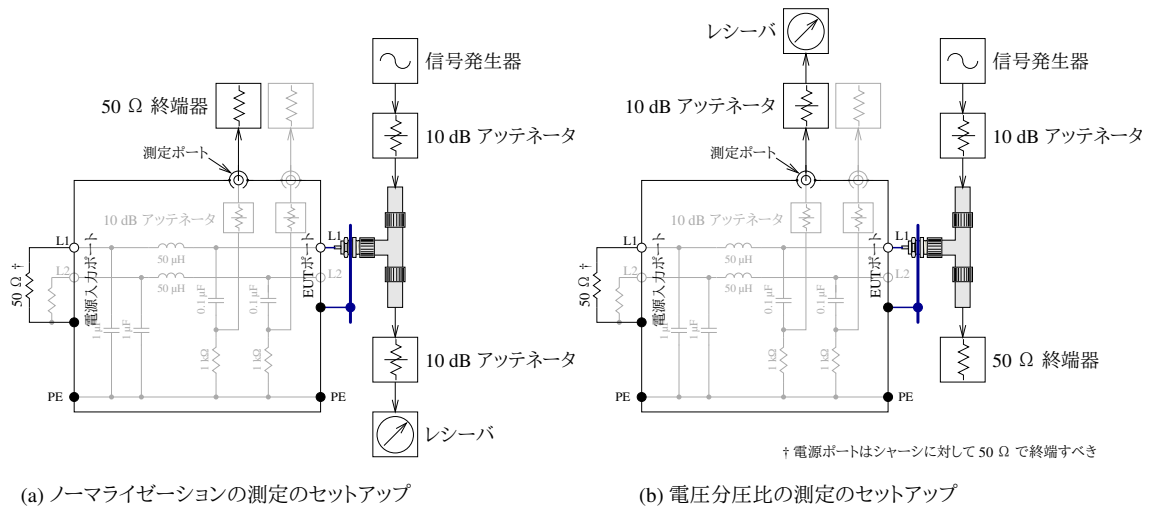


図 11: 電圧分圧比の測定 (CISPR 16-1-2)

3.2 ANSI C63.4 (50 Ω / 50 μH + 5 Ω LISN、50 Ω / 50 μH LISN)

ANSI C63.4^[2] も CISPR 16-1-2 と似た

- 50 Ω / 50 μH + 5 Ω LISN — 9 kHz～30 MHz (通常は 9 kHz～150 kHz)
- 50 Ω / 50 μH LISN — 150 kHz～30 MHz

の規定を含む。

これらの LISN のうち、50 Ω / 50 μH LISN の基本回路は CISPR 16-1-2 のもの (図 2) と同様であるが、50 Ω / 50 μH + 5 Ω LISN の基本回路 (図 12) は CISPR 16-1-2 のもの (図 1) と似ているものの C_3 (図 2 では C_2) の定数に相違がある。^{†10}

3.2.1 インピーダンス

ANSI C63.4 では LISN のインピーダンスはその大きさのみが規定されており、CISPR 16-1-2 (§3.1)

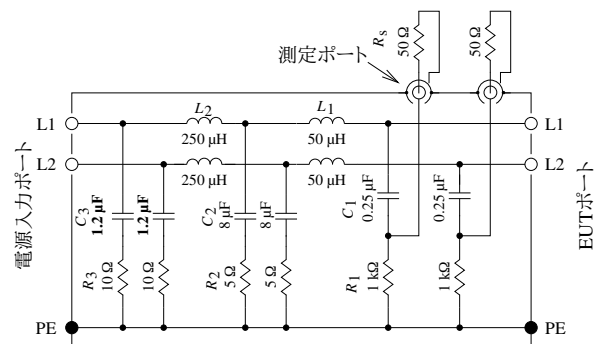


図 12: 50 Ω / 50 μH + 5 Ω LISN (9 kHz～150 kHz) の原理 (ANSI C63.4) — 単相電源用

で見られるようなインピーダンスの位相角の規定はない。

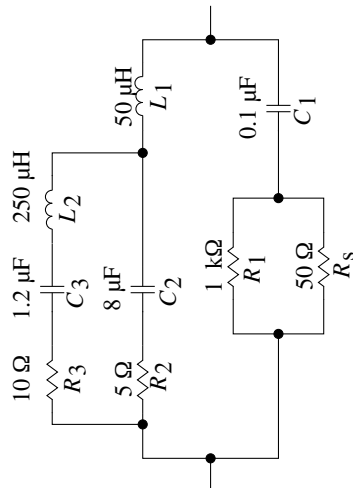
また、その基準値を単純化された等価回路から求めるようになっている CISPR 16-1-2 (§3.1) と異なり、ANSI C63.4 ではインピーダンスの基準値はそれぞれの LISN の基本回路 (図 12, 図 2) そのものに基づいた、また電源入力ポートを開放とした状態で求められており、この回路をインピーダンスの計算が分かりやすいように書き直したものは図 13 と図 14 のように、またこの回路から求めたインピーダンスの基準値は図 15 と図 16 のようになる。^{†12}

これらの LISN の EUT ポートで測定されたインピーダンスの大きさはこの基準値の ±20 % の、また EUT ポートの延長コードの先で測定されたインピーダンスの大きさはこの基準値の -20 % から

^{†10} この定数の違いの影響は限定的であるものの、LISN の電源入力ポートを開放とした状態での低い周波数でのインピーダンスに有意な違いを生じる。例えば 9 kHz における計算上のインピーダンスは $C_3 = 1.2 \mu\text{F}$ の場合は 3.856Ω であるのに対して $C_3 = 4 \mu\text{F}$ の場合は 5.04Ω となる。^{†11} また、図 12 から求められた 9 kHz におけるインピーダンスの 3.856Ω に対して、図 3 の CISPR 16-1-2 の単純化された等価回路の 9 kHz におけるインピーダンスは 5.251Ω となり、有意な違いを生じる。

^{†11} C_3 が大きい時にインピーダンスが高くなるのが奇妙に思えるかも知れないが、これは異常ではない。9 kHz における $1.2 \mu\text{F}$ のリアクタンスは $-j14.7 \Omega$ 、 $250 \mu\text{F}$ のリアクタンスは $+j14.1 \Omega$ で直列共振点に近く、その直列回路は 9 kHz 付近で低いインピーダンスを示すが、 C_3 が大きくなると共振点から外れてその直列回路のインピーダンスは高くなる。

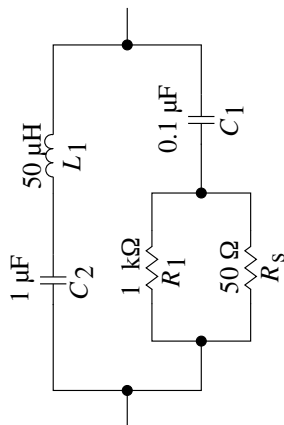
^{†12} 高い周波数でのインピーダンスの大きさが 50Ω でなく 47.6Ω ($50 \Omega \parallel 1 \text{k}\Omega$) に漸近していることからわかるように、これらのインピーダンスは CISPR 16-1-2 のもの (図 5) とは相違がある。



$$Z = \left(1/(j\omega C_1) + R_s \parallel R_1 \right) \parallel$$

$$\left(j\omega L_1 + \left(1/(j\omega C_2) + R_2 \right) \parallel \left(j\omega L_2 + 1/(j\omega C_3) + R_3 \right) \right)$$

図 13: 50 Ω / 50 μH + 5 Ω LISN のインピーダンスの等価回路 (ANSI C63.4, 9 kHz~150 kHz)



$$Z = \left(1/(j\omega C_1) + R_s \parallel R_1 \right) \parallel \left(j\omega L_1 + 1/(j\omega C_2) \right)$$

図 14: 50 Ω / 50 μH LISN のインピーダンスの等価回路 (ANSI C63.4, 150 kHz~30 MHz)

+30 % の範囲内になければならない。

この測定は LISN の電源入力ポートを開放として、但しその LISN が追加のフィルタとともに用いられる場合は LISN にフィルタを接続してその電源入力側を開放として行なうことができる。

3.2.2 電圧分圧比 (挿入損失)

こお LISN の電圧分圧比 (挿入損失) は、CISPR 16-1-2 (§3.1.3) の場合と同様の方法で、だが電源入力ポートを開放のままとして図 17 に示すような形で測定することができる。

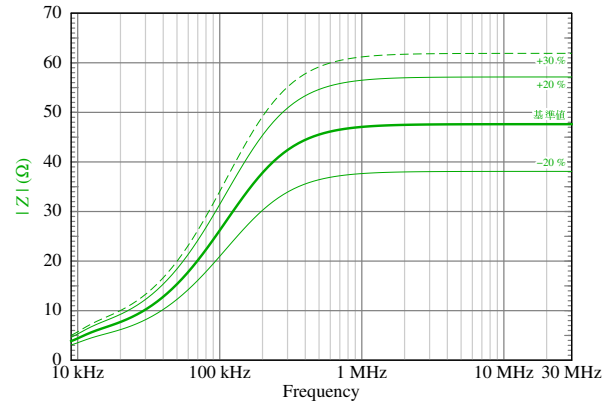


図 15: 50 μH / 50 Ω + 5 Ω LISN のインピーダンスの基準値と許容幅 — ANSI C63.4

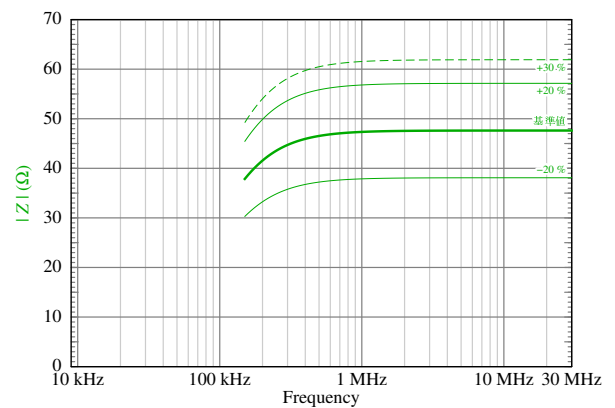


図 16: 50 μH / 50 Ω LISN のインピーダンスの基準値と許容幅 — ANSI C63.4

3.3 CISPR 25, ISO 11452-1 (5 μH LISN)

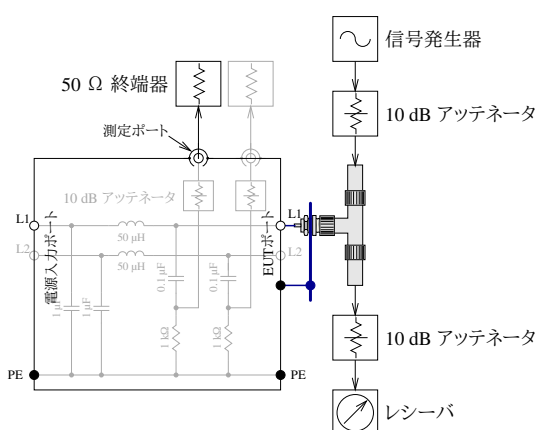
CISPR 25^[3] や ISO 11452-1^[4] で規定されている LISN (AN) の基本回路は図 18 のようなものとなる。

3.3.1 インピーダンス

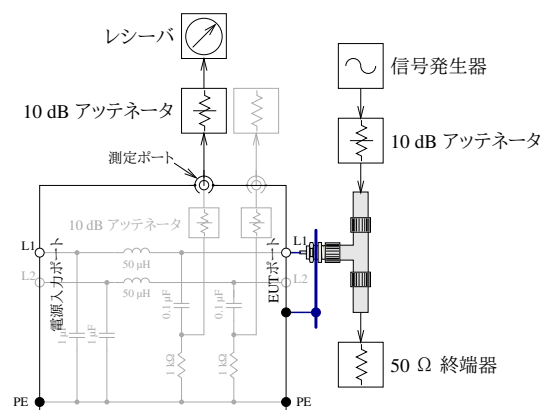
この LISN (図 18) の EUT ポート (P-B 間) のインピーダンスは電源入力ポート (A-B 間) を短絡した状態で測定するように規定されており、この回路をインピーダンスの計算が分かりやすいように書き直したものは図 19 のように、またこの回路から求めたインピーダンスの基準値は図 20 のようになる。

この LISN の EUT ポートで測定されたインピーダンスの大きさはこの基準値の ±20 % の範囲内になければならない。

このインピーダンスの測定は電源入力ポートを短

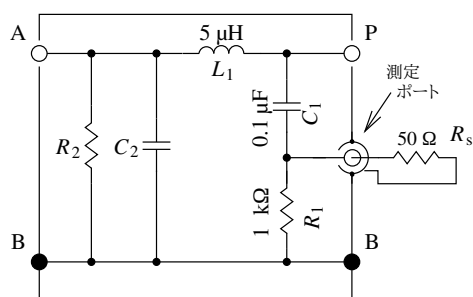


(a) ノーマライゼーションの測定のセットアップ



(b) 電圧分圧比の測定のセットアップ

図 17: 電圧分圧比の測定 (ANSI C63.4)



AN	C_2	R_2
AN (LV-AN)	1 μ F	—
HV-AN	0.1 μ F	1 M Ω
DC-charging-AN	1 μ F†	1 M Ω

† 他の値の使用は正当化すること

図 18: 5 μ H LISN の原理 (CISPR 25) — 単線用

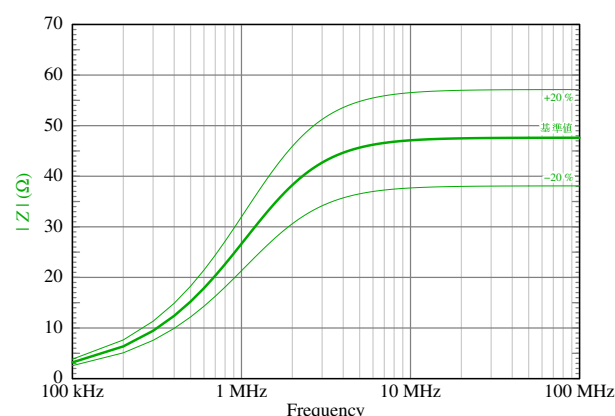
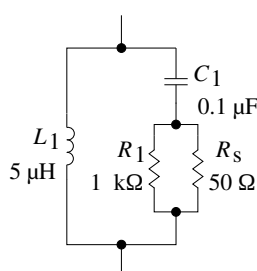


図 20: 5 μ H/50 Ω AN のインピーダンスの基準値と許容幅 (CISPR 25)



$$Z = \left(\frac{1}{j\omega C_1} + R_1 \parallel R_s \right) \parallel j\omega L_1$$

図 19: 5 μ H LISN のインピーダンスの等価回路 (CISPR 25)

絡して行なうように規定されているものの、電源入力部のコンデンサのオープン故障などがあつたとしてもこの測定では全く検出されないため、この測定に加えて電源入力ポートを開放とした状態でのインピーダンスの確認も行なう価値があるかも知れない。

3.3.2 電圧分圧比 (挿入損失)

この LISN の電圧分圧比 (挿入損失) は ANSI C63.4 (§3.2.2) と同様の方法で測定できる。

3.4 ISO 7637-2 (5 μ H LISN)

ISO 7637-2^[5] で規定されている LISN (AN) の基本回路は図 21 のようなものとなる。図 21 から明らかなように、この LISN は、本稿で示す他の LISN と異なり電源入力側のコンデンサを含まない。

3.4.1 インピーダンス

この LISN の EUT ポート (P-B 間) のインピーダンスも電源入力ポート (A-B 間) を短絡した状態で測定するように規定されており、この回路をイン

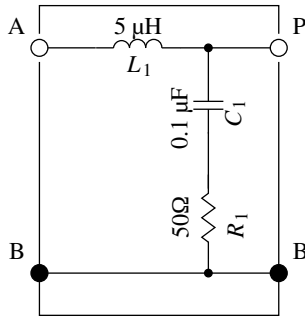
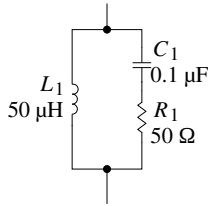


図 21: 5 μH LISN の原理 (ISO 7637-2) — 単線用



$$Z = \left(\frac{1}{j\omega C_1} + R_1 \right) \parallel j\omega L_1$$

図 22: 5 μH LISN のインピーダンスの等価回路 (ISO 7637-2)

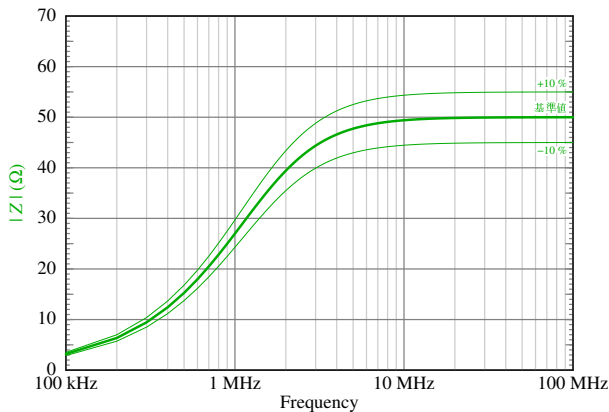


図 23: 5 μH/50 Ω AN のインピーダンスの基準値と許容幅 (ISO 7637-2)

ピーダンスの計算が分かりやすいように書き直したものは図 22 のように、またこの回路から求めたインピーダンスの基準値は図 23 のようになる。

この LISN の EUT ポートで測定されたインピーダンスの大きさはこの基準値の ±10 % の範囲内になければならない。

3.4.2 電圧分圧比 (挿入損失)

この LISN は測定ポートを持たず、電圧分圧比 (挿入損失) の測定の対象にはならない、

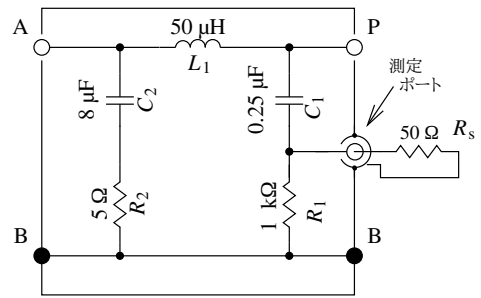
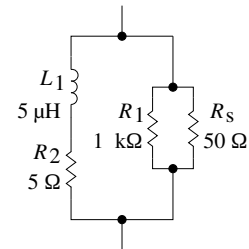


図 24: 50 μH LISN の原理 (MIL-STD-461G) — 単線用



$$Z = (R_1 \parallel R_s) \parallel (j\omega L_1 + R_2)$$

図 25: 50 μH LISN のインピーダンスの等価回路 (MIL-STD-461G)

3.5 MIL-STD-461G (50 μH LISN)

MIL-STD-461G^[5] で規定されている LISN の基本回路は図 24 のようなものとなる。

3.5.1 インピーダンス

この LISN (図 24) の EUT ポート (P-B 間) のインピーダンスは電源入力ポート (A-B 間) を開放とした状態で測定するように規定されており、この回路 (コンデンサは無視している) をインピーダンスの計算が分かりやすいように書き直したものは図 25 のように、またこの回路から求めたインピーダンスの基準値は図 26 のようになる。

この LISN の EUT ポートで測定されたインピーダンスの大きさはこの基準値の ±20 % の範囲内になければならない。

3.5.2 補正係数

CE102 (伝導エミッション、無線周波電圧、電源線) の測定で必要となる LISN の補正係数はコンデンサ C_1 ($= 0.25 \mu\text{F}$) での電圧降下を補正するものとあり、 C_1 と $R_s \parallel R_1$ から成る分圧回路の分圧比の逆数、

$$\left| \frac{1/(j\omega C_1) + R_s \parallel R_1}{R_s \parallel R_1} \right|$$

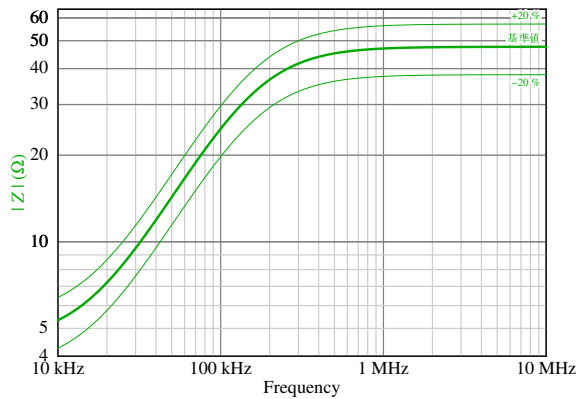


図 26: 50 μ H LISN のインピーダンスの基準値と許容幅 (MIL-STD-461G)

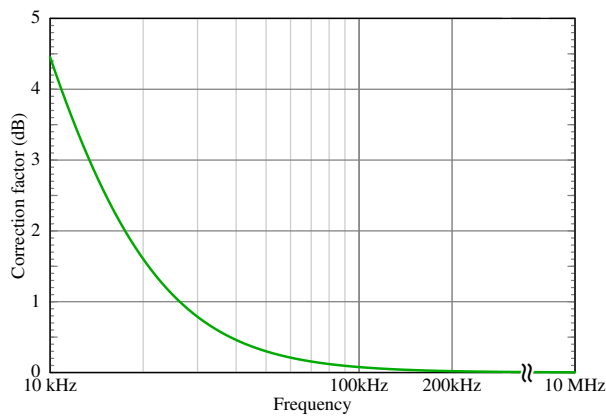


図 27: 50 μ H LISN の補正係数 (MIL-STD-461G)

より求めると、MIL-STD-461G Figure A-11 に示されているように図 27 のようになる。

この特性の確認の方法は MIL-STD-461G にインテグリティ・チェックとして含まれている。

3.6 DO-160G (5 μ H LISN)

この規格のインピーダンスの要求に適合する LISN は、例えば図 28 のようなものとなる。

この目的で CISPR 25 で用いられるような 5 μ H LISN (§3.3) を用いることもできるだろうが、この規格では LISN が 10 kHz よりも上で自己共振する場合は LISN の電源入力とグランド・プレーンのあいだに 10 μ F のコンデンサを挿入するように定められている。CISPR 25 で用いられるような 5 μ H LISN は入力段のコンデンサが 1 μ F の場合は約 70 kHz で共振を生じ、従って 図 29 のように 10 μ F のコンデンサを外付けすることが必要となる。

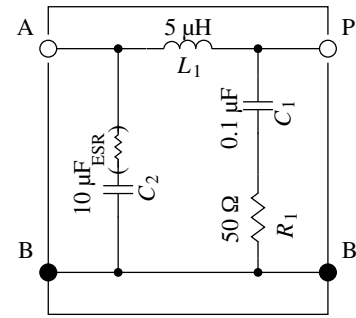


図 28: 5 μ H LISN の原理 (DO-160G)

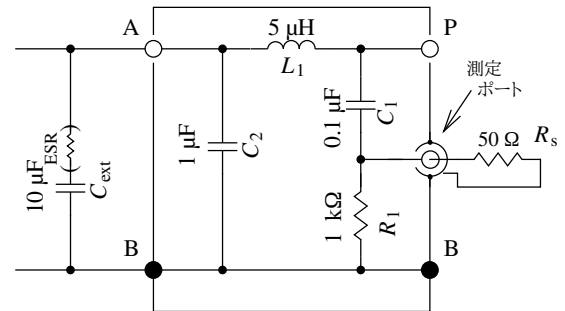
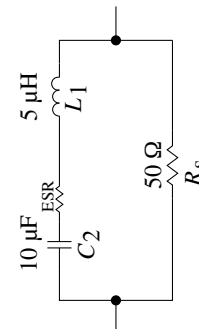


図 29: CISPR 25 などの 5 μ H LISN と外付けの 10 μ F コンデンサ (DO-160G)



$$Z = R_s \parallel (j\omega L_1 + 1/(j\omega C_2) + ESR)$$

図 30: 5 μ H LISN のインピーダンスの等価回路 (DO-160G)

3.6.1 インピーダンス

この LISN (図 28) の EUT ポートのインピーダンスは LISN の電源入力ポートが開放の状態で求められており、この回路をインピーダンスの計算が分かりやすいように書き直したものは図 30 のように、またこの回路から求めたインピーダンスの基準値は図 31 の緑の太線のようにになる。

この LISN (図 28) の EUT ポートで測定されたインピーダンスの大きさは、100 kHz ~ 150 MHz の範囲では基準値の $\pm 20\%$ の範囲内になければならない。150 MHz 以上ではこの許容幅は 400 MHz で

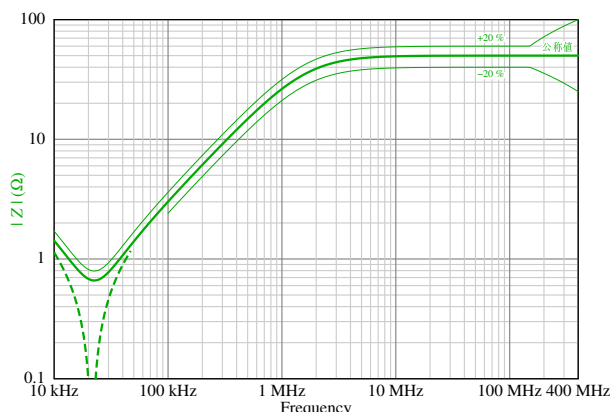


図 31: 5 μ H LISN のインピーダンスの基準値と許容幅 (DO-160G)

の $-50\% \sim +100\%$ に向けて緩和される。

この LISN は 20 kHz 強で直列共振を生じ、共振点付近でのインピーダンスは図 31 で緑の実線と破線で示したようにインダクタやコンデンサの等価直列抵抗 (ESR) に強く依存する。^{†13} このため、この規格では 100 kHz 以上ではインピーダンスの上限と下限 (図 31 で細線で示した) が規定されているが、100 kHz 以下についてはインピーダンスの上限のみが規定されている。

3.6.2 補正係数

この規格の範囲内では LISN の補正係数は必要とされない。

4 補足

4.1 アッテネータ

LISN を用いて伝導エミッションを測定する際、LISN の測定ポートは公称入力インピーダンス 50 Ω のレシーバなどの測定器に特性インピーダンス 50 Ω の同軸ケーブルを介して接続される。だが、測定ポートから見た LISN 側のインピーダンスはこれと整合しておらず、このインピーダンス不整合はエミッション測定の不確かさに有意に影響する。

この不整合に伴う不確かさを抑えるためにはその経路に整合の良いアッテネータを挿入することが有用である。CISPR 16-1-2 では VSWR 1.2 以

^{†13} 図 31 の緑の破線は ESR がゼロとした時の計算値。緑の実線は DO-160G Figure 20-1 のカーブに近づくように ESR を調整したもので、ESR を約 0.7 Ω として計算している。

下の 10 dB のアッテネータの使用が要求されており、LISN がこのアッテネータを内蔵していることもある。

整合の改善のためには 6~10 dB 程度の減衰量のアッテネータが用いられることが多いが、アッテネータは信号レベルの調整のために使用されることもあり、その場合は適切な減衰量のアッテネータが用いられる。

場合によっては、測定器 (レシーバ) を過負荷とすることを避けるため、大きな減衰量から段階的に減衰量を下げるような方法も用いられるかも知れない。

4.2 過渡過電圧

LISN の測定ポートに接続された測定器は、例えば次のような原因で発生する過渡過電圧を受けることがある：

- LISN に給電する電源のオン/オフ (図 32);^{†14}
- LISN に接続された EUT の電源のオン/オフやその他の理由による電源電流の急変 (図 33);
- 例えば誘導性負荷のオン/オフに伴う過渡過電圧。

このような過渡過電圧は測定器を損傷させる可能性があるため、適切な配慮が必要となる。

測定器とのあいだにパルス・リミッタ (トランジェント・サプレッサ、サージ・アブソーバ) を入れることは測定器の保護のために効果的^{†17}であり、このため、これが LISN に内蔵されていることもある。

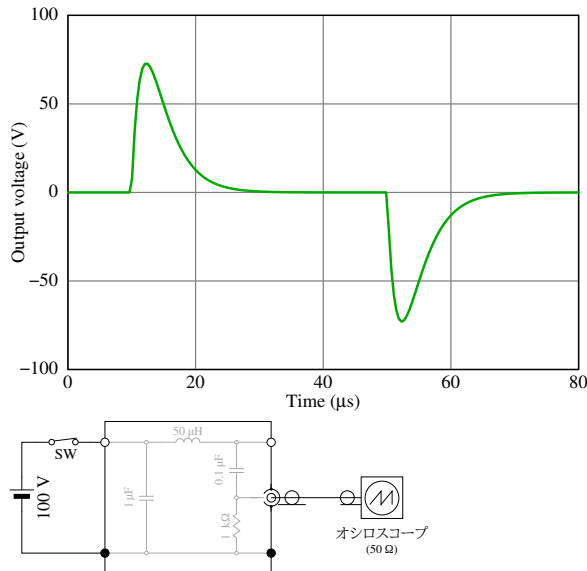
だが、パルス・リミッタによって引き起こされる波形の歪みは測定の結果への好ましくない影響を生

^{†14} 電源電圧は直列に入れられたコンデンサで概ね阻止される^{†15}が、電源のオン/オフ時に生じるような急峻な電圧変動は直列コンデンサを通過して測定ポートに出力され、接続されたレシーバなどに印加されることになる。

^{†15} 電源電圧の成分が完全に阻止されるわけではない。電源周波数が高い (例えば 400 Hz のような) 場合は特に、電源電圧の直列コンデンサを通じた漏洩、従って測定ポートに接続されたレシーバなどに定常的に印加される交流成分が有意に大きくなり、過負荷による機器の損傷、飽和による測定結果への影響などの問題を引き起こす可能性がある。

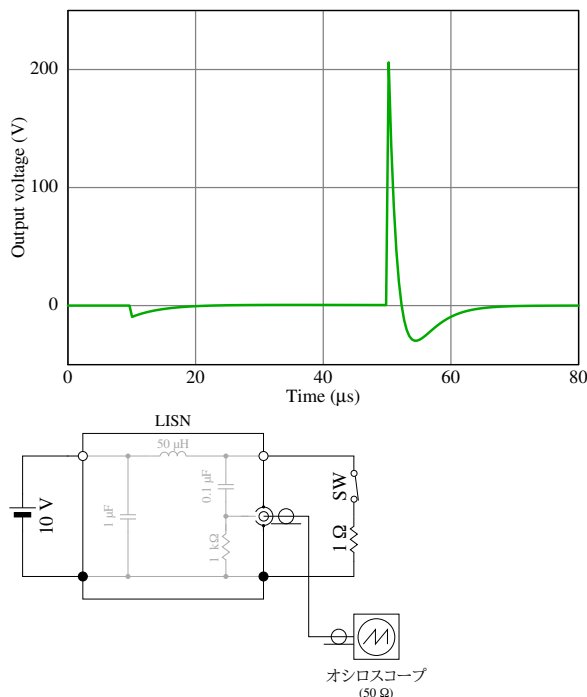
^{†16} そのタイプの LISN をこのような接続で用いることはないだろうが、このシミュレーションでは 50 Ω / 50 μ H LISN を想定した。

^{†17} パルス・リミッタはある範囲内の過渡的な過大入力に対する保護を行なうもので、連続的な過大入力に対する保護は行なえない。



LISN^{†16} の入力側で電源をオン/オフした場合、結合コンデンサの充電電流のために幅は短いが高レベルの過渡過電圧が出力され、接続された測定器を損傷させる可能性がある

図 32: 電源のオン/オフ時の測定ポートの出力電圧のイメージ



LISN^{†16} を通して給電される負荷のオン/オフ、あるいは負荷の急変があると、LISN 内のインダクタの起電力によって高レベルのスパイクが発生し、接続された測定器を損傷させる可能性がある。

図 33: EUT のオン/オフ時の測定ポートの出力電圧のイメージ

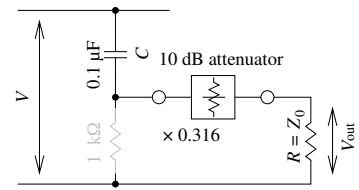


図 34: LISN の結合部を単純化したもの

じるため、測定時に有意な歪みを生じていないことを確かとすることが必要となるだろう。

このような歪みを生じていないことの確認は、例えば、パルス・リミッタの前にアッテネータを入れることが可能な場合、アッテネータを入れた時にスペクトラムが丁度アッテネータの減衰量の分だけ低下するかどうかを確認することで行なえるであろう。

4.3 電源周波数の影響

測定ポートに伝わる電源電圧成分は典型的には $0.1 \mu\text{F}$ や $0.25 \mu\text{F}$ の結合コンデンサ C で阻止することが意図されている (図 34) が、これによって電源電圧の影響をゼロとできるわけではなく、電源周波数成分がある程度は測定ポートに漏れることが想定される。このため、エミッション測定においては測定対象の高周波電圧にこの電源電圧成分が重畳したものをレシーバやスペクトラム・アナライザで分析することになる。

図 34 の結合コンデンサ $C = 0.1 \mu\text{F}$ の回路で、電源周波数 $f = 50 \text{ Hz}$ 、電源電圧 $V = 230 \text{ V}$ 、アッテネータの分圧比を $\times 0.316$ とした場合、電源電圧に伴う出力電圧は $V_{\text{out}} = V \cdot (2\pi f C) \cdot Z_0 \cdot 0.316 \approx 0.114 \text{ V} \approx 101 \text{ dB}\mu\text{V}$ という計算となる。

これは無視できるレベルというわけではなく、この影響を考慮した対応が必要となるかも知れないものの、おそらくはレシーバやスペクトラム・アナライザの能力によって電源周波数成分を排除して高周波成分の測定を行なうことが可能であろうし、測定者はそれに気づきさえしないかも知れない。

ここで、電源周波数 $f = 400 \text{ Hz}$ とすると、 $V_{\text{out}} \approx 0.913 \text{ V} \approx 119 \text{ dB}\mu\text{V}$ という計算となる。

このように電源周波数成分のレベルが高まるとレシーバやスペクトラム・アナライザによる分析に影響する可能性が、場合によっては過負荷とする可能性が予期される。また、信号の経路にパルス・リミッタが含まれる場合はその動作に伴う信号波形の歪み

を生じさせる可能性も高まる^{†18}であろうため、一層の注意が必要となりそうである。

必要な場合、信号の経路に高域通過フィルタを入れて電源周波数の成分を抑制することでこのような電源周波数成分の影響を軽減することが可能であり、また条件によってはその種の手段が不可欠となるかも知れない。

4.4 漏洩電流

§3 で述べたように、LISN の電源入力と接地のあいだには大抵は 1~10 μF のオーダーのコンデンサが入れている。このため、電源がフローティングとなっているのでない限り、このような LISN を交流電源に接続すると無視できない接地漏洩電流を生じる。

例えば電源が 230 V 50 Hz の場合の 1 線当りの漏洩電流^{†19}は、コンデンサの容量が 1 μF の場合で約 70 mA、10 μF の場合は約 700 mA となり、これはしばしば接地漏洩電流の限度として参照される 3.5 mA という値を大きく超える、人体に対して危険なレベルとなる。

通常、このような条件で用いられる LISN は電源ケーブルに含まれる保護接地線と筐体の接地 (グラウンド・プレーンに接続される) とで接地を行なえるようになっているので、電源を入れる前に双方の接地を確実に接続するように注意すべきであろう。^{†20}

また、商用電源に接続する場合、この漏洩電流は漏電遮断機 (15 mA 程度で作動することがある) や漏電警報機を作動させることがあるので、その防止のために絶縁変圧器^{†21}を介して接続するなどの対応も必要となりそうである。

電源周波数が高い場合、電源電圧が同一であれば

漏洩電流は周波数に応じて大きくなるため、一層の注意が必要となる。

例えば 115 V 400 Hz の場合でも、漏洩電流はコンデンサの容量が 1 μF の場合で約 170 mA、10 μF の場合は約 1.7 A となり、これは上記の 230 V 50 Hz の場合よりも顕著に大きいものとなる。

LISN は DC や 50~60 Hz の電源への対応のみが謳われていることがあるので、そのような LISN を他の電源条件で使用しようとする時には (また §3.6 で述べているような外付けの 10 μF コンデンサの選定に際しては) 事前にその電源条件での使用に関しての確認も必要となりそうである。

5 参考資料

- [1] CISPR 16-1-2:2014, *Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods — Part 1-2: Radio disturbance and immunity measuring apparatus — Coupling devices for conducted disturbance measurements*
- [2] ANSI C63.4-2014, *American National Standard for Methods of Measurement of Radio-Noise Emissions from Low-Voltage Electrical and Electronic Equipment in the Range of 9 kHz to 40 GHz*, IEEE, 2014
- [3] CISPR 25:2021, *Vehicles, boats and internal combustion engines – Radio disturbance characteristics – Limits and methods of measurement for the protection of on-board receivers*
- [4] ISO 11452-1:2015, *Road vehicles — Component test methods for electrical disturbances from narrowband radiated electromagnetic energy — General principles and terminology*
- [5] ISO 7637-2:2011, *Road vehicles — Electrical disturbances from conduction and coupling — Part 2: Electrical transient conduction along supply lines only*
- [6] MIL-STD-461G, *Requirements for the Control of Electromagnetic Interference Characteristics of Subsystems and Equipment*, Department of Defense, 2015
- [7] RTCA DO-160G, *Environmental Conditions and Test Procedures for Airborne Equipment*, RTCA, Inc., 2010

^{†18} これは電源周波数の高調波を生じるだけで、高周波電圧の測定にはさほど影響しないと考えられるかも知れない。だが、例えば妨害波形が電源電圧波形のピーク付近に同期して発生している場合に妨害波形が全てクリップされてしまうであろうことを考えればわかるように、これは高周波電圧の測定に大きな影響を与えるかも知れない。

^{†19} 中点接地の単相や中性点接地のスター結線の 3 相の場合は漏洩電流の相当の部分は加算されるのではなく相殺されるだろうが。

^{†20} LISN に保護接地線が接続されない場合、接地はグラウンド・プレーンへの接続のみとなる。このような状況で通電したままの LISN を持ち上げるとその電流が人体を通り、感電事故を引き起こす可能性がある。

^{†21} 漏電遮断機の有無に関わらず、ノイズ低減の効果がある変圧器を用いる価値があるかも知れない。

- [8] *Impedance Measurement Uncertainty when Measuring Low Impedance Devices at Low Frequency*, Keysight, 2022,
<https://docs.keysight.com/kkbopen/impedance-measurement-uncertainty-when-measuring-low-impedance-devices-at-low-frequency-589744476.html>
- [9] *Impedance Analysis: Measuring Fast and Low — Q&A*, Tim Ashworth, 2020,
<https://www.zhinst.com/en/blogs/webinar-qa-impedance-analysis-measuring-fast-and-low>
- [10] *Improved adapters for the accurate calibration of LISN input impedance*, Michele Borsero et al., 18th International Zurich Symposium on Electromagnetic Compatibility, 2007, DOI: [10.1109/EMCZUR.2007.4388302](https://doi.org/10.1109/EMCZUR.2007.4388302)
- [11] *Adapter and method for improving the LISN input impedance measurement accuracy*, F. Ziadé et al., 2015 IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility (EMC), DOI: [10.1109/ISEMC.2015.7256350](https://doi.org/10.1109/ISEMC.2015.7256350)
- [12] *Characterization of AC/Coaxial Adapter for LISN Calibration Above 30 MHz Using Improved Equivalent Circuit Model*, Ryosuke Tani et al., IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, 2018, DOI: [10.1109/TEMC.2017.2783884](https://doi.org/10.1109/TEMC.2017.2783884)
- [13] *Calibration Methods for AC-Coaxial Adapter Used in AMN Impedance Measurements*, Takashi Shinozuka et al., IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, 2016, DOI: [10.1109/TEMC.2016.2582839](https://doi.org/10.1109/TEMC.2016.2582839)