

# EMC 試験における伝導妨害波測定の前点検法

- 疑似電源回路網の故障の一例 -

機械電子科 山田浩文

## Proposal of preoperation inspection methods for conducting disturbance measurements on electromagnetic compatibility test

- An example of a failure in an artificial mains network -

YAMADA Hirofumi

An example of a failure in an artificial mains network during the conducting of interference measurement for consumer appliances is explained. The failure described in this report may not be confirmed even in cases where inspection or calibration is performed by an external calibration organization. It is shown that this failure can be found by performing impedance measurements as a daily check using Nano VNA, which is a low-cost, handheld vector network analyzer.

Keywords: electromagnetic compatibility, conducted emission, impedance measurement, daily check, Nano VNA

民生機器用の伝導妨害波測定における疑似電源回路網について故障の一例を解説する。外部の校正機関で点検・校正を行ってもこの故障を確認できない場合がある。低価格で可搬型のベクトルネットワークアナライザである Nano VNA によるインピーダンス測定を始業前点検として行うことより、この故障を発見することができる。

キーワード：電磁環境両立性、伝導妨害波測定、インピーダンス測定、始業前点検、Nano VNA

### 1 はじめに

当センターでは、EMC 試験機器に異常がないかを確認するため始業前点検を実施している<sup>1)</sup>。伝導妨害波測定では、始業前点検としてコムジェネレータ (Comb Generator 楕形信号発生器) からの信号を測定し、測定値が規定の値の範囲にあることを確認している。しかし、外部校正の際に、始業前点検で発

見できなかった疑似電源回路網 (Artificial Mains Network: AMN) の故障が指摘された。本報告では、この故障状況について調査し、その発生原因を推定する。また、外部校正でも発見できない場合があることを明らかにし、発見可能な始業前点検法を提案する。

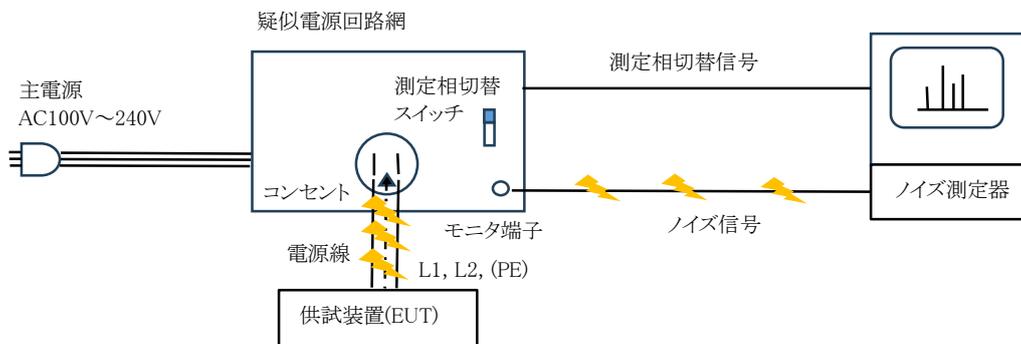


図1 伝導妨害波測定

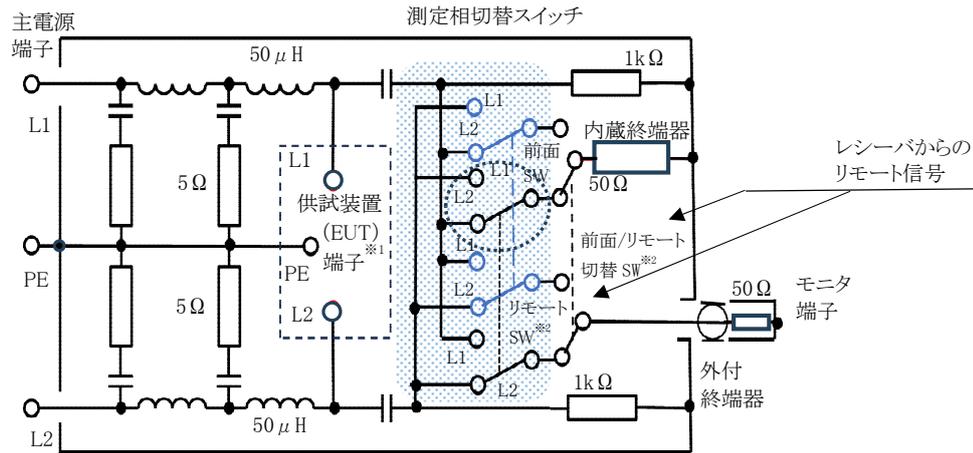


図2 50Ω/50μH+5Ω疑似電源回路網の概念図<sup>2)</sup>

※1 供試装置端子の L1-PE 間、L2-PE 間のインピーダンスを測定した。

※2 前面/リモート切替スイッチとリモートスイッチは、実際には、レーザーからのリモート信号により動作する。

## 2 方法

伝導妨害波測定とは、供試装置 (Equipment under test: EUT) が動作しているときに、その電源ケーブルに重畳する高周波の伝導ノイズを AMN を用いて測定し、規格などに規定する限度値を超えていないかを評価する試験である (図 1)。

### 2.1 疑似電源回路網 (AMN)

図 2 に国際規格<sup>2)</sup>を参考に作成した AMN の概念図を示す。故障した AMN は民生機器の測定に用いられるもので、使用周波数範囲が 9kHz~30MHz の 50Ω/50μH+5Ω の V 型 AMN と呼ばれるものである。この AMN は、測定相を AMN の前面パネルのスイッチ (SW) 又はレーザーからのリモート信号によって切り替えられるよう構成されている。また、装置の仕様として、レーザーからのリモート信号が入力されている場合、前面パネルの測定相切替 SW は無効となる。国際規格<sup>2)</sup>に記載の回路図を参考にしながら、この仕様と今回の故障の状態を考慮に入れて、前面/リモート切替 SW、前面 SW 及びリモート SW 等を修正したものを図 2 に示す (修正部は図中のハッチング部分)。また、AMN のモニター端子は、伝導妨害波の測定の際に 50Ω 測定系のレーザーを接続する端子であるが、インピーダンス測定の際には、ここに外付けの 50Ω 終端器を接続した。

AMN には、①主電源から侵入する高周波雑音を遮断する、②供試装置 (Equipment under test: EUT)

端子のインピーダンスを既知の周波数特性を持つ値にする、③EUT 端子と 50Ω 測定系のレーザーとを接続して EUT からのノイズを測定できるようにする、といった 3 つの機能がある<sup>3)</sup>。これらは、国際規格<sup>2)</sup>に記載された①アイソレーション、②インピーダンスや③電圧分割係数といった特性値により性能が評価される。故障の状態を確認するため、これらの値を国際規格<sup>2)</sup>に記載の方法に従って、ベクトルネットワークアナライザ (VNA) E5061B (Keysight Technologies 製) を用いて測定した。また、これらの値は、AMN の前面パネルの測定相切替スイッチ (SW) 及びレーザーからのリモート信号で測定相を切り替えた場合について測定した。

### 2.2 アイソレーションの測定方法

アイソレーションの測定方法は、国際規格<sup>2)</sup>の 4 章 8 節に記載されている。規格に規定される方法で主電源端子を VNA のポート 1 端子にモニター端子を VNA のポート 2 端子に接続し、ポート 1 端子とポート 2 端子間の減衰量を測定した。

### 2.3 インピーダンスの測定方法

インピーダンスの許容値は、国際規格<sup>2)</sup>の 4 章 3 節及び 4 章 4 節に記載されている。モニター端子を 50Ω 終端した状態で、EUT 端子を VNA のポート 1 端子に接続し、反射法により EUT 端子から見たインピーダンスを測定した。

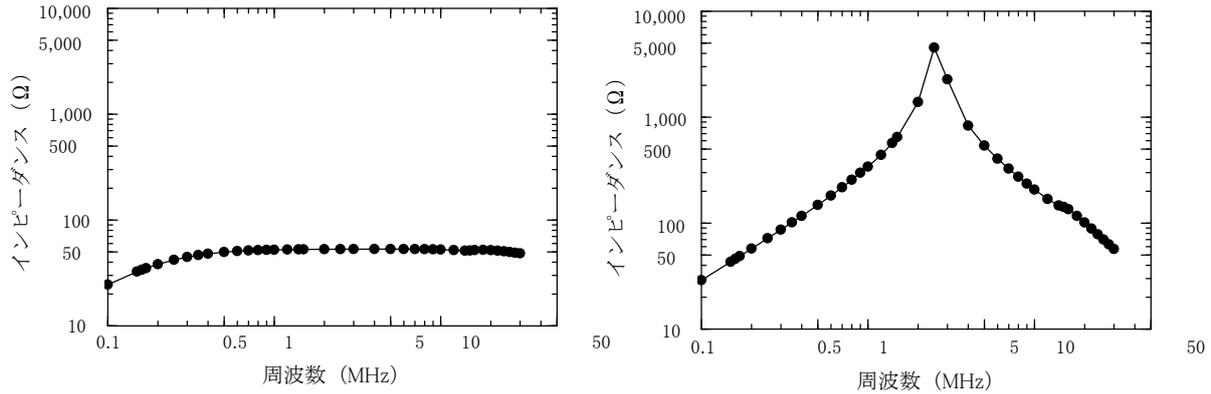


図3 リモート信号で切り替えたときのEUT L1-PE間のインピーダンス  
(左)L1相 正常 (右)L2相 故障

### 2.4 電圧分割係数の測定方法

電圧分割係数の測定方法は、国際規格<sup>2)</sup>のA章8節に記載されており、規定の方法でEUT端子とモニタ端子間の減衰量を測定した。測定方法についてはこの規格に詳細に記載されているのでここでは割愛するが、EUT端子は周波数に依存したインピーダンスを有するのでEUT端子の測定電圧レベルで正規化する必要があることに注意が必要である。

### 3 結果

測定の結果、アイソレーションや電圧分割係数には問題がなく、インピーダンス特性が不良であることが明らかになった。

図3にリモート信号により測定相を切り替えた場合のEUT端子のL1-PE間のインピーダンスを示す(図3(左)は測定相の切替をL1にした場合、図3(右)は測定相の切替をL2にした場合)。図3(左)のように0.5~30MHzの周波数で、ほぼ50Ωとなるのが正常である。一方、図3(右)のようにこの周波数範囲で50Ωを大きく逸脱してしまうのは故障である。また、表1にインピーダンス測定結果をまとめたものを示す。リモート信号で測定相を切り替えた場合に、測定相ではない側のEUT端子のインピーダンスが異常なふるまいを示し、故障であること

とがわかった。図2からわかるように、測定相のEUT端子及び測定相とは異なる側のEUT端子は、内部のコンデンサを介して、各々、外部のモニタ端子及び内部の50Ω終端器に接続される。このことから、おそらく図1中の点線で丸く囲ったSWが故障しているものと思われる。なお、通常、外部校正ではフロントパネルの測定相切替SWで測定相を切り替えた場合の測定相のインピーダンスのみを測定することが多いため、この故障は見つけられない可能性が高い。また、測定相のインピーダンスは正常で、かつ、電圧分割係数も正常であったことから前述の始業前点検では故障が発見できなかった。

### 4 考察

この章では、まず、今回の故障の原因について推定し、次に今回の故障を発見する2つの始業前点検法を提案する。

#### 4.1 故障原因の推定

VNAの等価回路解析機能と回路シミュレータを用いて、3章のインピーダンスの値の異常の原因を推定した。図4は国際規格<sup>2)</sup>に記載のインピーダンスの等価回路図を参考にVNAの等価回路解析機能を用いて回路定数を推定し、それを元にシミュレータ・ソフトウェアLT spice<sup>®</sup>でインピーダンスを計算した結果を示す。故障時には50Ω終端器と直列に80pFのコンデンサが挿入されている状況と同じインピーダンス特性を示すことがわかった。これは測定相切替SWが接触不良により閉じておらず、80pFの容量をもったコンデンサとして振る舞っているものと考察される。

表1 インピーダンス測定結果

切替 \ 測定	前面パネル		リモート信号	
	L1	L2	L1	L2
EUT L1-PE	正常	正常	正常	故障
EUT L2-PE	正常	正常	故障	正常

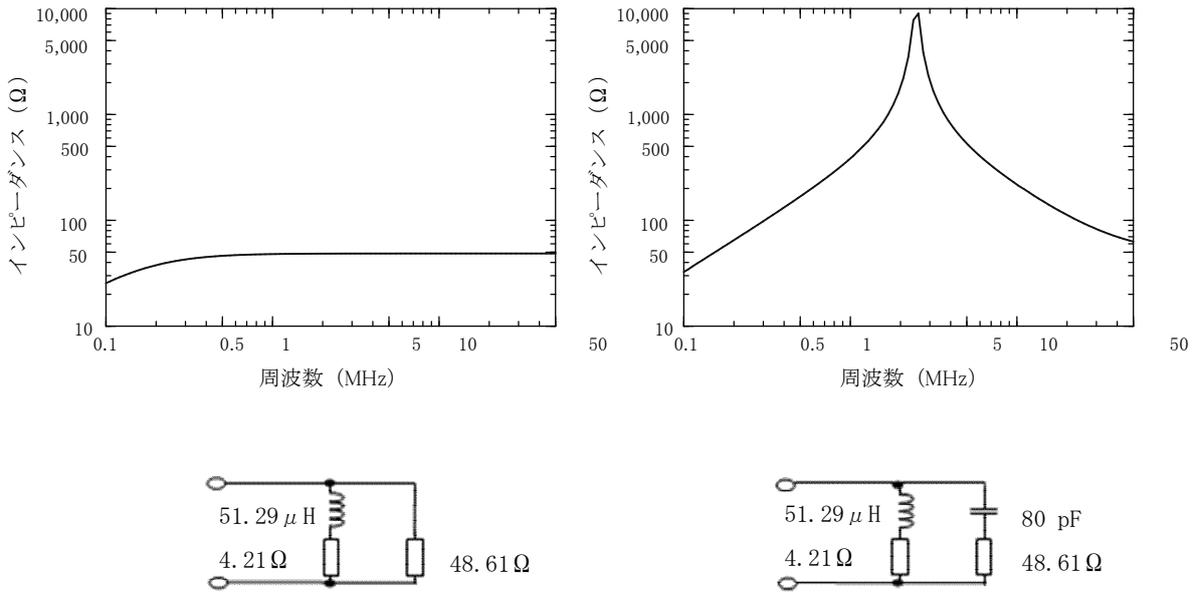


図4 回路シミュレータによるシミュレーション結果と回路

(左上)シミュレーション結果(正常時) (右上)シミュレーション結果(故障時)  
 (左下)推定した回路(正常時) (右下)推定した回路(故障時)

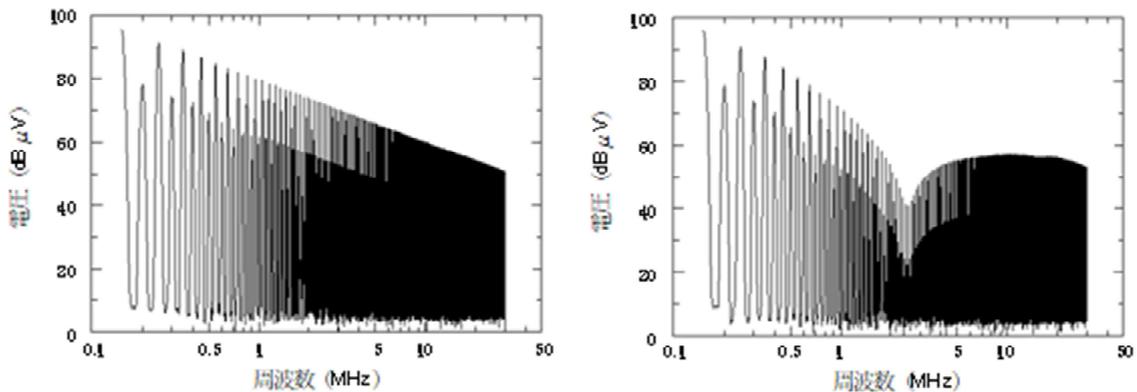


図5 EUT 端子の L1-L2 間にコムジェネレータ信号を入力したときのモニタ端子電圧

(左)前面パネル SW により測定相を切り替えた場合 (右)リモート信号により測定相を切り替えた場

#### 4.2 コムジェネレータによる始業前点検法の改良

当センターでは、始業前点検としてコムジェネレータ YRS02 (York EMC services limited 製) と AMN アダプタ LS03 (York EMC services limited 製) を組み合わせて使用している。この AMN アダプタは、コムジェネレータからの信号を AMN の EUT 端子の L1-PE 間に入力する構造となっている。しかしながら、前章に述べた理由からこの構造では今回の故障を発見することができなかった。そこで、この AMN アダプタを用いず、コムジェネレータからの信号を AMN の EUT 端子の L1-L2 間に入力する始業前点検法を考案した。このような信号入力法にすれば、

コムジェネレータからの信号を EUT 端子の L1-PE 間と L2-PE 間のインピーダンスで分圧した電圧をモニタ端子で測定することになる。この方法を用いれば、今回の故障のようにこれらのインピーダンスのバランスがくずれる場合、故障を検出できることが予想される。このことを実験的に確認する作業を行った。

図5は、EUT 端子の L1-L2 間にコムジェネレータ信号を入力したときのモニタ端子電圧である。図5(左)は前面パネル SW により測定相を切り替えた場合、図5(右)はリモート信号により測定相を切り替えた場合である。測定相として L1 と L2 のどちらを

選択した場合でも同様の波形が得られた。図5(左)では電圧のピークが周波数に対しほぼ直線的に減少した(正常)。一方、図5(右)では、3MHz付近で電圧のピークにくぼみが見られた(異常)。これは、この周波数において、測定相とは異なるEUT端子のインピーダンスが測定相のEUT端子のインピーダンスに比べて大きくなるために測定相の電圧が相対的に下がったためと考えられる。

#### 4.3 Nano VNAによる始業前点検法

近年、低価格で可搬型のベクトルネットワークアナライザであるNano VNA<sup>4)</sup>が市販されており、これを用いれば、テスターで測定するように簡単にインピーダンス測定が行える。当センターでは、従来のコムジェネレータによる始業前点検法に加えて、このNano VNAによるインピーダンス測定を始業前点検に取り入れた。この点検法について以下に述べる。測定条件として、周波数範囲を50kHz~30MHzとし、スミスチャート、電圧定在波比を表示させるように設定した。また、事前に校正キット85032F

(Keysight Technologies製)にて1ポート校正(オープン、ショート、ロード校正)を行ない、電源投入後、直ぐに呼び出されるように条件をセーブした。このように設定すると、測定に要する時間は1分もかからない。写真1に始業前点検としてNano VNAを用いてインピーダンス測定を行った結果を示す。始業前点検では主にスミスチャートに着目している。正常な場合には、写真1(左)内の矢印に示すように、円の左端より、中心に向かって半円を描くように表示される。一方、今回の故障では、円の

中心を通らずに円の外側付近を通る軌跡を描いた(写真1(右))。スミスチャートの形におかしなところがある場合には、VNA E5061B(Keysight Technologies製)にて再測定を行なっている。当センターでは、民生機器の伝導妨害波測定その他、車載機器のEMC試験のうち疑似回路網を用いるものについても、このNano VNAによるインピーダンス測定を始業前点検として実施している。

#### 5 まとめ

民生機器用の伝導妨害波測定における疑似電源回路網の故障についてその一例を解説した。今回の故障は、リモート信号で測定相を切り替えたときのみ発生し、かつ、測定相とは異なる相のインピーダンスが不良となる。このことから、疑似電源回路網本体の前面パネルで測定相を切り替えたときみの校正の場合や、測定相のみの校正の場合には、外部の校正機関で点検・校正を行ってもこの故障を確認できない。今回紹介したNano VNAによるインピーダンス測定を始業前点検として行うことより、この故障を発見することができる。この始業前点検法は、疑似電源回路網や疑似回路網にかぎらず、アンテナや結合・減結合回路網など他の機器にも応用できる。



写真1 Nano VNAによる測定結果

(左)正常 (右)故障

## 参考文献

- 1) 山田浩文 他：EMC 試験機器の日常点検法の確立による信頼性向上. 静岡県工業技術研究所研究報告, 13, 91-94 (2020).
- 2) CISPR16-1-2:2017 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
- 3) Morgan D.: Measurement by direct connection, Measurement devices for conducted EMI, In “ A handbook for EMC testing and measurement”, The institution of engineering and technology, pp.48-61 (1994).
- 4) 知念幸勇：とにかく安くなっているポケット型 Nano VNA の世界. トランジスタ技術, 60 (12), 55-60 (2023).