

氏名	あめみや ふじお 雨宮 不二雄
授与学位	博士(工学)
学位授与年月日	平成19年 3月14日
学位授与の根拠法規	学位規則第4条第2項
最終学歴	昭和48年3月 東北大学大学院工学研究科電気及通信工学専攻博士課程前期課程 修了
学位論文題目	Study on EMI Test Methods for Telecommunication Ports of Electronic Equipment (電子機器通信端子における電磁妨害波試験法に関する研究)
論文審査委員	主査 東北大学教授 澤谷邦男 東北大学教授 杉浦 行 東北大学教授 松木英敏 東北大学助教授 陳 強

論 文 内 容 要 旨

近年、電子機器の高速化・広帯域化等に伴って、電子機器の EMC 問題は複雑化の一途を辿っており、なかでも電子機器の通信端子に発生するコモンモード伝導妨害波やこれに起因する放射妨害波の対策が急務となっている。本論文では、電子機器の通信端子における電磁妨害波の試験法を確立するために、通信線の不平衡に起因するコモンモード伝導妨害波の発生メカニズムを定量的に明らかにするとともに、このコモンモード伝導妨害波に起因して通信線より空間へ放射される電磁妨害波を推定する方法を示している。また、通信線はその対数、構造等が多種多様であるが、当面の急務である平衡多対通信線の伝導妨害波を精度よく評価するためのプローブの設計法を示した。さらに、プローブの適用が困難な通信線の妨害波測定に用いる非侵襲測定法の適用条件を明らかにし、同測定法の有効性を示している。以下、各章ごとにその概要を述べる。

第1章 諸論

本章では、本研究の背景と目的を述べ、電子機器の通信端子における電磁妨害波試験法を確立するために克服すべき技術的課題を整理して示している。

第2章 通信線の不平衡により発生する電磁妨害波の評価技術

本章では、通信線の不平衡により伝送信号(希望信号)にコモンモード妨害波成分が発生するメカニズムの解明とその推定方法を、実験ならびに理論的解析により明らかにした。

通信線に不平衡があると伝送信号にコモンモード妨害波成分が発生し、これが無線受信に妨害を与える可能性が指摘されている。本研究では、まず、通信線の平衡度と通信線から放射される妨害波の電界強度の関係を、長さ 400m の架空実験通信線を用いた実験により確認した。次に、通信装置と通信線とで構成されるネットワークの等価回路の理論解析により、通信線の不平衡により発生する希望信号のコモンモード妨害波電圧 V_{LSL} は、伝送信号電圧 V_s 、通信線の平衡度(LCLL)を用いて以下の式で近似的に求めることができることを導出した。ここで Z_L は通信線のコモンモードインピーダンス、 Z_0 は通信線のディファレンシャルモードインピーダンスである。

$$V_{LSL}(dB) = V_s (dB) - LCLL (dB) + 20\log(1 + 2Z_L / Z_0) \dots (1)$$

さらに、本近似式の妥当性を、通信装置と通信線を用いた実験により確認した。図1(a)に実測結果を、図1(b)に上記(1)式により計算で求めた伝送信号のコモンモード妨害波電圧を示す。同図から(1)式により伝送信号のコモンモード妨害波電圧を精度よく推定可能であることがわかる。

第3章 通信線から放射される電磁妨害波の評価技術

従来、通信線から空間に放射される妨害波電界強度の許容値については、自由空間内の無限長直線ケーブルを流れる電流によって発生する磁界強度を用いた単純なモデルで検討されてきた。通信端子の妨害波電圧(電流)によって発生する実際の妨害波電界は、妨害波の周波数、通信線からの距離、通信端子からの通信線の長さ方向への距離等に依存する。そこで本章では、これらの問題点を実験ならびに解析で検討した。最初に、高さ5.6m、距離1kmの実験用架空通信線にコモンモード妨害波電圧Vを注入して通信線から放射される妨害波電界強度E(磁界強度から換算)の分布を実測し、VとEとの変換係数 F_{AVm} を求めた。その結果、図2に示すように、通信線からの距離が10mにおける F_{AVm} は100kHz~

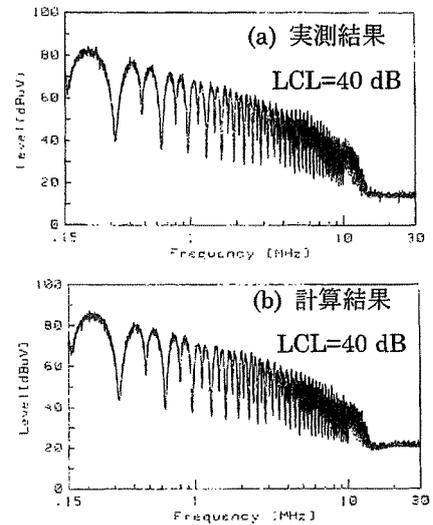


図1 伝送信号のコモンモード電圧

3 MHzの間では約 $35 \text{ dB} \pm 5 \text{ dB}$ 、3 MHz以上では妨害波電界は信号の注入点から離れると急激に減少することがわかった。そして、 $35 \text{ dB} \pm 5 \text{ dB}$ の変換係数は、これまで国際無線障害特別委員会(CISPR)が提案した許容値を導出する際に採用した値である $39 \text{ dB} \sim 29 \text{ dB}$ とほぼ一致することを

明らかにした。次に、上述した実験用通信線(1km)の両端に電子機器と電子機器を通常動作させるためのシミュレータを接続し、電子機器の通信端子のコモンモード電圧がCISPRの許容値に相当する値を持つ時に、通信線から放射される妨害波電界強度を測定した。その結果、図3に示すように概ねCISPRが提案している $35 \text{ dB} \mu\text{V/m}$ となることを確認した。以上より、電子機器の通信端子のコモンモード妨害波電圧値から、電子機器が接続される通信線より放射される妨害波の電界強度が推定できること、および、CISPRが提案したコモンモード妨害波電圧と放射妨害波の電界強度の関係がほぼ妥当であることの二点を明らかにした。

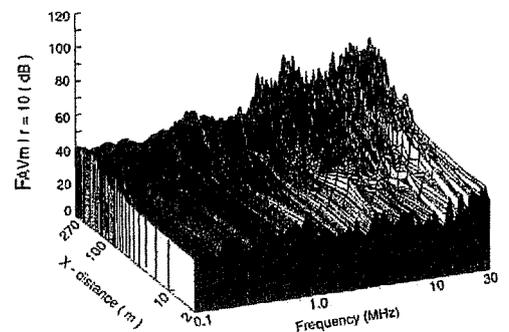


図2 コモンモード妨害波電圧と放射妨害波電界強度との関係

第4章 通信端子におけるコモンモード妨害波測定のためのプローブ構成技術

通信線には対数、シールド有無、平衡・不平衡等の多様なものが存在するが、特にLANに代表される情報通信の進展に伴い平衡2線、4線はもとより多対の通信線の利用が急増している。これまで平衡1対(2線)用の妨害波測定プローブ(以後、ISNと略)については実用レベルのものが開発され、平衡2対(4線)用についても数例の構成法が提案されているが、多対通信

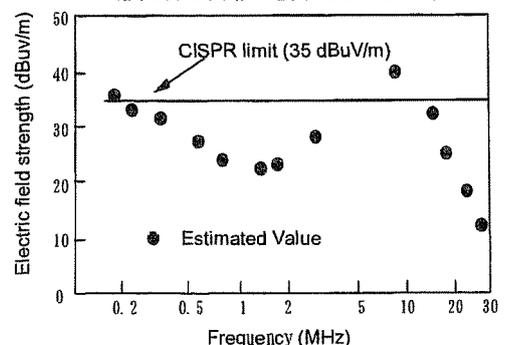


図3 通信線から放射される妨害波の電界強度

線の妨害波測定用 ISN の設計法を確立するまでには至っていない。本章では、最大 50 対までの通信端子に適用する ISN の設計法を検討した。最初に、従来用いられてきた平衡 1 対線用 ISN を複数用いて多対通信線の妨害波を測定する際の問題点を検討し、例えば平衡 1 対線用 ISN を 2 個使用して平衡 2 対線の妨害波を測定する場合、両プローブに接続された妨害波測定器の共通グランドを經由した漏洩電流により極めて大きな測定誤差が発生することを理論的に明らかにし、実験により検証した。次に、通信線用 ISN に対する要求条件である、コモンモードインピーダンス、平衡度 (LCL)、挿入損失、対向機器からの妨害波の分離性能、測定における電圧変換係数の全てのパラメータについて、ISN のコモンモードおよびディファレンシャルモードの等価回路を検討し、1 対～50 対までの ISN が要求条件を満足するための回路定数決定法を解析により検討した。その結果、ISN に対する要求条件の許容偏差を活用することにより、1 対～50 対までの ISN を 13 個の ISN で実現できることを明らかにし、多対通信線用 ISN の設計法を確立した。

第 5 章 電圧プローブと電流プローブを同時に使用した通信端子妨害波の非侵襲測定法

容量性電圧プローブと電流プローブを同時に用いて通信端子の伝導妨害波を測定する方法(非侵襲測定法、以下 V&I 法と略)は、通信端子の種別に関係なく伝導妨害波を通信線の導体に非接触で測定できる利点を有するが、測定結果は ISN を用いた方法よりも常に厳しい値を示すとの仮説の妥当性が検証されておらず、本測定法を実用に供するための条件を明確にすることが求められている。

本章では最初に、被試験機器 (EUT) とその対向機器 (AE) を集中定数回路で置き換えた回路モデルを用いた実験により、EUT ならびに AE のコモンモードインピーダンスが、ISN を使用して測定する場合の 150Ω から変化した場合に、上記の仮説が成り立たないことを明らかにした。次いで、上述した仮説が成り立つためには V&I 法による測定値にどのような補正 (測定値に X dB をマージンとして加える) を行なえばよいかを検討した。検討では、V&I 法では EUT と AE のインピーダンスおよび偏角をそれぞれ $1\Omega \sim 10\text{ k}\Omega$ 、 $\pm 90^\circ$ 変化させ、ISN 法では EUT は V&I 法と同一、ISN のコモンモードインピーダンスを $150\Omega \pm 20\Omega$ 、偏角を $\pm 20^\circ$ 変化させ、両測定法で測定した場合の測定値の偏差をシミュレーションにより算出した。その結果、ISN の偏角の影響が最も大きく、ISN の偏角が 0° の場合は 3 dB、最大である 20° の場合は 4.8 dB のマージンを加えない限り上述した V&I 法の仮説が成り立たないことを明らかにした。本シミュレーション結果を検証するため、電子機器の通信端子の妨害波測定を V&I 法および ISN 法の両者で実施した。図 4 に 4.8 dB のマージン値で補正した場合の V&I 法と ISN 法の測定値の偏差を示す。同図からわかるように、両測定法の偏差は常に 0 dB 以上であり、本補正により V&I 法に対する仮説は常に成立し、実用に供する可能であることを明らかにした。

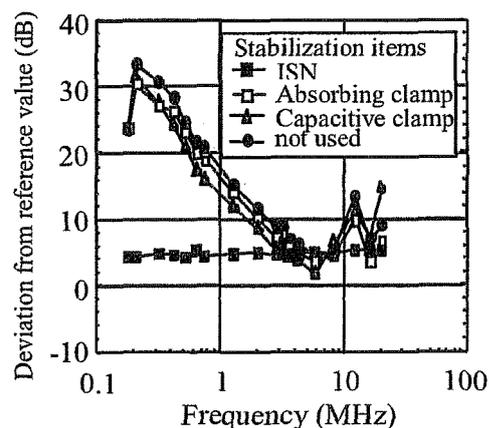


図 4 マージン値で補正した場合の V&I 法と ISN 法の測定値の偏差

論文審査結果の要旨

電子機器の高速化・広帯域化に伴って、通信端子に発生するコモンモード伝導妨害波やこれに起因する放射妨害波の対策が急務となっている。本論文は、電子機器の通信端子におけるコモンモードの測定法と放射妨害波強度の推定法について行った一連の研究をまとめたもので、全編6章よりなる。

第1章は緒論である。

第2章では、通信装置及び線路の不均衡に伴うコモンモード電圧について検討している。まず、通信線の不均衡によって放射妨害波が発生することを実験により示している。また、従来は装置の不均衡に伴うコモンモードが支配的であったが、信号の周波数の上昇に伴って線路の不均衡に伴うコモンモードが支配的になることを指摘し、伝送信号のディファレンシャルモード電圧と通信線の平衡度からコモンモード電圧を推定する式を導き、その妥当性を実験により検証している。

第3章では、通信線路から放射される妨害波の強度と通信端子のコモンモード電圧の関係を明らかにしている。まず、周波数並びに線路からの距離に対する放射妨害波の強度を測定し、この強度と通信端子におけるコモンモード電圧の関係を明らかにしている。次に、周波数帯毎にこれらの関係を示す係数を導き、その妥当性を検証している。この係数は国際無線障害特別委員会（CISPR）の通信端子妨害許容値に反映されている。

第4章では、多対の通信線路のコモンモードの評価法について述べている。まず、多対線に平行2線用の擬似通信回路網（Impedance Stabilization Network, ISN）を用いると実際に存在しないコモンモードが測定されることを指摘している。次に、多対線路用のISNを設計し、13種類のISNを用いることにより、50対線以下の線路のコモンモード電圧の測定が可能であることを示している。これは、近年広く利用されている多対線路の評価法として有用であり、高く評価できる。

第5章では、通信線のコモンモード電圧と電流を測定する方法（V&I法）について検討した結果が述べられている。V&I法は通信線を切断することなく測定できるので、ISN法に比べて実用的であるが、2つの測定結果の関係が不明確であった。そこで、パラメータを広い範囲で変化させたシミュレーションより2つの測定結果の関係を検討し、V&I法の結果はISN法に比べてコモンモードのレベルが常に大きくなるとの従来の仮説が成立しない場合があることを明らかにし、V&I法の結果を4.8dB増加させるとこの仮説が成立することを述べている。

第6章は結論である。

以上要するに本論文は、電子機器の通信端子におけるコモンモードの測定法、並びに放射妨害波強度の推定法について研究を提案し、その有効性を示したもので、環境電磁工学並びに電気・通信工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士（工学）の学位論文として合格と認める。