

通信線伝導イミュニティ試験用CDNの提案

広島 芳春[†] (正員) 桑原 伸夫[†] (正員)

Proposal of Coupling and Decoupling Network for Immunity Testing at
Telecommunication Line Ports

Yoshiharu HIROSHIMA[†] and Nobuo KUWABARA[†], Members

[†] NTTマルチメディアネットワーク研究所, 武蔵野市
NTT Multimedia Networks Laboratories, musashino-shi, 180 Japan

あらまし アナログ回線, デジタル回線, LANに接続される通信機器の伝導イミュニティ試験が可能で, 多対化が容易な結合減結合回路(CDN)の設計法を示した。また, 実際にCDNを作成し, 設計時の性能が得られていることを確認した。

キーワード イミュニティ試験法, CDN, 伝導妨害波

1. まえがき

近年, 電気機器の増加に伴って電磁環境が悪化してきており, 妨害波が通信線, 電源線を經由して通信装置に印加され, 誤動作が生じることがある。これを防ぐために, 通信装置の伝導イミュニティ試験をすることが求められており, IEC, CISPR等では, 伝導イミュニティ試験法と許容イミュニティレベルについて検討している[1], [2]。

伝導イミュニティ試験には結合減結合回路(CDN: Coupling Decoupling Network)が必要であり, いくつかのCDNが実用化されている[3]。しかし, 通信線に対する妨害波印加に使用するCDNについては, 試験周波数帯域が150 kHz~80 MHzにわたり[2], 多対の通信線を使用するため, 設計法が難しく, 現在はアナログ2線用, ISDN用のものが実用化されているにすぎず[3], 広い範囲の通信速度に適用可能で多対化が容易なCDNの実現が要望されている。

本論文では, アナログ回線, デジタル回線, LANに接続される通信機器に使用可能で, 多対化が容易なCDNを提案すると同時に, その設計法, 特性を示している。

2. 新しいCDNの構成

図1に, CDNを使用した通信線伝導イミュニティ試験系を示す。被試験装置(EUT: Equipment under Test)と補助装置(AE: Auxiliary Equipment)を接続する通信線にCDNを挿入し, これを介して発振機からEUTに印加された疑似妨害波に対する機能劣下によって評価する。

CDNに要求される条件を表1 [1], 表2に示す。ここで, 表1に示すコモンモードインピーダンスの要求条件は, 実際の通信線と大地間のコモンモードインピーダンスを模擬し, 試験結果の再現性を確保するための条件である。表2には, 要求条件ではないが, 通信線伝導イミュニティ試験を行うために求められる特性を示しており, 結合係数は, 試験妨害波を効率良く印加するための条件であり, 減結合係数は, 試験妨害波からAEを保護すると共にAEのコモンモード負荷によってEUTから見たコモンモードインピーダンスの値が変化しないようにするための条件である。挿入損失は試験中のEUTに通常動作をさせるための条件であり, 不平衡減衰量LCLの要求条件は, 印加妨害波がインピーダンス不平衡によりディファレンシャルモード電圧に変換されるのを抑圧する指標である。

CDNを用いて印加される最大電圧はIECの規格では10 Vである[1]。しかし, これはあくまでも一般的な環

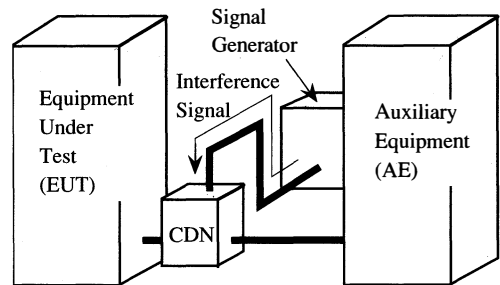


図1 CDNを使用した伝導イミュニティ試験系
Fig. 1 Conducted immunity test setup using CDN.

表1 CDNが満足すべき特性
Table 1 Requirement of CDN.

	周波数	要求条件
コモンモード インピーダンス (絶対値)	150 kHz - 26 MHz	150 ± 20 Ω
	26 MHz - 80 MHz	150 ⁺⁶⁰ / ₋₄₅ Ω

表2 CDNに求められる特性
Table 2 Characteristics required for CDN.

	周波数	要求条件
結合係数	150 kHz - 80 MHz	< 2 dB
	150 kHz - 26 MHz	> 20 dB
減結合係数	26 MHz - 80 MHz	> 40 dB
挿入損失	300 Hz - 10 kHz (600 Ω)	< 2 dB
	200 Hz - 10 MHz (100 Ω)	< 6 dB
LCL	1 MHz	> 50 dB
	10 MHz	> 35 dB
最大入力電圧	0.15 - 80 MHz	50 V

境での値にすぎず、状況によっては更に大きな電圧が通信機器に印加されることがある。

通信ケーブルに現れる誘導電圧の測定例を図2に示す。測定では、放送送信所近傍に布設されているケーブルの心線と大地間を150Ωで終端し、その間に現れる電圧を測定している。図に示すように、20V以上の電圧が測定されている。通信機器によっては、通信機器の通信線端子と大地間が開放に近いものもあり、倍程度の電圧が印加されることが予測される。そこで、表2では50Vとした。

3. CDNの構成

CDNの回路構成には複数あるが[1]、本論文で検討するCDNに関しては、表1、表2に示すCDNの特性で、コモンモードインピーダンス特性と挿入損失は相反する特性である。挿入損失を小さくするためには心線間のインピーダンスを大きくする必要があるが、そうするとコモンモードインピーダンスも大きくなってしまふ。そこで、心線間にトランスを挿入してこれらの条件を同時に満足させる方法が報告されている[3]。しかし、トランスを使用した場合、印加する妨害波によるトランスのコアの飽和や共振による特性の劣化が生じる問題点がある。

新しいCDNの構成を図3に示す。図は8線用の回路を示しており、Rは表1に示す通信回線のコモンモードインピーダンス条件を満足するための抵抗、Cは通信回線上の直流電圧が入力ポートに流入するのを防止するコンデンサであり、Rsは妨害波発生器の出力インピーダンスで通常50Ωである。

図に示すように、このCDNでは心線間にコイルを使用せず、抵抗RとコンデンサCの値を適切に設計することにより挿入損失とコモンモードインピーダンスの条件を満足させている。以下、その設計法を示す。

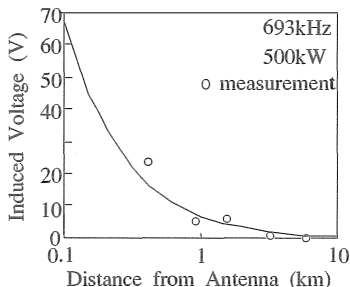


図2 放送送信所近傍での誘導電圧測定値
Fig. 2 Voltage induced near high power transmitter.

3.1 回路パラメータの決定

以下に、CDNの各素子の値の決定法を示す。

図3のRは以下の式によって表される。

$$R = N (Z'_c - R_s) \tag{1}$$

ここで、Nは通信ポートの数、Zcは通信線とアース間のコモンモードインピーダンスの要求値で、この場合は表1より150Ωとなる。Rsは妨害波発生器の出力インピーダンスで、通常50Ωである。

AEポートを開放したときの、通信線とアース間のコモンモードインピーダンスZcは以下の式で表される。

$$Z_c = \frac{1}{N} \left(R + \frac{1}{j\omega C} \right) + R_s \tag{2}$$

ここで、ωは角周波数であり、式(2)によれば、|Zc|は150kHz~80MHzの範囲で150kHzにおいて最大となる。この周波数において、Rとして式(1)で求めた値を用いたときの、Cを変化したときのコモンモードインピーダンスの偏差(|Zc-Z'c|)を図4に示す。ポート数2, 4, 8について計算を行った。図より、コモン

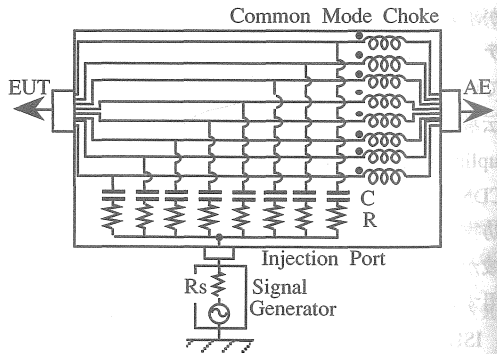


図3 新しい8線用結合減結合回路
Fig. 3 New coupling and decoupling network for 8-wires.

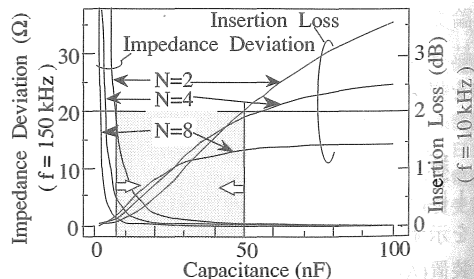


図4 C変化に対する挿入損失、インピーダンス変動の変化
Fig. 4 Insertion loss and impedance deviation due to capacitance.

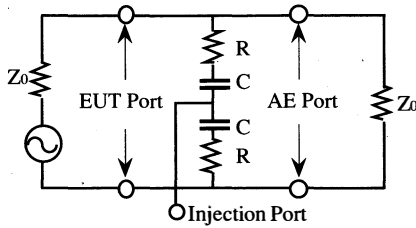


図5 1対の通信線の等価回路
Fig. 5 Equivalent circuit of a pair-line.

モードインピーダンスの偏差がポート数によらず表1に示す要求条件を満足するためには、Cは8 nF以上であることが必要であることがわかる。

また、通信ポートに接続される通信線中の1対の通信線に関する等価回路は図5で表される。図5でZ₀は通信線の特異インピーダンスであり、アナログ回線では600Ω、デジタル回線、LANでは100Ωを使用している。CDNを挿入しないときのEUTポートからAEポートの伝送損失と、CDNを挿入したときのEUTポートからAEポートの伝送損失の差を挿入損失Lossとすると、Lossは以下の式で表される。

$$\text{Loss} = 20 \log \left| 1 + \frac{Z_0}{4 \left(R + \frac{1}{j\omega C} \right)} \right| \quad (3)$$

式(3)より、Z₀が600Ωと100Ωを比べた場合、値の大きい600Ωの場合が条件が厳しいことがわかる。また、このときLossは通信に使用される周波数300 Hz~10 kHzの範囲で10 kHzにおいて最大となる。Rとして式(1)で求めた値を用い、Z₀が600ΩのときのLossの解析結果を図4に示す。図に示すように、Cの値が大きくなると挿入損失が大きくなり、表2に示す特性を満足するためにはCは50 nF以下である必要があることがわかる。

以上より、コモンモードインピーダンスZ_cと挿入損失Lossが表1、表2の条件を満足するためには、Cは8 nF以上50 nF以下である必要がある。

3.2 コモンモードチョークコイルの決定

AEポートを短絡したときの式(2)に示すZ_cは以下の式で表される。

$$Z_c = \frac{N Z_L^2 X_a + j(Z_L X_a^2 - X_b X_c)}{X_a^2 + X_b^2} \quad (4)$$

$$X_a = R + N R_s, \quad X_b = N Z_L - \frac{1}{\omega C}, \quad X_c = \frac{Z_L}{\omega C}$$

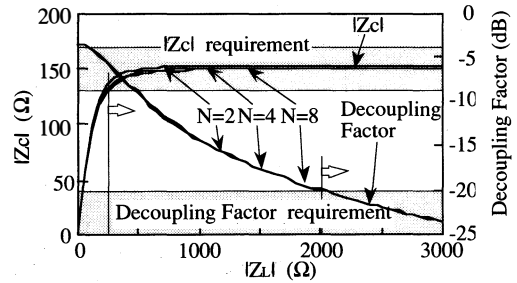


図6 |Z_Lの決定
Fig. 6 |Z_c, decoupling factor due to Z_L (f=150 kHz).

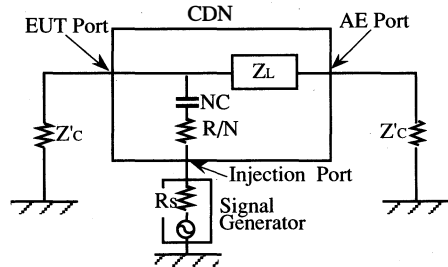


図7 イミュニティ試験系
Fig. 7 Immunity test setup.

ここで、Z_Lはコモンモードチョークコイルのインピーダンスである。図3に示す回路の場合、|Z_c|は150 kHzにおいて最大となり、この周波数における|Z_L|と|Z_c|の関係を図6に示す。ポート数2、4、8について計算を行った。ここでCの値は3.1より33 nFとした。ポート数を変化させても|Z_L|に対する|Z_c|はほぼ同じ値になる。図より|Z_c|が表1に示す要求条件を満足するためには、|Z_L|が150 kHzで270Ω以上であることが必要である。

また、通信線とアース間をコモンモードインピーダンスZ_cで終端したときのイミュニティ試験系の回路構成を図7に示す。このとき、妨害波発生器からAEポートへの伝送損失を減結合係数F_Dとすると、F_Dは以下の式で表される。

$$F_D = 20 \log \left| \frac{150 N + N R_s}{X_a + 150 N + jX_b} \right| \quad (5)$$

|Z_L|とF_Dの関係を同様に図6に示す。ポート数2、4、8について計算を行った。図よりF_Dが表1に示す要求条件を満足するためには、|Z_L|が2kΩ以上であることが必要である。

以上の2条件の厳しいほうをとる必要があるので、

表3 2W, 4W, 8WCDNの特性測定例
Table 3 Measured characteristics of 2W, 4W, and 8W CDN.

	周波数	測定値		
		2線用	4線用	8線用
コモンモード インピーダンス (絶対値)	150 kHz - 26 MHz	150 ($^{+0}$ ₋₁₃) Ω	150 ($^{+0}$ ₋₁₁) Ω	150 ($^{+0}$ ₋₁₂) Ω
	26 MHz - 80 MHz	150 ($^{+0}$ ₋₂₅) Ω	150 ($^{+0}$ ₋₃₂) Ω	150 ($^{+0}$ ₋₄₀) Ω
	計算値 (150 kHz)	AEポート開放 150.85 Ω	AEポート開放 150.22 Ω	AEポート開放 150.05 Ω
		AEポート短絡 151.06 Ω	AEポート短絡 150.31 Ω	AEポート短絡 150.09 Ω
結合係数	150 kHz - 80 MHz	<0.8 dB	<0.8 dB	<1.7 dB
減結合係数	150 kHz - 26 MHz	> 31 dB	> 38 dB	> 29 dB
	26 MHz - 80 MHz	> 50 dB	> 53 dB	> 46 dB
	計算値(150 kHz)	35.1 dB	35.1 dB	35.1 dB
挿入損失	300 Hz - 10 kHz (600 Ω)	<0.1 dB	<0.1 dB	<0.1 dB
	200 Hz - 10 MHz (110 Ω)	<4.8 dB	<4.5 dB	<5 dB
	計算値(600 Ω 、10 kHz)	1.15 dB	1.43 dB	1.20 dB
LCL	1 MHz	64 dB	65 dB	67 dB
	10 MHz	52 dB	52 dB	57 dB

$|Z_L|$ は150 kHzで2 k Ω 以上となる。この場合、コモンモードチョークコイルのインダクタンスは2 mH以上が必要である。

最大電圧50 VをEUTに印加する場合、Rで消費される電力は、EUT側が短絡されているときの最大値より小さくなる。従って、抵抗1本当りの電力容量 P_R は

$$P_R > \frac{50^2}{|Z_C|N} \quad (6)$$

となる。

$N=8$ のときの抵抗1個当りの必要な電力容量は約3 Wになる。

4. 測定結果

3.で求めたパラメータから2, 4, 8線用のCDNを作成し、その特性を測定した。ここで、 C は33 nFとし、コモンモードチョークコイルのインダクタンスは12 mHとした。

2, 4, 8線用CDNの、各要求条件に対する測定値を表3に示す。また、各々のパラメータにおける特性の計算値も同様に示す。各CDNとも要求条件を満足していることがわかる。ここでデジタル回線に対する挿入損失の測定時、測定に使用するトランスに100 Ω のものはないため、110 Ω のトランスで測定している。

150 kHzにおけるコモンモードインピーダンスの偏差は2 Ω 程度であり、 $C=33$ nFのときのコモンモードイン

ピーダンスの偏差の計算値とほぼ等しい値になっている。また、150 kHzにおける減結合係数は約30 dBであり、 $Z_L=11.4$ k Ω (12 mH, 150 kHz)のときの減結合係数の計算値とほぼ等しい値になっている。10 kHzにおける挿入損失は0.1 dB以下であり、 $C=33$ nFのときの挿入損失の計算値の約1/10になっている。デジタル回線に対する挿入損失については、特性インピーダンス110 Ω の場合、200 Hz~10 MHzで挿入損失は5 dB以下であり、10Base-T等のLAN機器の試験が可能である。

5. むすび

本論文では、アナログ通信機器、デジタル通信機器、LAN用通信機器等の伝導イミュニティ試験が可能なCDNを提案し、その設計法を示した。また、設計したパラメータを用いて2, 4, 8線用のCDNを製作しその特性を評価した。その結果、このCDNはIECで報告されている連続波による伝導イミュニティ試験が可能であることがわかった。

文 献

- [1] "Immunity to conducted disturbances induced by radi frequency above 9 kHz," IEC Pub.1000-4-6.
- [2] "Publication 24 on the immunity of Information Technology Equipment, Part 6: Continuous conducted interference," CISPR G(s)37.
- [3] 服部光男, 池田直司, 藤崎樹則, "広帯域伝導イミュニティ試験用電圧印加回路," 1989信学春季全大, B-274. (平成9年3月5日受付, 5月23日再受付)