The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	コンセントでLCLを測っても電力線網に分布するモード変換は分らない : コモンモード電流とLCLの伝送線路的取り扱い
Author(s)	北川, 勝浩
Citation	電子情報通信学会技術研究報告. EMCJ, 環境電磁工学. 2008, 108(97), p. 17-22
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/77663
rights	copyright©2008 IEICE
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

社団法人 電子情報通信学会
THE INSTITUTE OF ELECTRONICS,
INFORMATION AND COMMUNICATION ENGINEERS

信学技報
IEICE Technical Report
EMCJ2008-10(2008-6)

コンセントでLCLを測っても電力線網に分布するモード変換は分らない

コモンモード電流とLCLの伝送線路的取り扱い

北川 勝浩†

† 大阪大学大学院基礎工学研究科
〒 560-8531 大阪府豊中市待兼山町 1-3
E-mail: †kitagawa@es.osaka-u.ac.jp

あらまし 広帯域電力線搬送通信 (PLC) では、コンセントから入力された差動モード (DM) 信号が電力線網に分布する不平衡要素によってコモンモード (CM) 電流に変換されたものが漏洩電磁界の主要な原因と考えられる。そのモード変換の指標として、PLC の場合にはコンセントで測った LCL がよく使われる。ところが、コンセント LCL が 24dB 以上でも、DM のアンテナ利得が 0dBi あったり、LCL=16dB の ISN で CM 電流を規制しても、漏洩電界強度が目標値を 20dB 以上も上回っており、コンセント LCL の有効性は極めて疑わしい。そこで、コンセント LCL と電力線網に分布する不平衡要素によって生じる CM 電流との関係を理論的に導出し、コンセント LCL が CM の伝搬損失の分だけ CM 電流を過小評価していること、ISN で測った CM 電流で許容値を定めても漏洩電界を抑制しえないことを明らかにする。

キーワード 電力線搬送通信 (PLC), 漏洩電磁界, コモンモード, 差動モード, 不平衡, モード変換, LCL, ISN

Outlet LCL does not tell the mode conversions distributed in the power-line network

Transmission line theory of common-mode current and LCL

Masahiro KITAGAWA†

† Graduate School of Engineering Science, Osaka University
1-3 Machikaneyama-cho, Toyonaka, Osaka, 560-8531 Japan
E-mail: †kitagawa@es.osaka-u.ac.jp

Abstract The common-mode (CM) current generated at the unbalance elements distributed in the power-line network from the differential-mode (DM) signal is the origin of the radiated emission from the power-line communications (PLC). The LCL measured at the outlet is often used as a measure of the unbalance in power-line network. We have analyzed the mode conversion by the unbalance element at a distance of l from the outlet on the power-line and derived the LCL and the CM current. We have shown that the LCL measured at the outlet underestimates the CM current in the power-line due to the CM propagation loss between the unbalance element and the outlet. We have also shown that the ISN connected to the PLC modem cannot emulate the mode conversion at the remote unbalance element in the power-line network and does not restrict the field strength of the radiated emission from the power-line. The PLC regulation based on the CM current measured using the ISN with the outlet LCL has no rational.

Key words power line communications (PLC), radiated electric field, common mode, differential mode, unbalance, mode conversion, LCL, ISN

1. はじめに

電力線搬送通信（power line communications, PLC）は、商用電源を通すための電力配線に本来想定していない高周波信号を通して通信を行うため、それによって生じる電磁界により放送や無線通信に混信を与えるおそれがある。数年前から PLC を Mbps 以上に高速化してインターネットアクセスや家庭内 LAN に利用できるように、2〜30MHz の周波数を開放せよとの強い要望が、産業界から経済団体を通して政府に規制緩和要求として出され、紆余曲折 [1]〜[6] の末に昨年 10 月に屋内利用限定で規制緩和が行われた。[7]〜[9]

そのための技術基準は、放送や無線通信に妨害を与えないように離隔距離 10m において PLC による漏洩電界を周囲雑音と同程度以下にするという前提で定められた。[1], [2], [10] 総務省情報通信審議会 CISPR 委員会は、周囲雑音レベルとして ITU-R の勧告 P.372-8 よりもかなり大きな、28dBμv/m（2〜15MHz）および 18dBμV/m（15〜30MHz）という値を独自に採用した。[2], [10]　また、漏洩電界の原因が PLC モデムからコンセントに流入するコモンモード (CM) 電流であるとして、それによって発生する漏洩電界が 10 m離れた点で、上記の周囲雑音以下となるように、通過帯域幅 9kHz での CM 電流を平均値 (RMS) で 20dBμA 以下（2〜15MHz）および 10dBμA 以下（15〜30MHz）と定め、PLC モデムを特定の条件の ISN(LCL=16dB [11]〜[14], ディファレンシャルモードインピーダンス DMZ=100Ω, CM インピーダンス CMZ=25Ω) に接続したときにこれを満たすことを技術基準とした。

ところが、この技術基準 [8], [9] に基づいて型式指定を受け市販されている各種の PLC モデムを、実際に一般住宅で使用し、コモンモード電流と離隔距離 10m における漏洩電界を測定した結果、CM 電流が許容値を満たしていても漏洩電界が目標値を 20dB 以上上回ることが判明した。[15] これらの住宅のコンセントの LCL [13] は全て 16dB 以上で技術基準の想定内であり、モデムも技術基準を満たしているにもかかわらず、漏洩電界が想定値を 20dB 以上上回ったことは、当初から私達が予見していたとおり [4], [6]、現行の技術基準に根本的な誤りがあることを強く示唆している。その原因は複数あるが、[16], [17] 本研究では、コンセントで測った LCL に基づいて ISN の CM 電流で許容値を定めることが 2 重に間違っており、漏洩電磁界強度を何ら規制しないことを理論的に明らかにする。

2. コンセントで測った LCL

2.1 不平衡要素の表現

屋内電力線上の主要な不平衡要素としては、下記のものが考えられる。

- 不平衡負荷 [18]
- 片切りスイッチを含む分岐（スイッチ分岐）[18]
- 片側接地の引込線 [17]

これらは一般に PLC を接続するコンセントに存在するのではなく、電力配線上でコンセントから離れた位置に存在する。従って、コンセントと不平衡要素を電力配線で接続した状態を考えなければならない。

ここでは、電力配線上に存在する不平衡要素を、図 1 に示す T 型の等価回路で表すことにする。[20] 不平衡性は $Z_1 \neq Z_2$ であること、すなわち、

$$\Delta = Z_2 - Z_1 \tag{1}$$

がゼロでないことによる。文字の使い方については、CISPR22 [19] にも引用されている [20] との比較を容易にするために、できる限りそれに合わせている。しかし、電力線上の不平衡要素は電力線の差動モード (DM) に対して整合終端とは限らないので、

$$Z_{DM} = Z_2 + Z_1 \tag{2}$$

として、上 [21] と同程度の一般化を行っている。

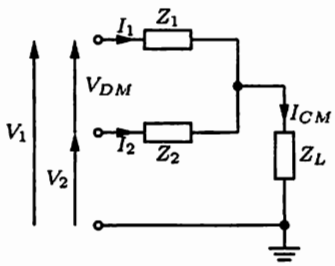

図 1　不平衡負荷

図 1 の電圧、電流の関係は、差動モード (DM) とコモンモード (CM)

$$\begin{cases} V_{DM} = V_1 - V_2 \\ I_{DM} = (I_1 - I_2)/2 \end{cases}, \quad \begin{cases} V_{CM} = (V_1 + V_2)/2 \\ I_{CM} = I_1 + I_2 \end{cases} \tag{3}$$

を導入すると、

$$\begin{bmatrix} V_{DM} \\ V_{CM} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{DM} & -\Delta/2 \\ -\Delta/2 & Z_L + Z_{DM}/4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{DM} \\ I_{CM} \end{bmatrix} \tag{4}$$

と表すことができる。これは、不平衡要素を DM と CM の 2 端子対網として見たインピーダンス行列（Z 行列）による表現であり、上によって与えられた。[21] しかし、この Z 行列による表現では、$V_{DM}, V_{CM}, I_{CM}, I_{DM}$ は DM と CM の端子電圧、端子電流であって入射波と反射波に分けられてはいない。

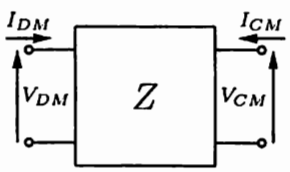

図 2　混合モード・インピーダンス行列

2.2 不平衡要素の混合モードS行列表現

屋内電力線上の不平衡要素は、一般にPLCを接続するコンセントに存在するのではなく、電力配線上でコンセントから離れた位置に存在する。従って、コンセントと不平衡要素を電力配線で接続した状態を考えなければならない。それには、入射波と反射波を区別して考える必要があり、Z行列からS行列に移行する方が便利である。まず、電力線の伝送線路としての特性インピーダンスをDMについてZ_0、CMについてZ_{0c}として、混合モードのZ行列を規格化する。[22]

$$\mathbf{Z}' = \begin{bmatrix} Z_{DM}/Z_0 & -\Delta/2\sqrt{Z_0 Z_{0c}} \\ -\Delta/2\sqrt{Z_0 Z_{0c}} & (Z_L + Z_{DM}/4)/Z_{0c} \end{bmatrix} \tag{5}$$

これより混合モードのS行列は、下記のとおり求められる。[22]

$$\begin{aligned} \mathbf{S} &= (\mathbf{Z}'+1)^{-1}(\mathbf{Z}'-1) \\ &= \begin{bmatrix} (Z''_{CM}+Z_{0c})(Z_{DM}-Z_0)-\Delta^2/4 & -\Delta\sqrt{Z_{0c}Z_0} \\ -\Delta\sqrt{Z_{0c}Z_0} & (Z'_{CM}-Z_{0c})(Z_{DM}+Z_0) \end{bmatrix} \\ &\times \frac{1}{(Z'_{CM}+Z_{0c})(Z_{DM}+Z_0)} \end{aligned} \tag{6}$$

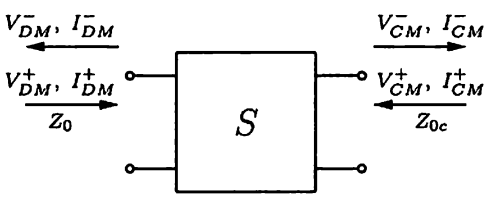

図3 混合モードS行列

ここで、

$$Z_{CM} = Z_L + Z_1//Z_2 = Z_L + Z_{DM}/4 - \Delta^2/4Z_{DM} \tag{7}$$

$$Z'_{CM} = Z_L + Z_{DM}/4 - \Delta^2/4(Z_{DM}+Z_0) \tag{8}$$

$$Z''_{CM} = Z_L + Z_{DM}/4 \tag{9}$$

とした。Z_{CM}は図1から単純に求められるCMに対する終端インピーダンスである。

後でLCLを求めるときに必要となるCM電圧からDM電圧への変換係数、および、CM電流を求めるときに必要となるDM電流からCM電流への変換係数は、ともに、

$$\begin{aligned} \kappa &= \frac{V^-_{DM}}{V^+_{CM}} = S_{12}\sqrt{\frac{Z_0}{Z_{0c}}} = \frac{I^-_{CM}}{I^+_{DM}} = S_{21}\sqrt{\frac{Z_0}{Z_{0c}}} \\ &= \frac{-\Delta Z_0}{(Z'_{CM}+Z_{0c})(Z_{DM}+Z_0)} \end{aligned} \tag{10}$$

で現される。このκは不平衡要素によるモード変換を表す重要な指標である。

2.3 不平衡要素から離れたところで測定したLCL

不平衡要素が電力配線上でコンセントから距離lのところにあるとして、コンセントで測定したLCLを導出する。LCLの測定にはLCLプローブ[13],[23]を用いるとすると、LCL測定時の等価回路は図4のようになる。ここで、$Z_3 = Z_4 = Z_0/2$であり、CM信号源のインピーダンスは$Z_3//Z_4 = Z_0/4$、開放電圧はE_Lである。

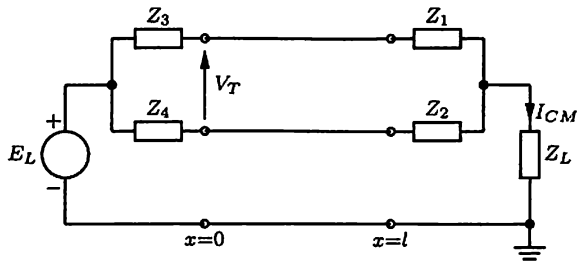

図4 不平衡負荷から離れた点でのLCL測定

CM信号源から伝送線路のCMに送端から注入される進行波の電圧は、$E_L Z_{0c}/(Z_0/4+Z_{0c})$である。

CMについての電圧反射係数が、式(6)より

$$\Gamma_{cl} = S_{22} = \frac{Z'_{CM} - Z_{0c}}{Z'_{CM} + Z_{0c}} \tag{11}$$

と書けることから、CMはZ_{CM}ではなくZ'_{CM}で終端されているように見える。従って、CMに対する等価回路は図5のようになる。

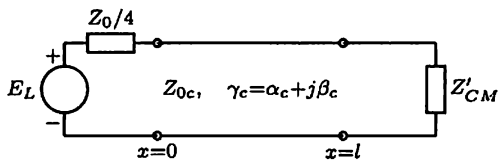

図5 LCL測定時のCM等価回路

図5の等価回路の送端のCM電圧反射係数を、

$$\Gamma_{cs} = \frac{Z_0/4 - Z_{0c}}{Z_0/4 + Z_{0c}} \tag{12}$$

CMの伝搬定数を$\gamma_c = \alpha_c + j\beta_c$として、両端での多重反射を積算すると、送端および受端での負荷（不平衡要素）方向(+x方向)への進行波電圧は、次式で表される。

$$V^+_{CM}(0) = \frac{E_L Z_{0c}}{(Z_0/4+Z_{0c})[1-\Gamma_{cs}\Gamma_{cl}\exp(-2\gamma_c l)]} \tag{13}$$

$$V^+_{CM}(l) = V^+_{CM}(0)\exp(-\gamma_c l) \tag{14}$$

$V^+_{CM}(l)$によって不平衡要素で発生する$-x$方向のDM進行波の電圧は、式(10)より、

$$V^-_{DM}(l) = \kappa V^+_{CM}(l) = \frac{-\Delta Z_0 E_L}{(Z'_{CM}+Z_{0c})(Z_{DM}+Z_0)} \tag{15}$$

となる。これが$x=0$までDMの伝搬定数$\gamma = \alpha + j\beta$で伝搬すると、

$$V^-_{DM}(0) = V^-_{DM}(l)\exp(-\gamma l) \tag{16}$$

となる。LCLプローブはDMについてはZ_0で整合終端されていて反射は無いので、これがそのまま端子電圧となる。

$$V_T = V_{DM}(0) = V^-_{DM}(0) \tag{17}$$

従って、コンセント($x=0$)で測ったLCLは、

$$\mathrm{LCL}_{out} = E_L/V_T$$

$$= |[(Z_0/4 + Z_{0c})(Z'_{CM} + Z_{0c}) - (Z_0/4 - Z_{0c})(Z'_{CM} - Z_{0c})\exp(-2\gamma_c l)] \times 2\exp[(\alpha+\alpha_c)l]/\Delta Z_{0c}| \quad (18)$$

となる。

伝送線路を介さずに不平衡要素のところで直に LCL を測った場合は、$l = 0$ として、

$$\mathrm{LCL}_{dir} = |(4Z'_{CM} + Z_0)/\Delta| \quad (19)$$

となり、$Z_{DM} = Z_0$ の場合は従来の結果 [20] と一致する。

コンセントで測った LCL は、不平衡要素とコンセントでの多重反射による共振効果によって振動的な周波数依存性を有するが、不平衡要素とコンセント間の CM の伝搬損失が大きく $\exp(-2\alpha_c l) \ll 1$ の場合には、多重反射は無視できて、進行波によってほぼ決まる。

$$\begin{aligned}\mathrm{LCL}_{out} &\approx |2(Z_0/4+Z_{0c})(Z'_{CM}+Z_{0c})\exp[(\alpha+\alpha_c)l/\Delta Z_{0c}| \\ &= \mathrm{LCL}_{dir}\frac{(Z_0/4+Z_{0c})(Z'_{CM}+Z_0/4)}{2Z_{0c}(Z'_{CM}+Z_0/4)}\exp[(\alpha+\alpha_c)l] \\ &\geqq \mathrm{LCL}_{dir}\exp[(\alpha+\alpha_c)l]/2 \quad (20)\end{aligned}$$

これは、コンセントで測った LCL が、コンセントと不平衡要素の間の往復（往路 CM、復路 DM）伝搬損失のために、不平衡要素で直に測った LCL よりも大きく（良く）見える、すなわち、不平衡要素を過小評価していることを示している。

一方、不平衡要素で直に測った LCL は、実際には測定できない量であり、コンセントから不平衡要素までの DM の伝搬損失が入っていないので、不平衡要素を過大評価（LCL としては過小評価）することになる。従って、正しい指標は、コンセントで測った LCL を不平衡要素とコンセントの間の CM 伝搬損失分だけ小さくした、

$$\mathrm{LCL}^* = \mathrm{LCL}_{out}\exp(-\alpha_c l) \quad (21)$$

と考えられる。しかし、実際には CM 伝搬損失は不明であり、コンセントで LCL を測っても LCL^* は分らない。ただし、CM 伝搬損失は DM 伝搬損失より明らかに大きいはずである。

コンセント LCL に基づいて CM 電流を評価すると、CM 伝搬損失の分だけ過小評価となり、実際には、その分だけ大きな CM 電流を許すことになる。そのことは、次の CM 電流の導出でさらに明らかとなる。

3. 不平衡要素で発生するコモンモード電流

コンセントに PLC モデムを接続して DM 信号を印加したときに、電力線上でコンセントから距離 l だけ離れた位置にある不平衡要素で発生する CM 電流を導出する。

PLC モデムを使用している時の等価回路は図 6 のようになる。ここで、モデムは完全に平衡で、$Z_3 = Z_4 = Z_0/2$ とする。Z_C はモデムの CM インピーダンスである。

送端から電力線に注入される DM 進行波電流は、

$$I^+_{DM}(0) = E_S/(Z_3 + Z_4 + Z_0) = E_S/2Z_0$$

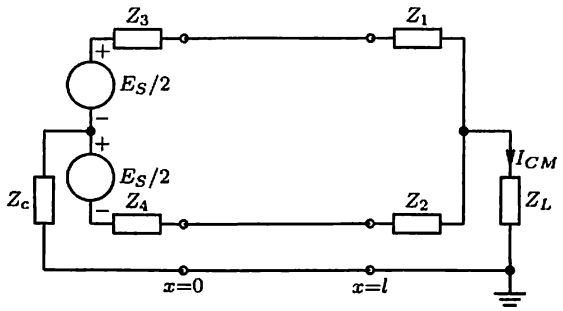

図 6 PLC モデム使用時の等価回路

であり、距離 l のところにある不平衡要素に入射するのは、

$$I^+_{DM}(l) = I^+_{DM}(0)\exp(-\gamma l)$$

である。ここでは、DM の送端が $Z_3 + Z_4 = Z_0$ で整合終端されているので、不平衡要素で DM が反射されても、DM の多重反射は生じず、不平衡要素に入射する DM 電流は変わらない。

不平衡要素で発生する CM 電流は、式 (10) より、

$$I^-_{CM}(l) = \kappa I^+_{DM}(l) = \kappa I^+_{DM}(0)\exp(-\gamma l) \quad (22)$$

となる。モデムからコンセントに注入される DM 電流と発生する CM 電流の比は、

$$\left|\frac{I^-_{CM}(l)}{I^+_{DM}(0)}\right| = |\kappa|\exp(-\alpha l) = \left|\frac{\Delta\exp(-\alpha l)}{2(Z'_{CM} + Z_{0c})}\right| \quad (23)$$

となる。

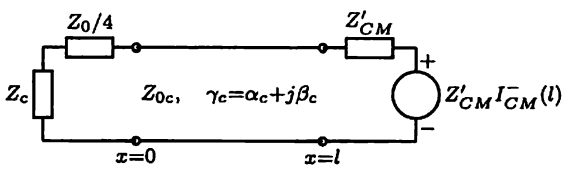

図 7 PLC モデム使用時の CM 等価回路

CM については、以後、図 7 の等価回路で考えることにする。CM の電圧反射係数は、不平衡要素側は LCL 測定時と同じ Γ_{cl}、PLC モデム側は、

$$\Gamma_{cm} = \frac{Z_C + Z_0/4 - Z_{0c}}{Z_C + Z_0/4 + Z_{0c}}$$

である。これらによる多重反射を考えると、$x = l$ における $-x$ 方向の全進行波電流は、

$$I^-_{CM,all}(l) = \frac{I^-_{CM}(l)}{1 - \Gamma_{cm}\Gamma_{cl}\exp(-2\gamma_c l)} \quad (24)$$

となる。

一方、モデムを接続したコンセントにおける CM 電流は、$-x$, $+x$ 方向の全進行波、およびそれらの和である定在波について、それぞれ、

$$I^-_{CM,all}(0) = I^-_{CM}(l)\frac{\exp[-\gamma_c l]}{1-\Gamma_{cm}\Gamma_{cl}\exp(-2\gamma_c l)} \quad (25)$$

$$I^+_{CM,all}(0) = -\Gamma_{cm}I^-_{CM,all}(0) \quad (26)$$

$$I_{CM,all}(0) = (1 - \Gamma_{cm})I^-_{CM,all}(0) \quad (27)$$

となる。

確認のため、$l=0$ として CM 電流定在波を計算すると、

$$I_{CM,all}(0) = \frac{-\Delta I^{+}_{DM}(0)}{2(Z_C + Z_0/4 + Z'_{CM})} = \frac{-\Delta I^{+}_{DM}(0)}{2(Z_C+Z_L)+[Z_0 + Z_{DM} - \Delta^2/(Z_0+Z_{DM})]/4} \tag{28}$$

となり、$Z_{DM} = Z_0$ の場合、従来の結果 [20] と一致する。

不平衡要素とコンセントの間の CM 伝搬損失が大きく、$\exp(-2\alpha_c l) \ll 1$ の場合、多重反射は無視できて、不平衡要素で発生する CM 電流の全進行波は、

$$I^{-}_{CM,all}(l) \approx I^{-}_{CM}(l) \tag{29}$$

となる。コンセントでモデムから注入される DM 電流との比は、

$$\left|\frac{I^{-}_{CM,all}(l)}{I^{+}_{DM}(0)}\right| \approx |\kappa| \exp(-\alpha l) \approx \frac{\exp(\alpha_c l)}{\mathrm{LCL}_{out}} = \frac{1}{\mathrm{LCL}^{*}} \tag{30}$$

であり、モデム出力の DM 電流から電力線上の CM 電流への変換損失を表わす正しい指標は、コンセントで測定した LCL ではなく、コンセント LCL から不平衡要素とコンセントの間の CM 伝搬損失分を割り引いた LCL* であることが分かる。

一方、コンセントでモデムから注入される DM 電流と、コンセントまで伝搬した CM 電流全進行波 $I^{-}_{CM,all}(0) = I^{-}_{CM,all}(l)\exp[-\gamma_c l]$ との比は、

$$\left|\frac{I^{-}_{CM,all}(0)}{I^{+}_{DM}(0)}\right| \approx \frac{1}{\mathrm{LCL}_{out}} \tag{31}$$

であり、こちらはコンセント LCL で表わされる。すなわち、コンセント LCL は電力線上の不平衡要素で発生した CM 電流がコンセントに到達するまでに減衰したものを表わしている。実際の電力配線上には、減衰する前の大きな CM 電流が発生していることに注意する必要がある。

3.1 CM チョークの効果

モデムを接続するコンセントに CM チョークを挿入して、コンセント LCL を良くしても、それはコンセントと不平衡要素との間の CM 伝搬損失が大きくなったことによる効果なので、LCL* は不変であり、不平衡要素で発生する CM 電流も不変で、漏洩電界は低減できない。

3.2 モデムの CM インピーダンスの効果

式 (30) から分かるように、電力線上の不平衡要素で発生する CM 電流 $I^{-}_{CM,all}(l)$ は、不平衡要素の LCL* とモデム出力の DM 電流によって決まり、モデムの CM インピーダンス Z_C には依存しない。従って、モデム側でできることは、既にモデムの平衡性が十分高いとすれば、DM 出力を小さくすることだけである。[18]

一方、モデム出力において通常の CM 電流プローブで測定されるのは定在波電流 $I_{CM,all}(0) = (1-\Gamma_{cm})I^{-}_{CM,all}(0)$ であり、これはモデムの CM インピーダンス Z_C を大きくすることによって、電流反射係数 $-\Gamma_{cm}$ を -1 に近づければ、原理的にはいくらでも小さくすることができる。その場合でも、電力線上で発生する CM 電流 $I^{-}_{CM,all}(l)$ が小さくなるわけではないことに注意する必要がある。したがって、モデムの CM インピーダンスを大きくして、モデム出力での CM 電流を低減しても、漏洩電界は低減できない。

3.3 ISN の有効性

コンセント LCL は実際の CM 電流を過小評価しており、真の CM 電流は LCL* で表わされることを述べた。それでは、ISN の LCL をコンセント LCL でなく LCL* に一致させれば、電力線上の不平衡要素で発生する CM 電流を再現できるであろうか？

残念ながら、これは PLC モデムと ISN を直結する限り不可能である。これらを直結してその接続点における CM 電流を測定すると、式 (28) の値が測定されるが、これはモデムの CM インピーダンス Z_C を大きくすれば、いくらでも小さくすることができる。一方、電力線上の不平衡要素で発生する CM 電流は、Z_C を大きくしても変わらない。従って、前者に対して許容値 $I_{CM,reg}$ を定めたとしても、Z_C を大きくすれば $I^{+}_{DM}(0)$ を小さくせずに満たすことが可能であり、後者の CM 電流には上限は課されない。

ISN を実際の電力線上の不平衡要素と同じように、PLC モデムと長さ l の電力線で接続し、PLC モデム側でなく、ISN 側で CM 電流を測定した場合は、どうであろうか？電力線に CM チョークを挿入して CM の伝搬損失が十分大きくなるようにしておけば、両端での多重反射は無視できて、モデムの CM インピーダンス Z_C は寄与せず、式 (29) より $I^{-}_{CM,all}(l) \approx I^{-}_{CM}(l) \approx I^{+}_{DM}(0)/\mathrm{LCL}^{*}$ が測定される。これは電力線上で実際に発生する CM 電流を再現している。しかし、この ISN で測定した CM 電流で許容値 $I_{CM,reg}$ を定めることは、モデムの DM 出力電流 $I^{+}_{DM}(0)$ に対して許容値 $I_{DM,reg} = I_{CM,reg}LCL^{*}$ を定めることと等価である。それならば、ISN を使わなくても簡単に測定できる DM 出力電流を直接規制する方が遥かに合理的である。

4. まとめ

電力配線上でコンセントから距離 l だけ離れたところにある不平衡要素による LCL と CM 電流を導出した。電力配線上に存在する不平衡要素を T 型の等価回路で表し、その混合モード (DM と CM) の S 行列を求めて、進行波に対するモード変換係数を導出した。CM に対する等価回路によってコンセントおよび不平衡要素での CM の多重反射と伝搬損失を正しく反映した形で、LCL および CM 電流を導出した。この結果は、$l=0$ の場合について、従来の結果 [20] と一致しており、それを一般に距離 l に拡張したものになっている。

コンセントと不平衡要素との間の CM 伝搬損失が大きい場合について、コンセントで測定した LCL と不平衡要素で発生する CM 電流の関係を明らかにした。コンセント LCL は、電力配線上の不平衡要素で発生した CM 電流が減衰してコンセントまで伝搬したものしか表しておらず、電力配線上には減衰する前の大きな CM 電流が存在することを明らかにした。コンセン

トLCLはコンセントと不平衡要素との間の片道CM伝搬損失の分だけ、CM電流を過小評価しており、漏洩電界の指標にはならない。一般にCM伝搬損失は不明であるから、コンセントでLCLを測っても、電力配線上に分布する不平衡要素によって発生するCM電流は分らない。

何らかの方法でCM伝搬損失を補正した真のLCLを推定できたとしても、そのLCLを持つISNをPLCモデムと直結した場合、電力配線上の離れたところで起こっているモード変換を模倣し得ないことを明らかにした。この場合、モデムのCMインピーダンスを高くすることによって、モデム端で測定したCM電流は任意に小さくすることができるのに対して、実際の電力配線上ではモデムのDM出力を小さくする以外に、CM電流を減らすことはできない。PLCモデムとISNの間の配線長を長くし、さらにCMチョークを挿入すれば、電力配線上のモード変換を模倣できるが、その場合、モデム出力のDM電流を規制するのと等価であることを示した。

我が国の現行の広帯域電力線搬送通信の技術基準[7]～[9]や、現在CISPRで議論されているPLCの許容値案[24]は、いずれもコンセントで測定したLCLに基づいて、それと同じ値のLCLを持つISNとPLCモデムを接続して測定したCM電流に対して許容値を定めている。しかし、この方法は、コンセントLCLがCM電流を過小評価することと、ISNによる規制が実際には差動出力や漏洩電界強度に対して何の規制にもならないという2重の意味で、原理的に間違っており、直ちに見直す必要がある。

文　献

[1] 総務省, 高速電力線搬送通信に関する研究会報告書, http://www.soumu.go.jp/s-news/2005/pdf/051226_6_bt2.pdf, 2005.12

[2] 総務省, 情報通信審議会情報通信技術分科会 CISPR 委員会報告, http://www.soumu.go.jp/joho_tsusin/policyreports/joho_tsusin/bunkakai/pdf/060629_3_1-2.pdf, 2006.6

[3] 西本修一, 総務省, 電波監理審議会意見書（第415回 意見の聴取）http://www.soumu.go.jp/joho_tsusin/policyreports/denpa_kanri/pdf/060823_2.pdf, 2006.9

[4] 同上, 別紙, pp.21–27 （北川意見）

[5] 総務省, 電波監理審議会（第909回）議事要旨, pp.1–2, http://www.soumu.go.jp/joho_tsusin/policyreports/denpa_kanri/pdf/060913_2.pdf, 2006.9

[6] 総務省, 電力線搬送通信設備の技術基準等の整備に関する電波監理審議会答申及び意見募集の結果, http://www.soumu.go.jp/s-news/2006/pdf/060913_9_7.pdf, 2006.9

[7] 無線設備規則第59条第1項第1号, 同第2項, 第60条第2号

[8] 電波法施行規則第46条第1項第5号、同条の2第1項第5号

[9] 総務省告示第520号 （平成18年10月4日）

[10] 杉浦, 上, 雨宮, 山中, "我が国の高速PLC規格とその技術的背景," 信学技報, EMCJ2007-36, 2007.7

[11] ITU-T, Recommendation G.117, "Transmission aspects of unbalance about earth," 1996.2

[12] ITU-T, Recommendation O.9, "Measuring arrangements to assess the degree of unbalance about earth," 1999.3

[13] I. P. Macfarlane, "A Probe for the Measurement of Electrical Unbalance of Networks and Devices," IEEE Trans on EMC, Vol. 41, No. 1, pp. 3–14 (1999).

[14] 神宝, 西山, 前川, 石川, 稲田, 牧, "既設住宅における電力線のLCLとコモンモードインピーダンスの測定," 信学技報, EMCJ2005-70, 2005.9

[15] 北川, 大石, "住宅環境における屋内広帯域電力線搬送通信からの漏洩電界とコモンモード電流の測定 I," 信学技報, EMCJ2007-49, pp. 37–42, 2007.9

[16] 北川, "屋内電力配線のアンテナ係数のその場測定," 信学技報, EMCJ2007-54, pp.7–12, 2007.10

[17] 北川, 大石, "住宅環境における屋内広帯域電力線搬送通信からの漏洩電界とコモンモード電流の測定 III," 信学技報, EMCJ2007-117, pp.1–6, 2008.3

[18] 石原, 梅原, 森広, "屋内電力線通信における漏洩電界の測定," 信学技報, EMCJ2005-145, 2006.3

[19] IEC/CISPR, CISPR22 第5.2版 (2006-03)

[20] R. M. van Maurik, "Potential common mode currents on the ISDN S and T-interface caused by cable unbalance," IEE 8th Int. Conf. EMC, Edinburgh, 1992, IEE Conf. Pub. No. 362, pp.202–206.

[21] 上, "高速電力線搬送通信における屋内電源コンセントの等価表現とコモンモード電流," 信学技報, EMCJ2005-71, pp.73-78, 2005.9

[22] 伝送線路の教科書, 例えば, 小澤孝夫, 電気回路 II, 昭晃堂

[23] 川上, 都築, 和崎, 山田, "屋内電力線用LCLプローブ製作に関する考察," 電学論 C, 124巻7号, pp. 1375–1381 (2004).

[24] CISPR/I/257/CD, 2008.2