

平成 21 年 3 月 31 日現在

研究種目：基盤研究 (C)
 研究期間：2007～2008
 課題番号： 19560283
 研究課題名 (和文) 電力線搬送通信による屋内配線での EMC/EMI 評価法に関する研究
 研究課題名 (英文) Study on Estimation of EMC/EMI in Inhouse-Main Lines for Power-Line Communication
 研究代表者
 上 芳夫 (KAMI YOSHIO)
 電気通信大学・共同研究センター・客員教授
 研究者番号： 90017434

研究成果の概要：

日本における電力線搬送通信(PLC)は、屋内に電力配線に限定して、2 MHz から 30 MHz の周波数帯を利用する通信方式である。PLC では平衡(ディファレンシャルモード)電源の回路網ではあるが、電力配線網は平衡状態がくずれている場合が多く、電力配線から電磁波が漏洩する可能性がある。漏洩電磁波はコモンモード(放射モード)電流成分が大きく寄与するので、この評価が重要である。この研究では、どのようなメカニズムでモード変換が発生するかを回路論的表現で求め、最終的にはコモンモード電流を理論的に定式化している。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2008年度	1,200,000	360,000	1,560,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,600,000	780,000	3,380,000

研究分野： 工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・ 電力工学・電気機器工学

キーワード： 電気・電磁環境

1. 研究開始当初の背景

家屋内の電力配線網を使用する高速電力線搬送通信(PLCまたはPLT)では屋内の電力配線網を使用し、新たな設備投資なしで屋内のデータ伝送が可能になるものである。電力配線網に接続された家電製品が PLC モデムを介して電力線に接続され、家電製品を制御したりすることが可能であり、さらに他の無線方式やインターネットと併用することで家庭内 LAN の構築などへの用途が広がると期待されている。しかし PLC は電力配線に短波帯(2MHz~30MHz)の広帯域高周波信号を流

す方式である。電力配線は基本的には平行 2 本線路であるので、開放形電磁界を作ることになる。この結果、電磁波雑音が漏洩することになるので電磁環境(EMC)問題に関する重大な危惧を抱えていることになる。

PLC 通信からの電磁波雑音に関する CISPR(国際無線障害特別委員会)による規制値は、現在国際的合意に至っておらず、ゼロステージから再検討している現状にある。電力配線方式は各国で異なり、各種の方式があり、現状の欧米における PLT 方式はアクセスライン系での使用を念頭にしている。アクセ

スライン系での使用は、日本の電力配線(構造)方式では漏洩電磁波が大きく適さない。日本方式の家屋内に限定する方式は世界的には特異である。

漏洩電磁波の予測には、電力配線で発生する(変換される)電流の評価が必要になる。このために理論的な取扱法を確立する必要がある。

2. 研究の目的

日本方式の PLC による屋内電力配線網での電磁両立性(EMC)/電磁妨害波(EMI)問題を解明し、漏えい電磁波低減手段や PLC モデムの EMI 的性能評価に用いられる疑似電源回路網の取扱法など、理論的な考察手法の確立が必要である。ここでは、この評価法を伝送回路論的手法で考察し、評価手法の開発を目指すものである。

3. 研究の方法

PLC に用いられる屋内電力線配線網は、基本的には平行 2 本線路系であり、多導体線路系の基本となる線路構造を成している。このため、多導体線路系の電信方程式を解く方式として、最も一般的なモード分解法に基づく伝送回路網の取扱法を検討して理論的考察を行っている。

PLC の通信方式は、通信線路(電話回線)を使用する xDSL(Digital Subscriber Line)方式と同様に 2 本線路系である。この通信方式系で用いられている線路系の特性を示すパラメータとして、LCL(縦電圧変換損: Longitudinal Conversion Loss)と呼ばれる技術用語が採用されている。この LCL は平衡度が高い場合は大きい値を示すものである。電力線配線網での LCL は低い、すなわち平衡度が悪いので、通信線路で用いたときの近似式を再検討する必要がある。このため回路網的な取扱法から解析手法を確立している。

4. 研究成果

屋内の電力配線は、配線の一方が引き伸ばされたり、分岐先には多種多様の電気製品が接続されたりしている。電力配線の状況进行评估できる端子として、外部に出現して直接観測出来る端子はコンセントである。

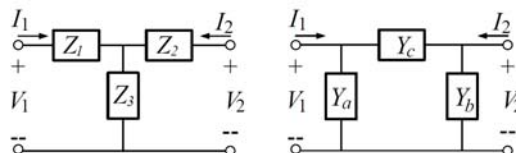


図1 コンセント端子を実電圧・電流で表現する非対称な T 型回路と π 型回路

図1に示すようにコンセントから電力配線網を見ると非対称な T 型や π 型回路で表

現することが可能である。この枝素子は屋内配線網を伝送線路的に取り扱うことによって等価回路素子として求めることができる。この回路は、端子での実電圧・電流の関係をインピーダンス行列やアドミッタンス行列で表現される回路網で表現できる。この等価回路から、配電線での EMI 問題に大きく影響を与えるコモンモード電流の取扱法に関する成果を得た。

(1) モード端子で表現する回路網

PLC の電源回路はディファレンシャルモード(DM)と呼ばれる 2 本の線路に等量異符号の信号電流を流す平衡型励振方式である。電力配線網での漏洩電磁界成分となる重要な成分は、2 本の線路を同相で流れるコモンモード(CM)の電流成分である。このため、非対称な回路網でどのようにしてモード変換が発生するか、メカニズムを明らかにしながら定式化することである。これを明らかにするために、回路網の端子をモード電圧・電流で表現する『モード端子で表現する回路網(モード回路網)』を導出した。モードインピーダンス行列とモードアドミッタンス行列は逆行列の関係が成立する。

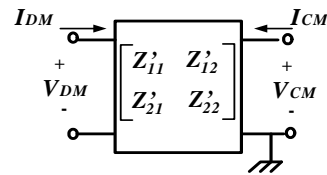


図2 端子をモード電圧・電流で表現するモードインピーダンス行列の例

このモード回路網では、例えば、インピーダンス行列表示では、対角要素がそのままモードのインピーダンスを示すものではないことに注意する必要がある。また、図1で与えた T 型回路では直列腕の違いが回路網の非平衡であり、これは対角要素以外の要素で表現される。この項が零でないことがモード変換の発生を意味している。即ち、この回路網では、①モード変換メカニズムを示し、②両モードには相反定理が成立することを示している。

この『モード回路網』は世界で初めて導入・提案された回路網であり、2 本線路系のモード電圧・電流を議論する際に有効な回路網である。PLC 問題のみならず、回路基板での放射妨害波を低減する手法として、最近では DM の伝送方式が採用されており、この回路網を用いて考察することが可能である。

(2) LCL の厳密解表現

LCL は、字句的には『縦電圧変換損』と称されており、IEC(国際電気標準会議)が通信線路からの EMI 問題を議論する際に定義し

ている用語である。

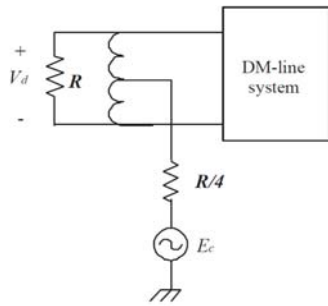


図3 IECの定義によるLCLを求めるための回路

2 本線路系のような平衡回路網を CM 電源で励振したとき、回路網の DM 終端負荷に DM 電圧が誘起(モード変換)される。LCLは CM 電源電圧対 DM 電圧比で定義される。LCLの物理的な縦電圧変換損の意味は、モード変換損、非平衡の度合いを意味することで

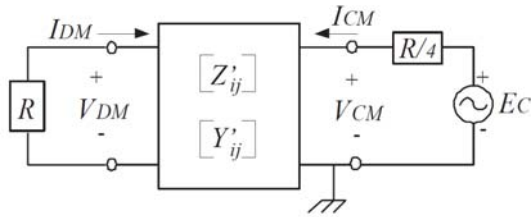


図4 モードインピーダンス行列で表現したLCLの定義回路

電力配線網では、線路系の平衡がくずれる場合が多いので、従来の通信線路系でのLCLの式がそのまま適用できない。この研究ではモード変換回路網を用いて回路網的な取扱法からLCLの厳密な表現法を提案している。この表現は、従来の近似式をすべて包含するものであるため、どの程度の近似レベルであるかを評価できる特長も有している。

(3) ISNによるCM電流評価式
電力線回路網にPLCモデムを接続して、電力線にどの程度のCM電流が発生しているかを実際の電力配線で測定することは現実には不可能と言って過言ではない。このため電力線回路網を模擬する回路としてISN(Impedance Stabilization Network)と称する擬似電源回路網がある。

日本においてはISNにPLCモデムを接続したとき、規定のレベル以下のCM電流でなければならないとされている。

図5に示したようなISNは、節点解析法を適用すると等価的にπ型の等価回路で表現できる。この回路解析は、モードインピーダンス行列を用いることによって、簡潔に求めることができる。

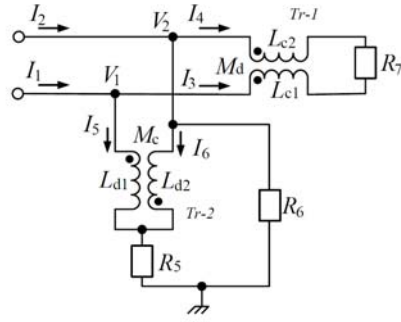


図5 ISNの回路例

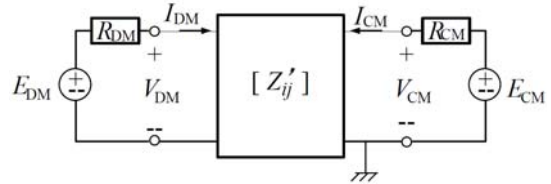


図6 ISN回路網でのCM電流を考察する等価回路網

(4) コモンモード電流用の等価回路
非平衡電源回路網(例えば、PLCモデムや任意点から左を見た電源回路網)が非平衡負荷回路網(例えば、ISNやコンセントから電力配線回路も見込む負荷回路網)に接続されている回路網は図7のように書ける。

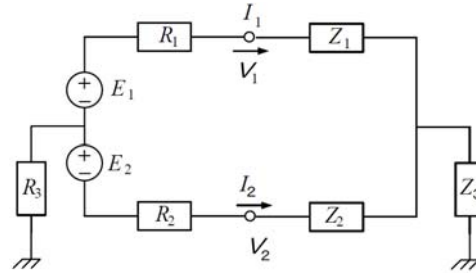


図7 非平衡負荷回路網に接続された非平衡電源回路網

このような動作状態におけるモード電圧・電流の振る舞いは、どうなっているかを考察することによって、モード変換の詳細を検討している。

回路網のDMやCMインピーダンスは、回路網が対称でない場合においてもそのまま適用されている。このことによって実際の動作時において、モード成分を取り出すと、オームの法則が成立しないといった不都合が発生している。この現象を明らかにしている。

非平衡回路網で、DMやCMの励振法でインピーダンスを求めることは、その回路電圧・電流を対角化して独立モードを考察することであり、実電圧・電流からモード電圧・電流に変換する際の変換行列はそれぞれの回路網で異なる。従ってどのような変換行列を

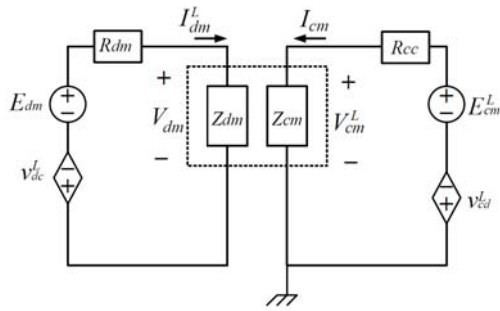


図8 負荷回路でのモード変換行列で対角化した等価回路例

適用するかが問題になる。

図8は等価回路の一例であり、負荷回路を対角化するモード変換行列から導出したものである。この等価回路において、モード変換行列に関係なく決定されるものは、DM電圧とCM電流である。さらに、このときは電源回路網のCM内部インピーダンスは、通常のCMインピーダンスではない。またモード変換の要素は従属電圧源として表現されることを示している。

電源回路網と負荷回路網をそれぞれで対角化した回路を接続するには、それぞれのモード電圧・電流ベクトルを自然電圧・電流ベクトルに戻した上で、CMモード電流に関する等価回路を求める必要がある。このときの等価回路は、例えば、次のようになる。

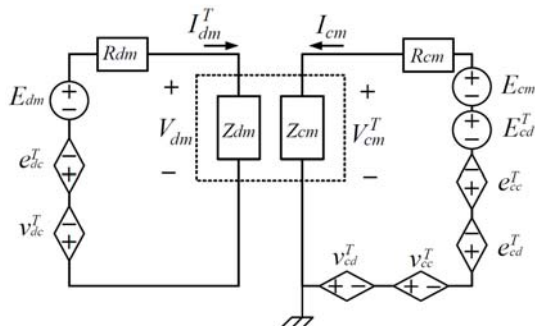


図10 通常のDMとCMインピーダンスだけを回路素子インピーダンスとする等価回路

これらの導出過程から、①動作時のCMやDMのインピーダンスが、静的な場合と異なること、②回路網の非平衡な性質は従属電源で表現されること、③そのため、あるモードだけを取り出した等価回路網は不可能であること、などの新知見を得た。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 2件)

- ① 上芳夫, “EMCにおける伝送回路網理論:基礎から応用へ”, 電気通信大学紀要,

21巻, pp.1-9, 2009-01, 査読無

- ② 上芳夫, “EMCにおける伝送回路理論とその展開”, 電子情報通信学会論文誌 B, J90-B, 11, pp.1070-1082, 2007. 査読有

[学会発表] (計 6件)

- ① 上芳夫, 肖鳳超, 村野公俊, “電力配線網におけるEMC問題を考えるための伝送線路論的手法” 電子情報通信学会環境電磁工学研究会技術報告, EMCJ2008-107, pp.29-34, 2009-01-23, 北九州.
- ② Y. Kami, and F. Xiao, “Mode-Port-Network Approach to Analyze Power-Line EMC Problems for PLC,” Proceedings 20th International Zurich Symposium on Electromagnetic Compatibility, pp.9-12, 2009-01-13, Zurich(Swiss).
- ③ 小栗康範, 村野公俊, 肖鳳超, 上芳夫, “PLC用ISNにおけるコモンモード電流とコモンモード電圧” 電子情報通信学会総合大会, B-4-75, 2008-03-21, 北九州.
- ④ 上芳夫, “EMCにおける伝送線路網理論—その理論と有効性”, 電子情報通信学会環境電磁工学研究会技術報告, EMCJ2007-105, pp.55-60, 2007-12-07, 浜松.
- ⑤ Y. Oguri, K. Murano, F. XIAO, and Y. Kami, “LCL characteristics of parallel transmission line with load circuit,” in Proc. 2007 4th Int. Symp. EMC, Qingdao, China, pp. 126-129, 2007-10-23, 青島(中国).
- ⑥ 小栗康範, 村野公俊, 肖鳳超, 上芳夫, “分岐を含む電力線回路網のLCL評価のための回路網表示” 電子情報通信学会ソサイエティ大会, B-4-14, 2007-09-11, 鳥取.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

上 芳夫 (KAMI YOSHIO)

電気通信大学・共同研究センター・客員教授
研究者番号: 90017434

(2) 研究分担者

肖 鳳超 (XIAO FENGCHAO)

電気通信大学・電気通信学部・准教授
研究者番号: 60313409

(3) 連携研究者

村野 公俊 (MURANO KIMITOSHI)

東海大学・工学部・准教授

研究者番号: 60366078