

BS-10-4

電力線伝送路における高周波パルス電力伝送効率評価

Evaluation for Efficiency of Electric Power Transmission with High-Frequency Pulse on Power Line Channel

高橋亮†

Ryo Takahashi

引原隆士†

Takashi Hikihara

京都大学大学院 工学研究科 電気工学専攻†

Department of Electrical Engineering, Graduate School of Engineering, Kyoto University

1 はじめに

近年 CO₂ の排出量削減などの要求により電力使用効率の向上が強く求められ、使用中の機器にのみ必要な量の電力を送る技術の研究開発が進められている。ICT 技術の向上により、負荷側から電力供給側に必要な電力量等の情報が伝送され、その情報を基に供給側が選択的に電力伝送を行う、いわゆるオンデマンド型電力供給が注目され、それを実現するための研究開発が活発に進められている。

このような効率的な電力供給を実現するための手法としては様々な提案がされているが、その一つとして現在、電力のパケット化とそのルーティングの導入が提案されている [1, 2]。この提案は、パケット化された電力に送信元や電力を要求している負荷の情報を付加し、その情報に基づいて電力パケットをルーティングするというものである。電力を分割して送ることによって使用電力の大幅な効率化が期待され、数値シミュレーション [3] や実際にそれを実現する機器の実験も進められている [4]。

本報告ではこのような電力パケットを念頭に置き、電力線伝送路における MHz 帯高周波パルス信号電圧を用いた電力伝送効率を数値シミュレーションによって調べる。電力線の伝搬特性は電力線通信 (PLC) に関する研究の過程でこれまで詳細に研究が進められており、本研究では Zimmermann らの論文 [5] の電力線伝送路モデルを用いる。また、信号電圧波形として矩形、正弦波、ガウシアンパルスの各パルスを用い、パルス波形に着目した電力伝送効率についても議論する。

2 電力線伝送路モデル

本報告では Zimmermann らの論文 [5] で解析された電力線伝送路モデルを使用し、この伝送路にパルス信号電圧を送り、負荷に到達する電力量とその時間波形を調べる。文献 [5] より、500kHz から 20MHz 間における電力線伝送路の周波数応答 $H(f)$ は

$$H(f) = \sum_{i=1}^N g_i \cdot e^{-(a_0 + a_1 f^k) d_i} \cdot e^{-j2\pi f(d_i \sqrt{\epsilon_r}/c_0)} \quad (1)$$

で表される。ここで i は各パスのインデックス、 N は考慮するパスの総数、 a_0 、 a_1 、 k は減衰パラメータである。また、 g_i 、 d_i はそれぞれ i 番目のパスの重みと経路長である。 c_0 は光速、 ϵ_r は絶縁材の誘電率である。図 1 は本報告で使用するモデル [5] の概念図である。このモデルでは A 点から電力が送られ C 点で受け取る。また、途中 B 点で分岐がある。A 点、C 点ではインピーダンス整

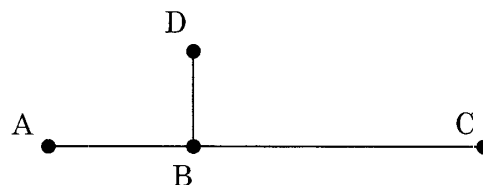


図 1 電力線伝送路モデル

合がとれていると仮定する。B 点で分岐した先の D 点は開放されているとし、ここでは信号は全反射される。AC 間、BD 間のケーブルはそれぞれ塩化ビニルで覆われた NAYY150, NAYY35 タイプの電力線ケーブルで、特性インピーダンスはそれぞれ 45Ω, 70Ω であり、AB, BC, BD 間の距離はそれぞれ 30, 170, 12m である。B 点では信号の反射や透過が生じるためこのモデルはマルチパス伝送路となっている。ここでは 4 つのパスを考慮し各パラメータの設定を表 1, 2 のように設定する [5]。このモデルの周波数応答を図 2 に示す。

表 1 減衰パラメータ

$k = 1$	$a_0 = 1$	$a_1 = 7.8 \times 10^{-10}$
---------	-----------	-----------------------------

表 2 各パスのパラメータ

i	g_i	d_i	i	g_i	d_i
1	0.64	200	3	-0.15	244.8
2	0.38	222.4	4	0.05	267.5

3 電力線伝送路におけるパルス電力伝送

本報告では入力パルス波形として矩形パルス、正弦波パルス、ガウシアンパルスを使用する。これらのパルスを前節の伝送路モデル A 点から送信信号電圧として入力する。受信側 B 点には純抵抗負荷が接続されているとし、信号電圧の二乗を信号の瞬時パワー、その積分値を電力として評価する。入力するパルスの周波数として 10MHz と 1MHz のものを用いて比較する。サンプリング周波数は十分高く設定し、送信信号電圧のサンプル値の二乗和を単位電力として規格化した。すなわち、送信信号電圧 x_i について $\sum_i x_i^2 = 1$ とした。ガウシアンパルスについては標準偏差を σ として $1/2\sigma$ をその周波数とした。図 3, 4, 5 はそれぞれ入力信号電圧に矩形パルス、正弦波パルス、ガウシアンパルスを用いた際の数値シミュレーション結果である。各図には 10MHz, 1MHz それぞれの入力パルス電圧とその受信電圧を示している。これらの結果より 10MHz では高周波成分がフィルタリングされるため、1MHz の場合に比べて大幅に波形が崩

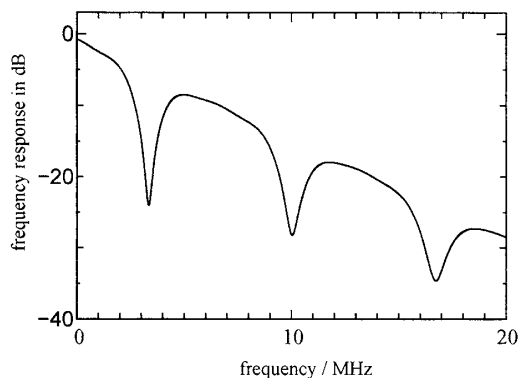


図2 電力線伝送路モデルの周波数応答

れることが分かる。10MHzにおいては三種のパルス波形の中でガウシアンパルスが最も波形を保っていることが分かる。また、1MHzの場合には正弦波パルス、ガウシアンパルスが矩形パルスに比べて大幅に波形を保つことができることが分かる。

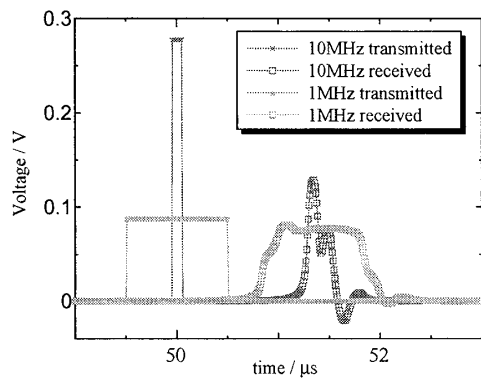


図3 矩形パルス

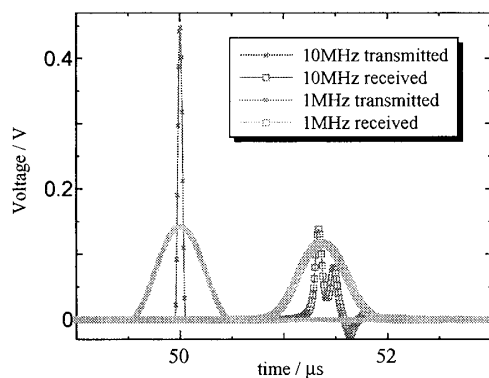


図4 正弦波パルス

次に負荷に到達する電力に着目する。表3は各波形、周波数の場合における負荷に到達する電力を示している。この表より、負荷に到達する電力は10MHzでは入力時に比べて大幅に減少してしまうことが分かる。また、1MHzではどの波形においても7割以上の電力を伝送することができることが分かる。中でもガウシアンパルスでは8割近くの電力を伝送できることが示されている。

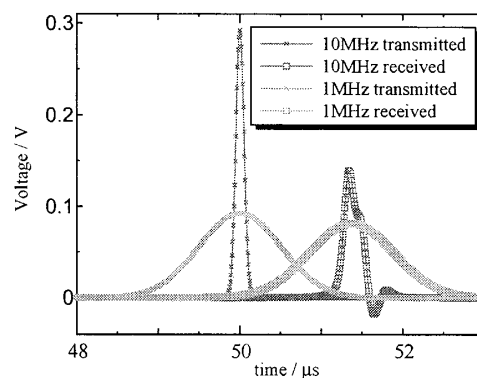


図5 ガウシアンパルス

表3 負荷まで伝送される電力伝送率の比較

	10 MHz	1MHz
Rectangle	0.280	0.718
Sine	0.216	0.712
Gauss	0.418	0.794

4 おわりに

本報告では電力のパルス伝送について、分岐のある電力伝送路モデルにおける電力伝送効率を調べた。10MHzと1MHzのパルスを送信し前者では大幅に電力伝送効率が落ちるが、1MHzでは7割程度の伝送効率を実現することができることを示した。また、パルスの波形についても矩形、正弦波、ガウシアンそれぞれの波形を使用しその差異についても調べた。その結果1MHzパルス伝送においてはガウシアンパルスなら約8割の伝送効率を実現できることを示した。本報告においてはパルス単発についての研究を行ったが、今後パルスを連続的に送信する場合における問題についても検討する必要がある現在研究を進めている。

謝辞

本研究の一部は情報通信研究機構による委託研究“情報通信・エネルギー統合技術の開発支援”の支援を受けたものである。

参考文献

- [1] 豊田淳一, “開放型電力ネットワークの可能性”, 電学誌, vol. 117, no. 6, pp. 345–348, 1997.
- [2] 引原隆士, “電力のパケット化とルーティング技術”, 情報処理, vol. 51, no. 8, pp. 943–950, 2010.
- [3] 高橋亮ほか, “分岐のある伝送路における電力パケット伝送シミュレーション”, 平成22年電気関係学会関西支部連合大会講演論文集, pp. 733–734, 2010.
- [4] T. Takuno, et. al, “In-home Power Distribution Systems by Circuit Switching and Power Packet Dispatching”, in *Proc. First IEEE Int. Conf. on Smart Grid Commun.*, pp. 427–430, Oct. 2010.
- [5] M. Zimmermann and K. Dostert, “A Multipath Model for the Powerline Channel”, *IEEE Trans. Commun.*, vol. 50, no. 4, April 2002.