

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 7 日現在

機関番号：17104

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2012～2015

課題番号：24560464

研究課題名(和文) 高速電力線通信に使用される3導体電力線の信号伝搬特性と信号漏洩特性の研究

研究課題名(英文) Influence of 3-wires power line to signal transmission property and signal leak property used by high-speed power line communication

研究代表者

桑原 伸夫 (KUWABARA, Nobuo)

九州工業大学・大学院工学研究院・教授

研究者番号：50336088

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では3導体電力線が電力線通信信号の伝搬特性や漏洩量に対する影響を検討した。伝搬特性の研究では、3導体電力線や電子機器をモデル化して配電系を構築して伝送特性を測定すると同時に解析を行った。その結果、電源線のグラウンド線として、真ん中の導体を使用した方が伝送特性への影響が小さいことがわかった。一方、漏洩信号成分の研究では、直線の3導体電力線を回路網でモデル化して電力線より10m離れた距離における最大漏洩磁界強度を解析した。その結果、概ね、3線の電力線から漏洩する磁界強度は2線の電力線から漏洩する磁界強度より小さいことがわかった。

研究成果の概要(英文)：The influence to the transmission signal and the suppression effect of the leaking signal component is studied in this project relating to the 3-wires power line with three conductors.

Electrical apparatuses and power line were modeled by LCR circuits, and a simple power distribution system was constructed. The transmission characteristic was evaluated. The results showed that the influence when using the center conductor as the ground line, is smaller than the influence when using the side conductor as the ground line. The magnetic field strength at 10m distance was calculated by using the circuit model of the power line. A straight line was used for the investigation. As the results, in major cases, the magnetic field strength leaking from the three conductor power line was smaller than the field strength leaking from the two conductor power line.

研究分野：工学

キーワード：情報通信工学 電子デバイス・機器 環境電磁工学 電力線通信 漏洩磁界

1. 研究開始当初の背景

(1) 電力線通信は、家庭内のあらゆる場所に敷設されている電力線を通信媒体として電子機器をネットワーク化し、安心で便利な社会を築くことを目的として開発された。しかしながら、電力線は通信目的に設計されていないため、通信信号の漏洩が問題となり、第3世代電力線通信については、使用が屋内に制限されている。

(2) 通信信号の漏洩に関するこれまでの検討は2導体の電力線について行われて来た。しかし、屋内にはグラウンド線を含む3導体の電力線も使用されており、3導体の電力線上を信号が伝搬した時の通信信号の伝送特性や漏洩特性について明らかにする必要がある。

2. 研究の目的

本研究の目的は以下の2点である。

(1) 3導体電力線のグラウンド線は通信に使用される2導体の近くに配置されるため、グラウンド線の存在が通信特性に影響を与えることが予測される。そのため、グラウンド線の終端条件や分岐等の配線条件が通信特性に与える影響を把握して、その対策方法を明らかにする。

(2) 3導体電力線のグラウンド線を有効に使用することにより、通信信号の漏洩量を抑制できる可能性はあるが、どの程度抑制できるか、どのような条件で効果的に抑制できるのかわかっていない。従って、電力線の終端条件や分岐等の配線条件が通信信号の漏洩特性に与える影響を把握して、効果的に漏洩を抑える方法を明らかにする。

3. 研究の方法

研究では、まず、3導体電力線の回路網モデルの検討、電子機器のモデル化の検討を行う。そして、これらのモデルを用いて通信信号の伝搬特性や漏洩強度の解析を行う。また、解析方法の評価のため、実際に配電系を構築して測定を行う。最後に、解析モデルを用いて、グラウンド線の影響や対策方法について検討を行う。各項目に関する主な研究方法は以下の通りである。

(1) 3導体電力線の回路網モデルを求めるに当たって、電力線の絶縁体の誘電率は重要なパラメータである。電力線の誘電率は周波数、材質により変化する。そのため、複数のサンプルを用いて評価を行う。誘電率の評価方法は、短い電力線サンプルの静電容量を測定し、サンプルの長さ依存性と有限要素法を用いた解析結果との比較から誘電率を決定する。

(2) 3導体電力線の単位長当たりの線路パラメータは、各導体について、単位長当たりのインピーダンス、アドミタンスを求め、この結果よりインピーダンスマトリックス、アドミタンスマトリックスを決定する。インピーダンスについては、絶縁体の影響を受けないので、銅線に対する解析値を用い、アドミタンスについては、断面形状と誘電率より有限要素法を用いて求める。

(3) 3導体電力線が接続される電子機器は6つのインピーダンスを用いてモデル化される。しかし、このインピーダンスは電子機器の高さが変化すると変わるので、高さ毎に評価する必要があり、モデルとしては有効でない。そこで、電子機器とグラウンド間は静電容量で模擬できると仮定してモデル化を実施する。具体的には電子機器のフレームグラウンドと電源端子間を3つのインピーダンスで表し、電子機器とグラウンド間の静電容量は数値解析により求めることで、任意の地上高に対する電子機器のモデルを決定する。なお、フレームグラウンドと電源端子間の3つのインピーダンスはSパラメータより求める。そして、この等価回路モデルで求めた電子機器の入力インピーダンスと測定した入力インピーダンスを比較することにより提案している等価回路モデルの妥当性を評価する。

(4) 通信信号の伝搬特性は、3導体電力線の回路網モデルと電子機器の回路網モデルを用いて配電系の解析モデルを構築して解析を行う。また、解析モデルの妥当性を評価するために、実際に配電系モデルを構築して伝送特性の比較を行い、解析モデルの妥当性を評価する。最後にこのモデルを用いて、グラウンド線の終端条件が伝送特性に与える影響を評価する。また、対策回路を各電子機器モデルに挿入して対策効果を評価する。

(5) 3導体電力線から漏洩する磁界強度を3導体電力線の回路網モデルを用いて解析する。次に、漏洩する磁界強度を測定し、解析結果と比較を行うことにより解析モデルの妥当性を評価する。最後に、この解析モデルを用いて、漏洩する信号成分に対するグラウンド線の終端条件依存性の検討や2導体電力線から漏洩する磁界強度との比較を行い、3導体電力線の信号成分の漏洩に対する効果について評価を行う。

4. 研究成果

前章で述べた研究方法毎に得られた研究成果を以下に述べる。

(1) 3導体電力線について、静電容量の測定値や抵抗の測定値より絶縁体の比誘電率と $\tan\delta$ を求めた。比誘電率については

3本の導体があると精度良く求めることができなかつたので2本の導体をケーブルから取り除き、ケーブルの外皮に銅テープを巻いて、銅テープと電力線の導体間の静電容量を測定し、有限要素法の解析結果と比較することにより求めた。

比誘電率の測定結果を図1に示す。評価には、屋内配電線として広く使用されているVVFケーブルとVCTケーブルを使用した。VVFケーブルは3本の導体を平行に配置しており、VCTケーブルは3本の導体を撚っている。図でVVF-1.6-1とVVF-1.6-2は導体径が1.6mmで構造は同じであるが製造メーカの異なるケーブルである。図に示すように、メーカにより比誘電率で1程度の差があることがわかる。

VVF-2は導体径が2mmのケーブルである。図に示すように比誘電率の傾きが大きくなっていることがわかる。EEF-1.6は導体径1.6mmであるが絶縁体の材料が難燃性のものである。図に示すように、難燃剤の効果により比誘電率が周波数によりほとんど変化していないことがわかる。

VCT-2.0は導体径が2mmの撚りケーブルで同じ導体径のVVF-2.0と値は異なるが周波数依存性は似ていることがわかる。VCT-1.5は導体径が1.5mmの撚りケーブルでVVF-1.6の近い周波数依存性を示している。図の破線はこれらのデータの平均値であり、ケーブルの種類により比誘電率は異なるが、平均値からの差は25%程度であることがわかる。

— VVF-1.6-1 — VVF-1.6-2 — VCT-2.0
— VVF-2.0 — EEF-1.6 — VCT-1.5

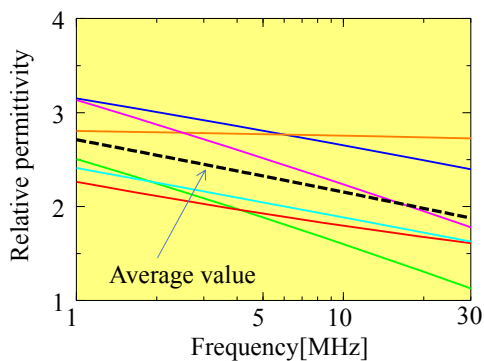


図1 配電ケーブル絶縁材の比誘電率測定結果

また、 $\tan\delta$ は電力線の2本の導体を撚り合わせてコンダクタンスと静電容量を測定し、この結果より求めた。検討の結果、EEF-1.6を除いて、 $\tan\delta$ も0.01~0.06の範囲に分布していることがわかった。なお、EEF-1.6は $\tan\delta$ が非常に小さく測定できなかった。

(2) 単位長当たりのコンダクタンスとキャパシタンスをグラウンド面からの高さを

変化させて有限要素法により求め、その傾向線を関数で近似した。その結果、これらの依存性を1次もしくは2次の関数で近似することにより、各パラメータの解析値に対して誤差を20%以内にするのが可能なことがわかった。さらに、この方法を5種類のケーブルに適用して依存性を評価した。その結果、これらは導体配置の影響を強く受け、導体径と絶縁材料の影響は小さいことがわかった。

これらの結果より、導体配置で分類をすれば、グラウンド面上に配置された電力線の回路網の近似モデルは簡易な計算で決定できることがわかった。

(3) 電子機器のモデル化法を明らかにするため、Sパラメータを用いて、電子機器の地上高を変化させて評価を行った。その結果、周波数によっては大きな変化が生じることがわかった。

つぎに、電子機器筐体とグラウンド間の静電容量を数値解析で求めることにより、モデル作成の簡易化を図った。検討の結果、10MHz以下では、電子機器のタイプや地上高により精度は変化するものの、静電容量を数値解析で求めることにより、グラウンドプレーン上にある電子機器のモデル化が可能ながわかった。

最後に、得られた電子機器の等価回路を使用してLCR素子を用いて電子機器の入力インピーダンスを模擬した回路を作成した。作成した回路は電子機器の入力インピーダンスを良く模擬しており、この回路モデルを用いて伝送特性や信号の漏洩レベルの評価が可能ながわかった。

(4) 3導体電力線と電子機器モデルを使用して、分岐のある、簡単な配電系モデルを作成して通信で信号の伝搬特性の評価を行った。検討では電力線と電子機器モデルを回路網モデルで表して伝搬特性を求めた。また、解析モデルの評価を行うため、金属グラウンド面上に配電系モデルを構築して伝搬特性の評価を行った。解析結果と測定結果を比較した結果、共振点を除いて、両者の偏差は4dB以内であり、解析モデルの妥当性を確認することができた。

次に、このモデルを用いて、グラウンド線の終端条件が伝搬特性に与える影響を検討した。検討結果を図2に示す。図は、グラウンド線の両端を50Ωで終端した時からの平均偏差を示しており、青い線が3導体電力線の端の線をグラウンド線として使用した場合、赤い線が電力線の真ん中の線をグラウンド線として使用した場合を示している。図より、グラウンド線の終端条件が伝送特性に与える影響は±2dB以内であること、電力線の真ん中の線をグラウンド線として使用した方が、影響が小さいことがわかる。

次に、伝送損失の周波数特性の改善方法を

検討した。検討では、電子機器モデルに抵抗とインダクタンスで構成されるデカップリング回路を挿入した。その結果、最小の伝送損失は大きくなったものの、回路を挿入する前には 25dB 程度あった伝送損失変動を 5dB まで小さくすることができた。

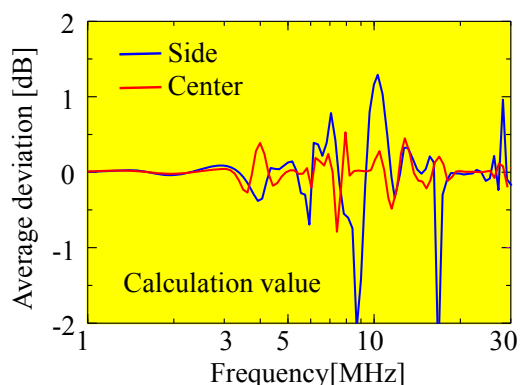


図2 伝送損失にグラウンド線の位置が与える影響

(5) 直線の3導体電力線で構成される配電線モデルを用いて電力線から漏洩する磁界強度の解析を行った。検討では、これまで検討を行った電力線の絶縁体の誘電率、 $\tan\delta$ 、高さ依存性の簡易計算式を使用して、グラウンド面上の3導体電力線を回路網で表してコモンモード電流を求め、この電流値より磁界強度を求めた。次に、解析モデルの妥当性を評価するため、漏洩磁界強度の測定を行った。検討の結果、解析値と測定値の偏差は共振点を除くと 5dB 以内となり、解析モデルは妥当であることがわかった。

次に、この解析モデルを用いて、10m 離れた位置での最大磁界強度を求めて、グラウンド線の影響を評価した。評価結果を図3に示す。図は入力電流振幅が 1A の時の電力線から 10m 離れた位置での磁界強度の最大値を示している。この位置で平面波になっていると仮定すれば、電界強度はこの値に 51.5 を加えた値である。また、電力線の長さは 5m である。

図で、①は電力線の端の線をグラウンド線として使用し、片側を $10k\Omega$ 、もう一方の端を 10Ω で終端した場合、②は電力線の端の線をグラウンド線として使用し、両側を 50Ω で終端した場合、③は電力線の真ん中の線をグラウンド線として使用し、片側を $10k\Omega$ 、もう一方の端を 10Ω で終端した場合、④は電力線の真ん中の線をグラウンド線として使用し、両側を 50Ω で終端した場合、⑤は比較のために2導体電力線の解析値を示している。

図に示すように、大部分の周波数範囲では、3導体電力線の方が、放射磁界強度が小さいとわかる。特に、両側を 50Ω で終端した場合は、全周波数帯域で放射磁界強度は小さくなっている。しかしながら、1~30MHz の周波数範囲で考えた場合、放射磁界強度の最大値は 30MHz 付近で決まり、3導体電力線の端の

線をグラウンド線として使用し両端を 50Ω で終端した場合を除いては2導体の電力線より放射磁界強度の最大値は大きくなっている。このことは、3導体の電力線を使用することにより、信号の漏洩成分を概ね小さくすることができるが、漏洩磁界強度抑制効果を明らかにするためにはさらなる研究が必要なことを示している。

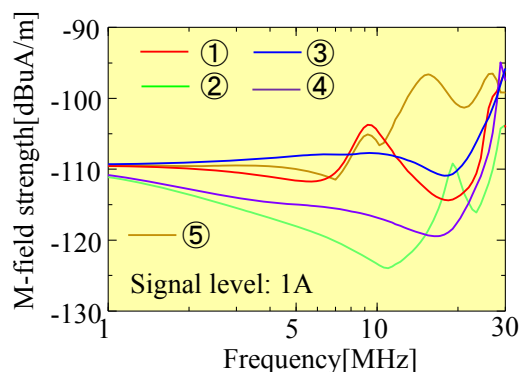


図3 2導体電力線と3導体電力線から漏洩する信号レベルの比較。

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0件)

[学会発表] (計2件)

①中村祐太, 桑原伸夫, 種々の3導体電力ケーブルに流れるコモンモード電流の簡易計算法, 2015年電子情報通信学会総合大会, 査読無し, B-4-49, 2015/03/13, 立命館大学

②桑原伸夫, 内田敏哉, グラウンド面上にある3導体 VVF ケーブルの回路網モデルに関する基礎検討, 電子情報通信学会環境電磁工学研究会, 査読無し, EMCJ2013-46, pp. 37-42, 2013/07/12, 機械振興会館

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

○取得状況 (計0件)

[その他]

ホームページ等: なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

桑原 伸夫 (KUWABARA, Nobuo)

九州工業大学大学院工学研究院教授

研究者番号: 50336088