法政大学学術機関リポジトリ

HOSEI UNIVERSITY REPOSITORY

PDF issue: 2024-12-21

銅箔と樹脂の多層構造体における 磁気シー ルドに関する研究

秋山, 竜太 / Akiyama, Tatsuhiro

(出版者 / Publisher) 法政大学大学院理工学・工学研究科

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

法政大学大学院紀要.理工学・工学研究科編 / 法政大学大学院紀要.理工学・工 学研究科編

(巻 / Volume)
58
(開始ページ / Start Page)
1
(終了ページ / End Page)
3
(発行年 / Year)
2017-03-31
(URL)
https://doi.org/10.15002/00014204

銅箔と樹脂の多層構造体における 磁気シールドに関する研究

MAGNETIC SHIELD WITH MULTILAYER OF CU FILM AND RESIN

秋山竜大 Tatsuhiro AKIYAMA 指導教員 品川満

法政大学大学院理工学研究科応用情報工学専攻修士課程

This paper describes the shielding effectiveness (*SE*) of a multilayer of Cu film and polyethylene terephthalate (PET) from magnetic interference. *SE* was evaluated from the S parameter through electromagnetic field simulations. The *SE* of a multilayer with three Cu films and two PET films, Cu/PET/Cu/PET/Cu, was nearly equal to that of five Cu films, Cu/Cu/Cu/Cu.

Key Words : Shielding effectiveness, S parameter, electromagnetic filed simulation

1. 序論

近年, IoT(Internet of Things[1])の進展で,これまでにな い革新的なサービスが提供され,生活がより便利に,よ り環境に優しい未来が近づいている.そして,モノ同士 が繋がることでセンサなどからビックデータが生み出さ れ,そのビックデータは人工知能に活用され IoT 機器が 自動化されるなど,より活躍のフィールドが拡大してい る.

ー方,カーエレクトロニクス化による自動車の電子 化・高精細化により,図1に示すような磁気ノイズによ る影響は避けられない問題となっている[2].自動車内に 搭載されているインバータやモータ間を繋ぐワイヤーハ ーネスには,高電圧・大電流が流れる.その時に発生す る磁気ノイズ(10 kHz ~ 100 MHz)は ECU(Engine Control Unit)などの周辺機器に対して影響を及ぼす可能性があ るため,磁気ノイズを抑えるような磁気シールド材の研 究開発が各方面において急速に進められている.



図1 電気自動車の磁気ノイズ問題

現在,シールド材として一般的に銅箔(Cu)が多く使用 されているが,高価・重い・硬いなどの欠点がある.そ こで,我々は加工がしやすく比較的安価な樹脂である Polyethylene terephthalate(PET)に着目し,CuとPETの多 層構造体を用いることで,安価・軽い・柔軟な車載電装 部品用のシールド材開発のための研究を進めている.本 研究は3Dフルウェーブ電磁界解析による評価を行い, CuとPETの多層構造体の優位性を示すこと,そして, 薄型化かつシールド性能の高いシールド材開発のための 指針を示すことを目的としている.また,シールド材の 目的とする周波数は,ワイヤーハーネスからの磁気ノイ ズを想定し10kHz~100MHz,シールド材の厚さは,コ ストや軽さ,柔軟性を考慮し100 µm 以下,シールド効 果(SE: Shielding Effectiveness[3])は40 dB(シールド率 99%)以上とする.

2. シールド効果

図2にSE原理を示した.電磁波の伝搬経路中に媒質の異なる境界面が存在するとき,電磁波の一部がその境界で反射され,侵入する電磁波のエネルギーが減少する. この減少量を反射損という.

シールド材内では伝搬する経路中で誘導電流が流れ温 度が上昇し、電磁波のエネルギーが減少する.この減少 量を減衰損という.

また、シールド材内において両境界面での反射の繰り 返しを多重反射といい、多重反射を考慮すると、シール ド材を突き抜ける量は多くなり SE は弱まる.



図 2 SE 原理

3. シールド効果測定系

(1) 実機構成

現在 SE の測定法として広く用いられている方法の一 つである KEC 法[4]を使用した.KEC 冶具(図 3)は2つの 金属筐体と2つのループアンテナで構成され,各ループ アンテナはスリットを有している.電磁波の送受信の流 れを簡潔に説明すると,Port 1 に接続された信号源から 送信ループアンテナへ電流を流すと,電磁誘導により電 磁波がスリットから放射され,その電磁波がシールド材 を介して受信ループアンテナによって受信される仕組み となっている.また、シールド材有無の伝送特性の差か ら SE を測定する.



SE 測定時は図4の(a)のように2つの金属筐体をボルト 締めして密着させる. KEC 冶具の特徴は図4の(b)から分 かるように,90度角の金属板と組み合わせループアンテ ナの1/4の部分を外部に出すことで,ループアンテナの 指向性を良くしている.

実測では、ネットワークアナライザの感度限界のため 雑音が発生してしまい、*SE*を測定することができなかっ た.そのため、3Dフルウェーブ電磁界解析を用いて *SE* を測定することにした.





(a)外観(b)内部ループアンテナ図4 KEC 治具の外観と内部ループアンテナ

(2) 電磁界シミュレーションモデル

図 5 は KEC 治具を電磁界シミュレータにてモデリング した一部である.信号源の内部インピーダンスは 50 Ωと し,AC 電圧は 1 V とした.金属筐体の物性はステンレ スで 100 × 80 × 80 mm の寸法とした.ループアンテナに は同軸ケーブルを使用し,直線部と直径 50 mm のループ 部,2 mm のスリットにより形成した.また,同軸ケーブ ルの特性インピーダンスを 50 Ω,終端に 50 Ω抵抗を接 続しインピーダンス整合させた.



図5 KEC 冶具のシミュレーションモデル

シミュレーション解析手法には FDTD[5]によるインパ ルス波解析を用いた.インパルス波解析では、パルス幅 2 ns のインパルス波を印加後, Port 1 と Port 2 で得られた 時間波形をフーリエ変換することで広帯域の周波数特性 を得た.

4. シミュレーション結果

まず, Cu/PET/Cu/PET/Cu に対し, PET 厚さ依存性をシ ミュレーションした. ここで, Cu 厚さは 17 μm で一定と し, PET 厚さを 0, 17, 100, 200 μm と変化させた.

図 6 は Cu/PET/Cu/PET/Cu の PET 厚さ依存性グラフで ある. 横軸は周波数, 縦軸は SE を表している. また、 青色の実線は 0 µm, 赤色の実線は 17 µm, 緑色の実線は 100 µm, 紫色の実線は 200 µm を示している. 図 6 のグ ラフから, PET を厚くするほど SE が増加する傾向にあ ることを確認できた.



図 6 Cu/PET/Cu/PET/Cuの PET 厚さ依存性

図7は図6のグラフ結果において、周波数f = 10 kHz における PET 厚さと SE の関係を示した両対数グラフで ある. 横軸は PET 厚さ(2枚を合わせた厚さ)、縦軸は SE を表している. 図7の累乗近似した実線により、目的と する40 dB 以上の SE を得るためには1枚の PET 厚さは 最低12 µm あればよいと予測できる.また、このときの 全体厚さは75 µm となり、目的とする厚さ100 µm 以下 も満たしている.



図7 PET 厚さと SE の関係(10 kHz)

次 に , Cu/Cu/Cu/Cu , Cu/PET/Cu/PET/Cu , Cu/PET/PET/PET/Cu の 5 層構造体によるシミュレーショ ンをした. ここで, Cu 厚さを 17 μm, PET 厚さを 17 μm とし,全体の厚さを 85 μm で一定とした.

図 8 は 5 層構造体における層変更時の SE 比較をした グラフである. 横軸は周波数, 縦軸は SE を表している. また、青色の実線は Cu/Cu/Cu/Cu, 赤色の実線は Cu/PET/Cu/PET/Cu, 緑色の実線は Cu/PET/PET/PET/Cu を 示している.図 8 のグラフから, Cu/Cu/Cu/Cu/Cu と Cu/PET/Cu/PET/Cu の SE は, 10 kHz ~ 1 GHz においてほ とんど変わらないが, Cu/PET/PET/PET/Cu の SE は, 10 kHz ~ 10 MHz において約 5 dB 劣化してしまった. この 結果は, 5 層構造体において Cu/PET/Cu/PET/Cu が優位で あることを示している.



図8 5層構造体における層変更時の SE 比較

5. 結論

本研究では、3D フルウェーブ電磁界解析による評価を 行うことで、Cu と PET の多層構造体は厚さを 75 μ m ま で薄型化かつ 10 kHz ~ 100 MHz において 40 dB 以上の SE を有する見通しがついた.よって、この Cu と PET の多 層構造体は車載電装部品用のシールド材としての適用可 能性を秘めている.

今後,本研究のシールド材実用化に向けるためには実 測によるデータは必要不可欠になると考えられる.その ため,受信側にプリアンプを設けダイナミックレンジの 向上を図ることで実測値を出し,今回得られたシミュレ ーション値との整合性を確認したい.

参考文献

- J. Gubbi, R. Buyya, S. Marusic, and M. Palaniswami, "Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions," Future generation computer systems, Vol. 29, No. 7, pp.1645–1660, 2013.
- 2) N. Mutoh and M. Kanesaki, "A suitable method for ecovehicles to control surge voltage occurring at motor terminals connected to PWM inverters and to control induced EMI noise," IEEE transactions on vehicular technology, Vol. 57, No. 4, pp. 2089–2098, 2008.
- 3) W. Yuan and E. P. Li, "A systematic coupled approach for electromagnetic susceptibility analysis of a shielded device with multilayer circuitry," IEEE transactions on electromagnetic compatibility, Vol. 47, No. 4, pp. 692–700, 2005.
- 4) E. Hariya and M. Umano, "Measuring instrument for testing the shielding effectiveness," IEICE technical report, Vol. 83, pp. 25–32, 1994.
- 5) K. Yee, "Numerical solution of initial boundary value problems involving Maxwell's equations in Isotropic media," IEEE Transactions on antenna and propagation, Vol. 14, No. 5, pp. 302–307, 1966.