

Einflüsse auf die Abschirmwirkung

Dieser Artikel untersucht den Einfluss von Leiterdicke, Luftspalt und räumlicher Anordnung auf die Abschirmwirkung eines Multilayer-Schirmdämpfungssystems für die Elektromagnetische Verträglichkeit. Elektromagnetische Störungen sind eines der größten Probleme, die den effizienten Betrieb elektrischer und/oder elektronischer Geräte behindern, zusätzlich zu den negativen Auswirkungen, die sie auf die Umwelt haben können. Bei richtiger Abschirmung können jedoch unerwünschte elektromagnetische Störungen erheblich reduziert werden, um eine bessere EM-Verträglichkeit zwischen Geräten und eine sicherere Umgebung zu erreichen. In diesem Artikel wird eine Multilayer-Analyse der elektromagnetischen Abschirmung unter Berücksichtigung verschiedener Szenarien vorgestellt. Die Analyse basiert auf einer Simulation mit der MATLAB-Software.

Elektromagnetische Interferenz (EMI) entsteht durch unerwünschte elektrische oder magnetische Kopplung zwischen Komponenten in einem Modul oder System [1, 2, 3]. Schnelle Schaltkreise, Kommunikationsgeräte und elektrische Geräte, die mit hohen Frequenzen arbeiten, sind die Hauptquellen für unerwünschte elektromagnetische Strahlung. Dies führt zu elektromagnetischen Störungen, die in der Kopplung mit anderen Komponenten resultieren und die Leistung von Stromkreisen in der Umgebung beeinträchtigen, die empfindlich auf EM-Signale (unerwünschte Signale) reagieren. Abgesehen davon können die Auswirkungen, wenn sie nicht ordnungsgemäß eingedämmt werden, weit über die Beeinträchtigung der Lebensdauer hinausgehen und zu unerwünschten Zerstörungen von

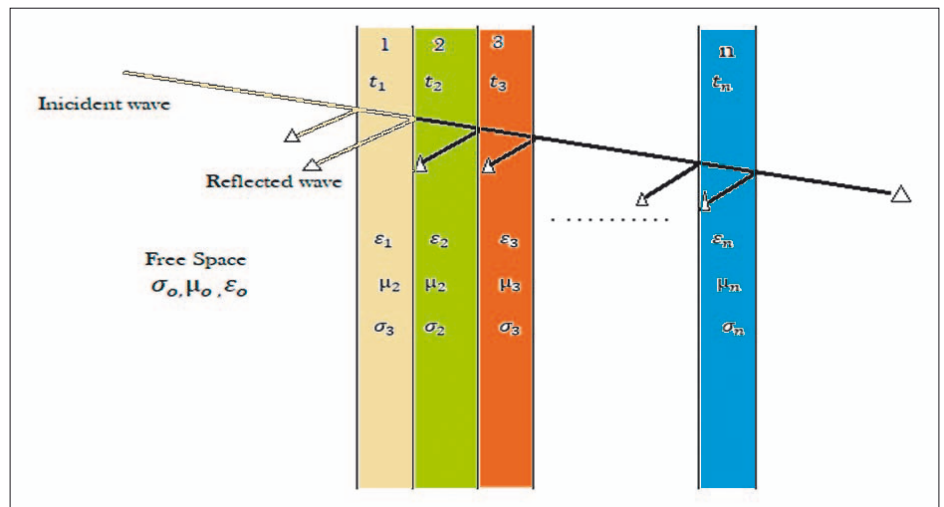


Bild 1: Multilayer EM Shield Model [2]

Geräten führen. Bisher wurden verschiedene Abschirmmethoden angewendet, die sich als wirksam erwiesen haben. Die Arten von Materialien, die normalerweise wissenschaftlich vorgeschlagen werden, um bei der EM-Abschirmung verwendet zu werden, sind solche mit einem guten magnetischen (hohe Permeabilität), elektrischen (Permittivität) und leitenden (Leitfähigkeit) Verhalten. Einige von ihnen könnten ein besseres Reflexionsverhalten haben, während andere ein gutes EM-Absorptionsverhalten aufweisen könnten. In der Literatur werden verschiedene Arten von Abschirmungen einschließlich einschichtiger, mehrschichtiger Leiter und dotierter Polymere mit leitendem Verhalten erwähnt, um die Leistung des Abschirmungsverhaltens von Materialien zu optimieren [2].

Es hat sich gezeigt, dass ein mehrschichtiger Abschirmungstyp eine bessere Abschirmung bieten kann, indem der Vorteil seiner unterschiedlichen Merkmale für den Gesamtbeitrag des Designs genutzt wird.

Eine der Herausforderungen beim Entwurf einer mehrschichtigen EM-Abschirmung besteht darin, die optimale Dicke der verwendeten Schichten, ihre räumliche Anordnung und ihr intrinsisches chemisches Verhalten zu bestimmen. Denn eine perfekte oder optimale Kombination dieser Faktoren führt zu einer sehr hohen Abschirmwirkung oder zu einer sehr geringen EMI und damit zu einer besseren elektromagnetischen Verträglichkeit.

Es ist allgemein bekannt, dass beim Entwerfen von Metallgehäusen für EM-Abschirmzwecke die Resonanzfrequenz die Abschirmleistung negativ beeinflusst, da sie die Abschirmwirksamkeit verringert. In diesem Artikel wurde daher in verschiedenen Fällen geprüft, ob es möglich ist, dieses Problem zu verringern und eine optimale Abschirmwirksamkeit zu erzielen. Ferritabsorber, Reflektor (leitfähiges Polymer) und Leiter (Stahl) werden als Multilayer berücksichtigt. Nahfeldanwendungen wurden nicht in Betracht gezogen. Es wurden verschiedene Szenarien betrachtet, die sich hauptsächlich auf die Geometrie und räumliche Anordnung der Schichten konzentrieren.

Theoretische Grundlagen

Der Abschirmeffekt ist die Summe von drei Parametern und kann wie folgt dargestellt werden:

$$S = A + R + B \quad (1)$$

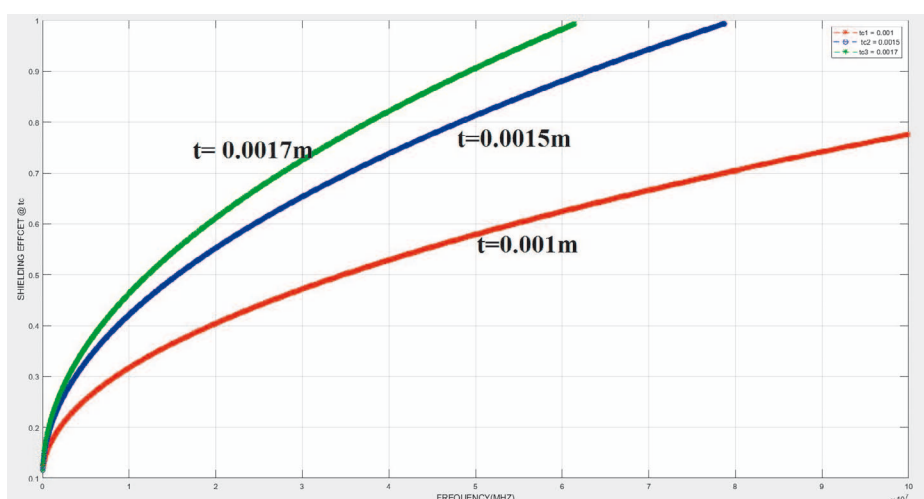


Bild 2: Abschirmwirkung des dreischichtigen Aufbaus bei unterschiedlichen Dickenwerten

S ... Shielding Effect,
 A ... Absorption,
 R ... Reflection,
 B ... Correction Factor
 (Multiple Reflection) [2]

In der Regel spielen der Absorptionsverlust und der Reflexionsverlust die Hauptrolle. Daher werden nur die Transmissions-eigenschaften und das Reflexionsverhalten berücksichtigt [10]. Da das Ziel dieser Untersuchung

darin besteht, einen mehrschichtigen Abschirmungstyp zu testen, kann das Modell nach Bild 1 verwendet werden, um die allgemeine geometrische Anordnung der Schichten zu beschreiben, die man zum Aufbau einer mehrschichtigen EM-Abschirmung verwendet. Wie oben gezeigt, kann eine EM-Abschirmung mit mehreren Schichten aufgebaut werden, wobei jede Schicht aus unterschiedlichen Materialtypen

mit unterschiedlichen Eigenschaften besteht. Dies verbessert die Abschirmwirksamkeit. Die Parameter ϵ , μ und κ repräsentieren die Permittivität, Permeabilität und Leitfähigkeit jedes beteiligten Mediums. Es ist zu beachten, dass die verwendeten Medien als kontinuierlich und isotrop angenommen werden, um die Analyse zu erleichtern. Die Abschirmwirkung eines

mehrschichtigen Schildes wird wie folgt ausgedrückt:

$$S = -20 \log(T) \text{ dB} \quad (2)$$

T ist der Gesamttransmissionskoeffizient von n-Grenzflächen für die n einander überlagerten Schichten (Laminat). Daher könnte die folgende allgemeine Gleichung verwendet werden, um den Transmissionskoeffizienten zu berechnen [1, 2, 6]:

$$T = P[(1 - qe^{-2\gamma_1 t_1})(1 - qe^{-2\gamma_2 t_2})(1 - qe^{-2\gamma_3 t_3}) \dots (1 - qe^{-2\gamma_n t_n})] e^{(-\gamma_1 t_1 - \gamma_2 t_2 - \gamma_3 t_3 \dots - \gamma_n t_n)} \quad (3)$$

t ist die Dicke der Schicht und für P folgt

$$P = \frac{(2\eta_0)(2\eta_1)(2\eta_2)(2\eta_3) \dots (2\eta_n)}{(\eta_0 - \eta_1)(\eta_1 - \eta_2)(\eta_2 - \eta_3) \dots (\eta_{n-1} - \eta_n)} \quad (4)$$

wobei η_0 die innere Impedanz des freien Raums 120π Ohm ist und $\eta_1, \eta_2, \eta_3 \dots \eta_n$ die inneren Impedanzen der Schichten 1, 2, 3 bzw. n sind. Bei dieser Analyse werden Absorber, leitfähiges Polymer und Leiter berücksichtigt. Ihre Eigenimpedanzen werden wie folgt berechnet [1, 2, 5]:

$$\eta_A = \sqrt{\frac{-(2\pi f \mu)^2}{\gamma_A^2}} \quad (\text{Intrinsic Impedance of Absorber}) \quad (5)$$

$$\eta_p = (1 + j) \sqrt{\frac{\pi f \mu_p}{\sigma_p}} \quad (\text{Intrinsic Impedance of Conductive Polymer}) \quad (6)$$

$$\eta_c = (1 + j) \sqrt{\frac{\pi f \mu_c}{\sigma_c}} \quad (\text{Intrinsic Impedance of Conductor}) \quad (7)$$

Jede Schicht hat ihre eigene Ausbreitungskonstante γ , wie nachstehend definiert:

$$\gamma = (1 + j) \sqrt{\pi f \mu \sigma} \quad (8)$$

f ... Frequenz, μ ... Permeabilität des Mediums, σ ... Leitfähigkeit des Mediums

Schließlich steht q für den Reflexionskoeffizienten an der Grenzfläche der Schichten:

$$q = \frac{(\eta_n - \eta_{n-1})(\eta_n - Z(n+1))}{(\eta_n + \eta_{n-1})(\eta_n + Z(n+1))} \quad (9)$$

Z(n) ist die Impedanz rechts von der n-ten Schnittstelle:

$$Z(n) = \eta_n \left[\frac{Z(n+1) \cosh(\gamma_n t_n) + \eta_n \sinh(\gamma_n t_n)}{\eta_n \cosh(\gamma_n t_n) + Z(n+1) \sinh(\gamma_n t_n)} \right] \quad (10)$$

Wie oben erwähnt, wurden drei Schichten, Absorber und leitfähiges Polymer, abgesehen von Luft oder freiem Raum simuliert. Die Materialtypparameter für jede Schicht dielektrizitätskonstante, Permeabilität und Leitfähigkeit nennt Tabelle 1.

Material	Permittivity	Permeability	Conductivity
Air (Free space)	$\epsilon_0 = 8.854 * 10^{-12} \text{ F/m}$	$\mu_0 = 4\pi * 10^{-7} \text{ H/m}$	$\sigma_0 = 0$
Absorber (Ferrite)	$\epsilon_r = 1.4 + 1.8j$ $\epsilon_a = (1.24^{-11} + 1.59^{-11}j) \text{ F/m}$	$\mu_r = 22 + 19j$ $\mu_a = (2.76 + 2.388j) \text{ H/m}$	$\sigma_a = 10^{-5} \text{ 1/}\Omega\text{m}$
Conductive polymer	$\epsilon_r = 1.4 + 1.8j$ $\epsilon_p = (1.24^{-11} + 1.59^{-11}j) \text{ F/m}$	$\mu_r = 1400 + 1500j$ $\mu_p = (0.0018 + 0.0019j) \text{ H/m}$	$\sigma_p = 10^{-15} \text{ 1/}\Omega\text{m}$
Conductor (Carbon Steel)	$\epsilon_r = 1$ $\epsilon_c = 8.854 * 10^{-12} \text{ F/m}$	$\mu_r = 100$ $\mu_c = 1.2566 * 10^{-4} \text{ H/m}$	$\sigma_c = 6.21 * 10^6 \text{ 1/}\Omega\text{m}$

Tabelle 1: Materialparameter

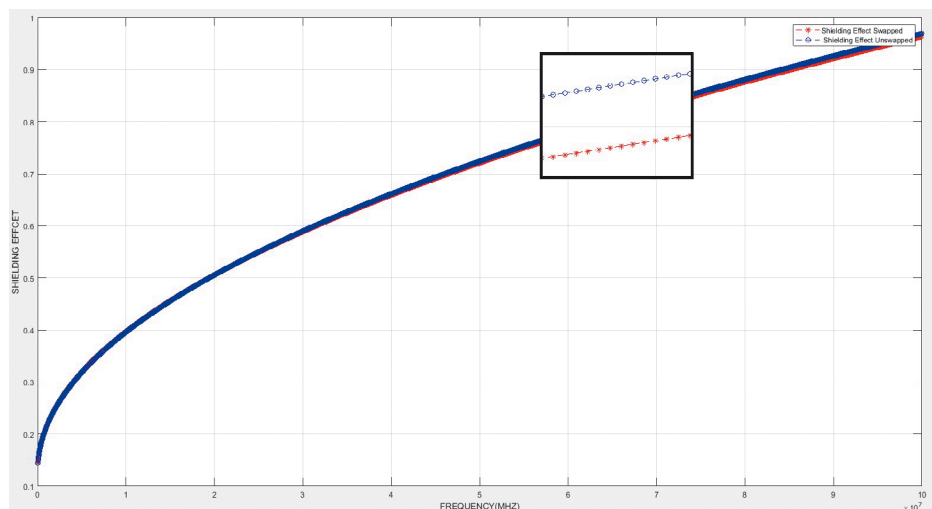


Bild 3: Abschirmwirkung eines dreischichtigen Aufbaus bei unterschiedlichen Dicken (blau: Absorber/Conductive Polymer/Conductor, rot: Conductive Polymer/Absorber/Conductor)

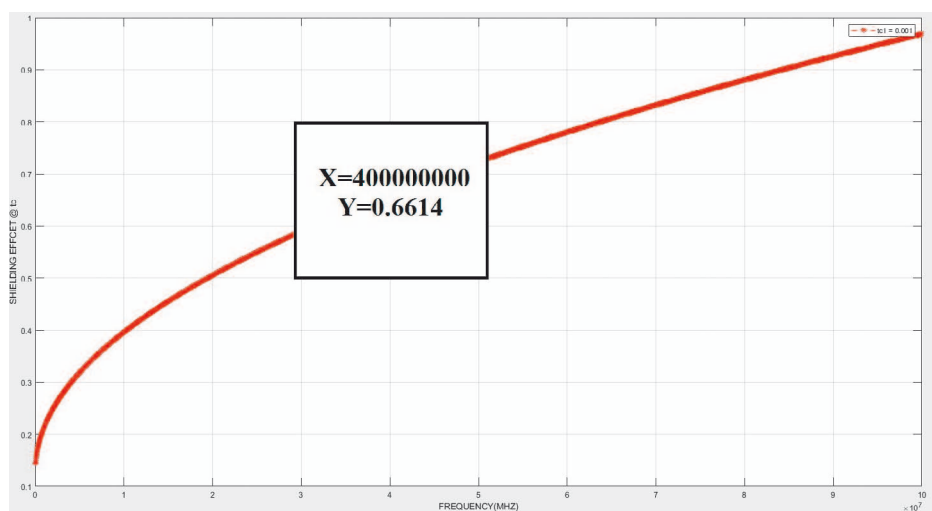


Bild 4: Abschirmwirkung des dreischichtigen EM-Abschirmungs-Designs

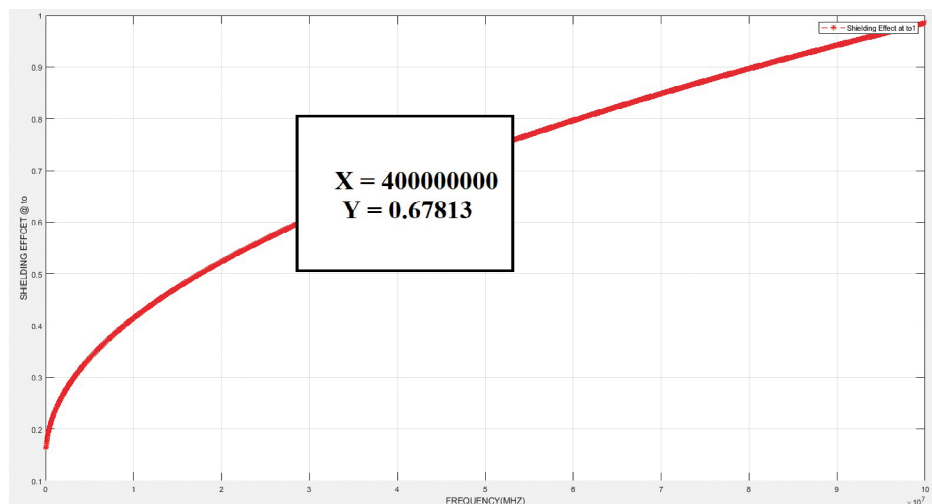


Bild 5: Abschirmwirkung des vierlagigen EM-Abschirmungs-Designs (zwischen dem Leiter und den beiden anderen Lagen wird ein Luftspalt eingeführt)

In dieser Arbeit werden dreischichtige und vierschichtige EM-Abschirmungen betrachtet. Die Simulation erfolgt in verschiedenen Szenarien wie folgt:

- Einfluss der Leiterschichtdicke auf den Abschirmeffekt des gesamten dreischichtigen EM-Abschirmungsdesigns
- Einfluss der räumlichen Anordnung der verschiedenen Schichten auf den Abschirmeffekt (hauptsächlich Absorber und leitfähiges Polymer)
- Effekt des Hinzufügens eines Luftspalts zwischen dem Leiter und den anderen beiden Schichten (In diesem Artikel wird der Luftspalt selbst als Schicht behandelt, mit anderen Worten, es wird von einem 4-schichtigen EM-Abschirmungsdesign ausgegangen)
- Einfluss der Luftspaltdicke bei konstanten Frequenzwerten
- Einfluss der räumlichen Anordnung der Schichten auf die Abschirmwirkung (hauptsächlich Absorber und leitfähiges Polymer)

Ergebnisse und Diskussion

Wie in Bild 2 gezeigt, wurden drei Dicken bei $t = 0,001, 0,0015$ und $0,0017$ m berücksichtigt. Es zeigt sich, dass der Abschirmeffekt mit zunehmender Dicke des Leiters zunimmt. Bild 3 zeigt den Effekt der räumlichen Anordnung der Schichten, die in einer dreischichtigen EM-Abschirmung verwendet werden. Die erste Anordnung ist Absorber/Conductive Polymer/Conductor (blau), die zweite (rot) Conductive Polymer/Absorber/Conductor (es wird angenommen, dass sich die Welle von links nach rechts ausbreitet). Der Effekt ist fast derselbe, aber wenn das Ergebnis vergrößert wird, stellt sich heraus, dass der erste Fall besser funktioniert.

Die Bilder 4 und 5 betreffen die Abschirmwirkung des dreischichtigen und des vierlagigen EM-Abschirmungs-Designs. Im Vergleich ist die Wirkung mit Luftspalt besser als ohne. Um dies weiter zu belegen, wurde die Abschirmwirksamkeit bei 400 MHz grafisch dargestellt und so gezeigt, dass die Abschirmwirkung bei Luftspalt etwa 0,6614 und ohne Luftspalt etwa 0,67813 beträgt. Bild 6 zeigt den Effekt der Luftspaltdicke bei konstanter Frequenz, wenn ein Luftspalt eingeführt wird. Es ist deutlich zu erkennen, dass bei einer Variation der Luftspaltdicke der Abschirmeffekt nahezu gleich bleibt (der Effekt ist sehr gering). Andererseits kann der Effekt der Frequenz deutlich gezeigt werden, jede Linie stellt eine konstante Frequenz dar und dies zeigt, dass die EM-Abschirmung bei Erhöhung der Frequenz eine bessere Leistung erzielt, wenn der Luftspalt-Dickenbereich konstant gehalten wird. In diesem Fall wird der Effekt

der geometrischen Anordnung des Absorbers und des leitfähigen Polymers analysiert. Obwohl es einen sehr kleinen Unterschied gibt, zeigt das vergrößerte Diagramm, dass die Anordnung von leitfähigem Polymer/Absorber/Leiter (rote Linie) im unteren Teil des angegebenen Frequenzbereichs besser abschneidet, während die Anordnung von Absorber/leitfähiges Polymer/Leiter (blaue Linie) im höheren Frequenzbereich optimaler ist.

Zusammenfassung und Ausblick

Es wurden verschiedene Fälle erörtert. Daraus kann geschlossen werden:

1. Eine Erhöhung der Schichtdicke verbessert den Abschirmeffekt. Die Auswahl der Dicke muss jedoch sorgfältig erfolgen, da ein bestimmter Frequenzbereich einen definierten Dickenbereich für eine optimale Abschirmwirksamkeit zulassen kann.
2. Die räumliche Anordnung der Schichten in einer mehrschichtigen EM-Abschirmung hat nur einen geringen Einfluss auf die Abschirmwirksamkeit. Es ist jedoch ratsam, eine Abschirmung mit Absorber/leitendem Polymer/Leiter-Modus zu entwerfen (vorausgesetzt, die einfallende EM-Welle berührt zuerst den Absorber).
3. Mehrschichtige Abschirmung mit Luftspalt bietet eine bessere Leistung als ohne. Ihr Leistungsverhalten ist jedoch hochfrequenter als die Dicke des Luftspalts.

In Zukunft ist es möglich, einen robusten Algorithmus für die grafische Benutzeroberfläche zu erstellen, mit dem komplexe Abschirmeffekte berechnet werden können. Dies könnte die Berechnung und Simulation vereinfachen, die in der Vorentwurfsphase durchgeführt wird, indem alle intrinsischen Parameterwerte der Materialien genutzt werden, die für den Entwurf der elektromagnetischen Abschirmung verwendet werden.

Literatur

- [1] C. D. Raj, G. S. Rao, P. V. Y. Jayasree, B. Srinu, and P. Lakshman: "Estimation of reflectivity and shielding effectiveness of three layered laminate electromagnetic shield at X-Band", Progress In Electromagnetic Research B, Vol. 20, 205-223, 2010
- [2] P. V. Y. Jayasree, V. S. S. N. Srinivasa Baba, B. Prabhakara Rao, P. Lakshman: "Analysis of shielding effectiveness of single, double and laminated shields for oblique incidence of EM waves", Progress In Electromagnetics Research B, Vol. 22, 187-202, 2010

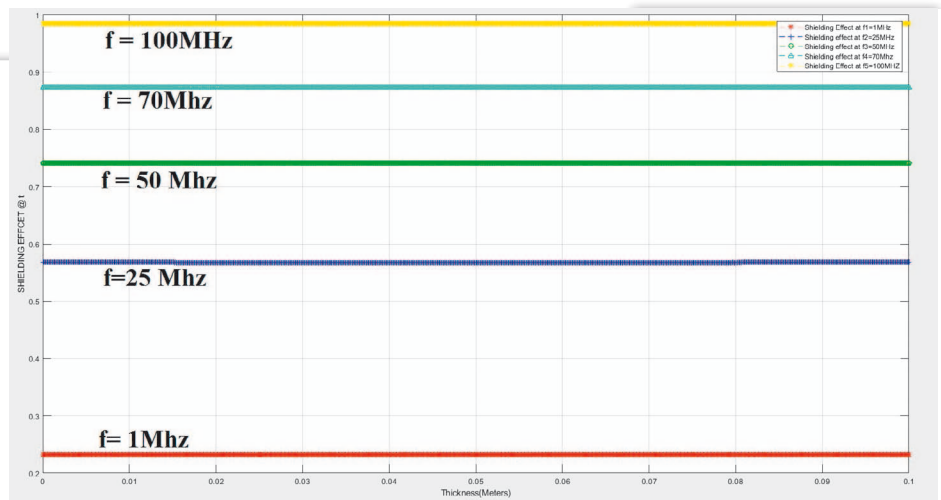


Bild 6: Abschirmwirkung vs. Dicke des Luftspalts (Frequenz konstant) der vierlagigen EM-Abschirmung

- [3] Kodali, V. P., "Engineering Electromagnetic Compatibility, Principles, Measurements and Technologies", S. Chand and Company Ltd, 2000
- [4] Schulz, R. B., et al.: "Shielding theory and practice", IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, Vol. 30, No. 3, 187-201, Aug. 1988
- [5] Jayasree, P. V. Y., et al.: "Shielding effectiveness of laminated shields", Radio Engineering, Vol. 17, No. 4, Dec. 2008
- [6] M. R. Meshram, N. K. Agrawal, B. Sinha, and P. S. Misra: "Transmission line modeling (TLM) for evaluation of absorption in ferrite based multi layer microwave absorber", Tencon 2003, Conference on Convergent Technologies for the Asia-Pacific Region, 626-629, 2003
- [7] Feng, Y., et al.: "Microwave absorption properties of the carbonyl iron/EPDM radar absorbing materials", Journal of Wuhan University of Technology Mater. Sci. Ed., Vol. 2, 266-270, Jun. 2007
- [8] Praveen, S., et al.: "Microwave absorption studies of CaNiTi Hex ferrite composites in X-band", Materials Science and Engineering, Vol. B78, 70-74, 2000

- [9] H.-S. Cho, and S.-S. Kim: "M-Hexa ferrites with planar magnetic anisotropy and their application to high-frequency microwave absorbers", IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 35, No. 5, 3151-3153, Sep. 1999
- [10] Atom O. Watanabe, P. Markondeya Raj, Wong, R. Mullapadi, and R. Tummala: "Multilayered Electromagnetic Interference shielding structures for suppressing Magnetic Field Coupling", Journal of Electronic Materials 2018

Autoren

Aron Tesfalem Berhe

M.Sc. Student at Karadeniz Technical University, Graduated from Eritrea Institute of Technology in 2015 (B.Sc.) in the field of Electrical and Electronics Engineering, aronesfalem11@gmail.com

Frank Gräbner

Ass. Prof. (BG) Dr., IMG Electronic and Power Systems GmbH/University of Rousse, Bulgaria, frank.graebner@img-nordhausen.de

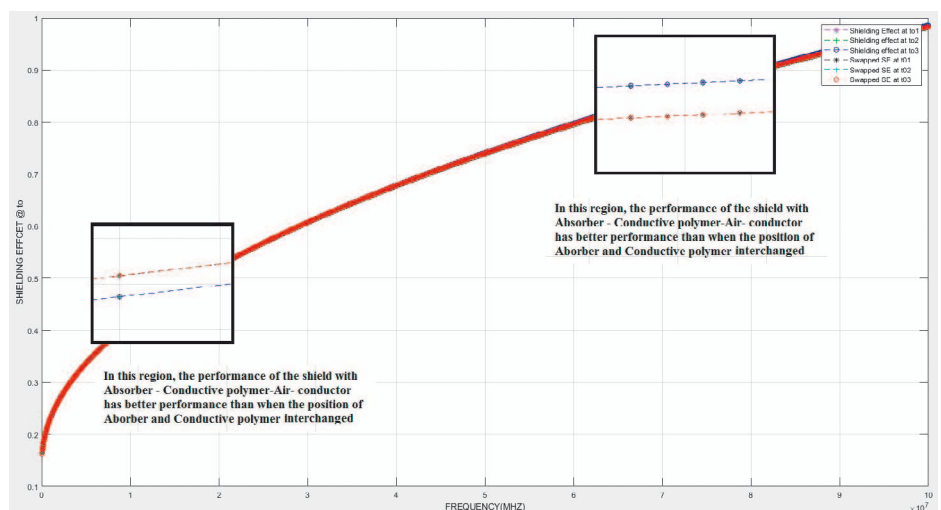


Bild 7: Wirkung der räumlichen Schirmanordnung der vierschichtigen Ausführung (blau: Absorber/Conductive Polymer/Conductor, rot: Conductive Polymer/Absorber/Conductor)