

MİKRODALGA SOĞURUCU TASARIMI

ÖZET

Elektromanyetik girişim (Electromagnetic Interference, EMI), elektromanyetik uyumluluk (Electromagnetic Compatibility, EMC), anten yayılım paterni (Antenna Radiation Pattern, ARP), radar kesit alanı (Radar Cross Section, RCS) gibi ölçümlerin doğru ve güvenilir olarak yapılabilmesi için ölçülecek ekipman civarında, ölçümlerin doğruluğunu etkileyebilecek herhangi bir bozucu elektromanyetik (Electromagnetic, EM) dalga kaynağı veya kaynaktan gelen dalgaları yansıtan bir nesne bulunmamalıdır. Genellikle elektronik cihazlardan yayılan istenmeyen veya kaçak elektromanyetik sinyal radyasyonu, yayılan radyasyon güçlü olduğunda canlılar için de ciddi tehlike oluşturabilir ve yakınlarda bulunan diğer elektronik cihazlarda arızalara sebep olabilir. İşte bütün bu nedenlerden dolayı istenmeyen veya kaçak EM sinyal yayılımının tespiti çok önemlidir.

Doğru ve güvenilir ölçüm sonuçları elde etmek, ölçümlerin bozucu EM dalga kaynağı veya yansımaya sebep olabilecek nesnelerin bulunmadığı açık bir alanda yapılması ile mümkündür. Ancak günümüzde bütün frekans bandlarının yoğun olarak kullanılması nedeniyle ölçüm yapılacak noktada çok fazla bozucu EM dalga kaynağının bulunması, yansımaya sebep olabilecek nesnelerin bulunmadığı böylesi bir açık alan bulmanın zorluğu, açık alandaki ölçümün doğruluğunu etkileyebilecek sıcaklık, nem vb. gibi çevresel etmenlerin çok değişken olması gibi nedenlerden dolayı ölçümlerin açık alanda yapılması pek mümkün değildir. Ölçümler, yansıyan veya saçılan dalgaların sebep olduğu hatalı ölçüm sonuçlarını önlemek, doğru ve güvenilir sonuçlar elde etmek için duvarları, tavan ve tabanı EM soğurucularla kaplanmış, kapalı bir alanda çalışmasına olanak sağlayan, yansımaz oda olarak adlandırılan kapalı ortamlarda yapılır. Yansımaz odalar, serbest uzay şartlarını kapalı bir ortamda elde etmek için oluşturulmuş yapılardır.

EM soğurucular ölçümler sırasında üzerlerine gelen EM dalgaların yansımalarını engellemek, istenmeyen veya rastgele yayılan EM radyasyonu önlemek için kullanılırlar. Soğurucular, EMC, EMI, ARP ve RCS ölçümlerinin kapalı bir ortamda doğru ve güvenilir olarak gerçekleştirilmesi için vazgeçilmez unsurlardır. Birçok elektronik sistem soğurucular yardımıyla geliştirilmiştir.

EM soğurucuların soğurma performansı yapılan ölçümlerin doğruluğunu etkileyen en önemli faktörlerdendir. Soğurucular yapılarında kullanılan malzemelerin kimyasal, fiziksel, elektriksel özelliklerine veya geometrilerine bağlı olarak düşük yansımaya sahip yapılardır. Soğurucu malzemenin elektriksel özellikleri diğer faktörler yanında soğurma performansı üzerinde oldukça etkilidir. Mikrodalga soğurucular EM dalgaları, sahip oldukları dielektrik veya manyetik kayıplar sayesinde soğururlar. Soğurulan EM dalga zayıflar ve sahip olduğu enerji ısı enerjisine dönüşür. Soğurucunun soğurma kapasitesi, soğurucu malzemenin dielektrik ve manyetik geçirgenlik özelliklerine bağlıdır. Soğurucuda kullanılan malzemenin bağlı dielektrik sabiti elektriksel faktörlerin en önemlilerinden biridir. Bağlı dielektrik sabiti, malzeme içinde depolanan elektrostatik enerjinin bir ölçüsüdür ve EM dalgaının malzeme içindeki yayılım hızını etkiler.

Soğurucular çalışma şekline göre genel olarak rezonans (resonating) ve kademeli (graded) soğurucular olmak üzere iki ana kategoriye ayrılırlar. Yansımaz odalarda EMC / EMI ölçümlerinde çoğunlukla, en çok bilinen, geniş bantlı kademeli

soğuruculardan olan kama veya piramit tipi EM soğurucular kullanılır. Gelen EM dalgaların büyük bir kısmını soğurması için soğurucuların düşük yansıma katsayısına sahip, geniş bir frekans bandında ve geniş bir geliş açısı aralığında iyi bir soğurma performansına sahip olması beklenir. Böylece, kapalı bir alanda oldukça iyi bir şekilde serbest uzay şartları sağlanmış olur.

Yansımasız odanın kullanılabilir alanını daraltmaması için oda içinde kullanılacak soğurucuların yüksekliklerinin mümkün olduğunca az olması tercih edilir. Kama veya piramit tipi soğurucuların yüksekliğinin fazla olması yansımasız odanın kullanılabilir alanını sınırlar. Bu sebeple boyutları küçük yansımasız odalarda kullanım alanları sınırlıdır.

Yansımasız odalarda kullanılan soğurucuların soğurma performansı kullanılan malzemenin elektriksel özellikleri gibi birçok parametre yanında soğurucu geometrisine de bağlıdır. Özellikle geniş bantlı soğurucularda soğurucunun geometrik şekli soğurma performansı üzerinde önemli etkenlerden biridir. Soğurucuların geliştirilmesi sürecinde farklı geometriler kullanılmıştır. Piramit, kama, kesik kama (truncated wedge) gibi birçok farklı soğurucu geometrisi vardır. Serbest uzayın empedans değerinden soğurucu tabanına doğru düzgün empedans geçişi sağlamaları nedeniyle kama veya piramit tipi konik yüzeylerin daha iyi soğurma performansına sahip olduğu söylenebilir. Bu tür yüzeyler sahip oldukları geometri sebebiyle düzgün empedans geçişi sağlarlar. Kademeli empedans geçişi, yansıyan EM dalganın minimum olduğu bir empedans uydurma devresi gibi davranır. Kama veya piramit tipi soğurucularda empedans uyumsuzlukları minimum seviyede olmaktadır. Bu soğurucular kullanılarak soğurucu üzerine gelen EM dalganın enerjisi maksimum seviyede soğurulmaktadır. Ayrıca soğurucu yapının her bir elemanının (kama, piramit) boyutu gelen EM dalganın dalga boyuna göre daha büyük olduğunda EM dalga, soğurucunun sahip olduğu geometri sebebiyle, geri yansıtılmadan önce soğurucunun yüzeyleri arasında defalarca yansıma uğrayacaktır. Yanyana yüzeyler arasında defalarca yansıma uğrayan EM dalga her yansımada bir miktar soğurulacak ve enerjisini büyük oranda kaybedecektir. Yüksek frekanslarda, kamanın kenarındaki uç noktalardan kaynaklanan ve soğurma performansını etkileyen kırınım etkisi de saçılan elektrik alana dikkate değer ölçüde katkı yapmaktadır. Bu nedenle bu tür yapıların sayısal analizinde kullanılan yöntemlerde kırınım etkisinin de dikkate alınması gereklidir. Moment yöntemi (Method of Moments, MoM) bu amaçla kullanılabilecek yöntemlerden biridir. Buradan yola çıkarak, soğurucu yapının geometrisinde yapılacak değişikliklerle empedans uyumunda ve soğurucu yüzeyler arasındaki yansıma sayısında dikkate değer iyileştirmeler sağlanabilir ve soğurma performansı artırılabilir.

Bu tez çalışmasında, soğurucularının soğurma performanslarını, yapılarında kullanılan malzemelerin kimyasal, elektriksel vb. özelliklerinde herhangi bir değişiklik yapmadan, yalnızca soğurucu geometrisine yönelik iyileştirmeler yaparak arttırmak amaçlanmıştır. Bunu yaparken kullanılan yöntem, daha iyi empedans uyumu sağlayacak, EM dalga geri yansıtılmadan önce soğurucu elemanların yüzeyleri arasında çok sayıda yansıma sağlayacak bir soğurucu geometrisi elde etmeye dayanmaktadır. Aynı zamanda soğurucu performansının analizinde kullanılan yöntemlerde de iyileştirmelerin yapılması hedeflenmiştir.

Kama şeklindeki soğurucuda empedans geçişi serbest uzaydan soğurucu tabanına doğru doğrusal olarak değişir. Daha iyi empedans geçişi ve soğurucu yüzeyleri arasında çok sayıda yansıma sağlamak için kama soğurucunun yüksekliğinin

arttırılması, diğ er bir ifadeyle tepe açısının azaltılması gereklidir. Ancak soğurucu yüksekliği, yansımaz odanın ölçüm için kullanılabilir alanını sınırlar. Bu sebeple yüksekliği fazla olan soğurucuların yarı yansımaz veya küçük boyutlu yansımaz odalarda kullanımı sınırlıdır. Yansımaz odaların ölçüm alanını arttırmak, aynı veya daha iyi soğurma performansı elde etmek ancak daha az yüksekliğe sahip farklı soğurucu geometrileri kullanarak mümkündür. Kama  ekli yerine doğrusal olmayan bir soğurucu geometrisi kullanmak yansımaz odanın ölçüm alanını arttırarak EMI / EMC  l  mlerinin performansını arttırmaya yardımcı olur. Ayrıca doğrusal olmayan soğurucu geometrisi daha düzgün bir empedans ge i i ve / veya soğurucu yüzeyleri arasında daha fazla sayıda yansıma sağlar.

Bu çerçevede bu tez çalışmasının katkısı, soğurucu yüzey fonksiyonlarını elde etmeyi sağlayacak bir yöntem  onererek geleneksel kama soğurucudan daha iyi soğurma performansına sahip soğurucular elde etmektir. Çalışmada soğurucu yapılardan saçılan elektrik alanı elde etmek için Periyodik Moment Yöntemi (Periodic Moment Method, PMM) kullanılmıştır. Elektrik alanı soğurucu yapının eksenini doğrultusunda kutuplanmış düzlem EM dalganın (TM modu) yansıma değerleri dikkate alınmıştır. TM modu yansıma performansı, TE modu yansıma performansından daha k    olduğu için  alı ma TM modu ile sınırlıdır.

Tezin organizasyonu  u şekildedir: Literatür araştırması kapsamında EM soğurucuların tarihçesi, gelişimi incelenmiş, periyodik soğurucuların  e itleri, yansımaz odalar ve soğurucuların yansımaz odalarda kullanımından bahsedilmiştir. Tez çalışmasında kullanılacak yöntemlerin açıklanması kapsamında EM dalganın periyodik soğurucu yapılardan saçılması incelenmiş, teorik altyapı oluşturması amacıyla periyodik soğurucu yapıların analizinde kullanışlı bir araç olan PMM açıklanmıştır. Sonraki bölümde elde edilen integral denklemin PMM çözümünün detayları, çözümün referans soğurucu yapı üzerinden kapalı form çift katlı integrasyon yöntemiyle elde edilmesi verilmiştir. Yansıma performansının empedans ge i i ile ilişkisi ara tırılmı , dışbükey, doğrusal ve içbükey yüzeylerin yansıma performansları kar ıla tırılarak içbükey yüzeylerin dikkate değer şekilde daha iyi yansıma performansına sahip oldukları gösterilmiştir. Çok bilinen bazı içbükey fonksiyonlar temel alınarak soğurucu yüzeylerde kullanılacak, sınır koşullarını sağlayan içbükey fonksiyonların elde edili i açıklanmıştır. I b key yüzey fonksiyonları kullanılarak elde edilen soğurucu yüzeylerin MATLAB optimizasyon araçları yardımıyla en iyi soğurma performansını sağlayacak şekilde optimizasyonu açıklanmıştır.

Soğurucu performans analizleri bölümünde soğurucu yapı malzemesi olarak kabul edilen karbon katkılanmış köpükten oluşan kayıplı malzemeye ait dielektrik katsayılarından bahsedilmiş, PMM yöntemi kullanılarak yazılan MATLAB programının doğru çalıştığı gösterilmiş ve soğurucu tasarımlarının PMM hesaplamalarına ait sonuçlar sunulmuştur. Yansıma katsayısı, faz, RCS ve bistatik patern grafikleri her soğurucu yapı için ayrı ayrı verilmiştir. Soğurucu yapıların TM modu yansıma performansı sonuçlarının geleneksel kama soğurucu ve birbirleriyle karşılaştırılması tartışma bölümünde sunulmuştur. Tez çalışmasının genel bir değerlendirmesinin yer aldığı ve ilerleyen dönemde yapılacak çalışmaların irdelendiği sonu  b l m  son b l m olarak eklenmi tir.

MICROWAVE ABSORBER DESIGN

SUMMARY

In order to provide accurate and reliable measurements of important parameters such as electromagnetic interference (EMI), electromagnetic compatibility (EMC), antenna radiation pattern (ARP), radar cross section (RCS), there are not any electromagnetic (EM) wave source or objects, that reflect incident EM waves, around the equipment to be measured. Existence of such unwanted EM wave source or objects affects the accuracy of the measurements. Unwanted or stray electromagnetic signal radiation, usually emitted from electronic devices, can be a serious threat to living beings and cause faults on other electronics devices located nearby when radiation is strong. For all these reasons, it is very important to detect unwanted or stray EM signal propagation.

Obtaining accurate and reliable measurement results is possible by performing measurements on open field, which there are not unwanted EM wave source or objects that could cause reflection. However, due to reasons such as the presence of unwanted EM wave sources because of occupation of frequency bands, difficulty of finding such an open area where there are no objects that could cause reflections, unstable environmental factors such as temperature, humidity, etc., which may affect the accuracy of open field measurements, it is not possible to perform measurements in an open area. Measurements are performed in a closed area, which is called as anechoic chamber and its walls, ceiling and basement are covered with EM absorbers to prevent inaccurate measurement results caused by reflected or scattered waves, to obtain accurate and reliable results. Anechoic chambers are built to obtain free space conditions in a closed environment.

EM absorbers are used to prevent reflection of EM waves incident upon them while performing measurements and to prevent unwanted or stray EM radiation. Absorbers are essential elements for accurate, reliable EMC, EMI, ARP and RCS measurements in a closed environment. Measurements of many electronic systems are performed by using absorbers. Absorption performance of EM absorbers is one of the most important factor, which affects accuracy of performed measurements. Absorbers are structures which have low reflection coefficient depending on chemical, physical, electrical properties of their materials used in or their geometry. Electrical properties of the absorber material have a significant effect on absorption performance as well as other factors. Microwave absorbers absorb EM waves due to their dielectric or magnetic losses which they have. Absorbed EM waves are attenuated and its energy transformed into heat energy. Absorption capacity of the absorber depends on the dielectric permittivity and magnetic permeability properties of the absorber material. Relative dielectric constant of the material used in the absorber is one of the most important factor of the electrical factors. The relative dielectric constant is a measure of the electrostatic energy stored in the material and affects the propagation speed of the EM wave in the material.

Absorbers are generally divided into two main categories according to absorbing mechanism as resonating and graded absorbers. Wedge or pyramidal type EM absorbers, which are commonly used and well known graded type broadband absorbers, are used for EMC / EMI measurements in anechoic chambers. Absorbers, that have good absorption performance in a wide frequency band and a wide range of

angle of incidence, are preferable in order to absorb most of the incident EM waves. Thus, almost perfect free space conditions are obtained to perform measurements in a closed area. Absorbers having lower heights are preferred not to limit usable measurements space of the anechoic chamber. Higher height of wedge or pyramidal type absorbers limits usable measurement space of the chamber and restricts usage of absorbers in small and semi-anechoic chambers. Absorption performance of the absorbers used in anechoic chambers depends on absorber geometry as well as various parameters such as the electrical properties of the absorber material. Geometry of the absorber is one of the important factors on absorption performance of the absorber, especially for broadband absorbers. Different geometries are used during the development of the absorbers. There are various absorber geometries such as pyramid, wedge, truncated wedge. Wedge or pyramidal type conical surfaces have better absorption performance due to the smooth impedance transition from the impedance value of free space to the absorber base. Such surfaces provide a smooth impedance transition due to the geometry they have. Gradual impedance transition acts as an impedance matching circuit with a minimum amount of the reflected EM wave. Impedance mismatches are minimized by using wedge or pyramidal type absorbers. Thus, energy of the EM wave incident upon absorber is absorbed at the maximum level. On the other hand, while size of each element (wedge, pyramid) of the absorber structure is larger than the wavelength of the incident EM wave, incident waves are reflected numerous times between surfaces of the absorber elements due to the geometry of the absorber before being reflected back. Thus, EM wave, which is reflected numerous times between surfaces of the absorber elements, is absorbed upon each reflection and lose significant portion of its energy. Diffraction due to edges of wedge absorber contribute electric field significantly at higher frequencies, which effects absorption performance of the absorber. Therefore, it is necessary to take into account the diffraction effect in the methods used for numerical analysis of such structures. Method of Moments (MoM) is one of the techniques that can be used for this purpose. From there, considerable improvements are obtained in the impedance matching as well as number of reflections between surfaces of absorber elements and absorption performance is improved by changing the geometry of the absorber structure.

In this thesis study, absorption performances of the absorbers are improved by changing absorber geometry not by changing material properties such as chemical, electrical properties etc. A methodology is used based on obtaining an absorber geometry that will provide better impedance matching and provide multiple reflections between surfaces of absorber elements before the EM wave is reflected back. Improving methods used for the analysis of absorber performance is also within the scope of thesis study.

Impedance transition of the wedge-shaped absorber varies linearly from the free space to the absorber base. It is required to increase the height of the wedge absorber in order to provide better impedance transitions and multiple reflections between the surfaces of absorber elements, in other words, it is necessary to reduce apex angles of the wedges. However, increased absorber height limits available measurement space of the anechoic chamber. Therefore, it is not preferable to use increased height absorbers in small or semi-anechoic chambers. On the other hand, it is possible to increase the measurement space of anechoic chambers and to obtain the same or better absorption performance by using different absorber geometries with lower heights. Using a nonlinear absorber geometry instead of a wedge-shaped geometry helps to improve

the performance of EMI / EMC measurements by increasing the measurement space of the anechoic chamber. In addition, nonlinear absorber geometry provides a smoother impedance transition and / or more multiple reflections between the surfaces of absorber elements.

Within this framework, the contribution of this study is proposing a method to obtain surface functions for absorbers that have better absorption performance than a wedge-shape absorber. Scattered electric fields from absorber structures have been analyzed by using the PMM. Reflection values of the plane electromagnetic wave that is E-field polarized along the axes of the absorber structure (TM case) are calculated. Since the TM case reflection performances are worse than the TE case performances, the scope of the study is limited for the TM case only.

The organization of the thesis is as follows: In the literature survey, the history of EM absorbers, their development, types of periodic absorbers, anechoic chambers and the use of absorbers in anechoic chambers are described. Within the scope of explaining the methods to be used in the thesis study, EM wave scattering from periodic absorber structures is given and Periodic Moment Method (PMM), which is a useful tool for analyzing periodic absorber structures, is explained in detail in order to provide theoretical background. Obtaining triangle mesh of the absorber structure is shown, using equivalent square cell instead of triangle cell is explained. Square cells with the same area and centroid as the triangular equivalent provide the same scattering values as the less computational time. modified scattering formulas because of using square cell are given. The details of the PMM solution of obtained integral equation, finding solution by closed form double integration method over the reference absorber structure are given in the following section. Advantage of using square cell equivalent instead of triangle cell while performing closed form double integration calculation is shown.

Relation between reflection performance and impedance transition for absorbers with different geometries is investigated by performing PMM calculation of sample convex, concave and wedge absorber structures. It has been shown that convex surfaces have significantly better reflection performance by comparing the reflection performances of concave, linear and convex surfaces. Obtaining of convex functions, that satisfy boundary conditions to be used on absorber surfaces, is explained based on some well-known convex functions. Optimization using MATLAB optimization tools to provide optimal absorption performance of the absorbing surfaces obtained by using convex surface functions is explained. In the absorber performance analysis section, the dielectric coefficients of the lossy material composed of carbon-doped foam, which is considered as absorber structure material, are given, verification of MATLAB program written by using PMM is shown and the results of PMM calculations of absorber designs are presented. Reflection coefficient, phase, RCS and bistatic pattern plots are given for each absorber structure separately. Comparison of the TM mode reflection performance results of the absorber structures and the conventional wedge absorber is presented in discussion section. Results show that convex shaped absorbers have significantly better absorption performance than the conventional wedge type absorber. TM mode RCS performances of the absorber structures and the conventional wedge absorber are also compared. Comparison of reflection results of conventional wedge absorber, parabolic absorber which its local minimum is inside interval, and power function absorber, that have the best reflection performances are presented. A general evaluation of the thesis study and future studies are given in conclusion section.