

AM/FM Radyo Sistemleri için Otomotiv Aktif Çubuk Anten Tasarımı

Olca YİĞİT^{1*} 

¹Ege Üniversitesi, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye

Grafik Özet (Graphical/Tabular Abstract)

Makale Bilgisi

Araştırma makalesi
Başvuru: 23/11/2024
Düzeltilme: 17/04/2025
Kabul: 29/04/2025

Anahtar Kelimeler

Otomotiv Antenleri,
Çubuk antenleri,
AM/FM radyo sistemleri

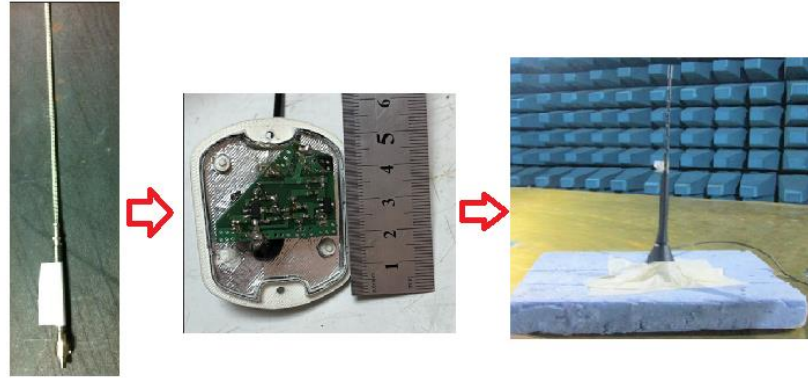
Article Info

Research article
Received: 23/11/2024
Revision: 17/04/2025
Accepted: 29/04/2025

Keywords

Automotive antennas,
Rod antennas,
AM/FM radio systems

AM ve FM bantlarında çalışan, 1.2 dB gürültü seviyesine sahip bir yükseltici ile donatılmış 40 cm boyunda bir çubuk anten tasarlanmıştır. Helisel yapı sayesinde rezonans frekansı 180 MHz ve şerit boyunun anten boyundan uzun olması sayesinde kapasitif giriş empedansı düşürülmüştür.



Şekil A: Aktif anten sistemi / Figure A: Active antenna system

Önemli noktalar (Highlights)

- AM ve FM sistem sinyalleri tek bir aktif bir anten ile alıcıya iletilir. / AM and FM system signals are transmitted to the receiver via a single active antenna
- Ticari satılan yükselticiler kullanmak yerine anten empedansına uyumlu bir yükselticinin tasarlanması verimi artırmıştır ve ses kalitesi yükselmiştir. / Designing an amplifier matched to the antenna impedance, instead of using commercially available amplifiers, has improved efficiency and enhanced sound quality.
- Rezonansa gireceği boyutlardan daha küçük 40 cm boyunda estetik bir anten tasarlanmıştır. / "An aesthetically designed antenna measuring 40 cm in length has been developed, which is smaller than the dimensions required for resonance.

Amaç (Aim): Araç gereksinimi için belirlenen boyutlarda anten ile AM/FM radio sistemlerini kullanabilmek için aktif anten tasarlamak. To design an active antenna that enables the use of AM/FM radio systems within the antenna dimensions specified for vehicle requirements."

Özgünlük (Originality): Aktif anten bölümleri olan radyasyon yapan çubuk ve yükseltici tasarımı gerekli kriterlere uyması için özgün tasarlanmıştır. Yerleştirilecek yer sınırlı olduğu için anten çubuğunun altında kalan bölümde bulunan yükseltici tek kart üzerinde iki sistem sinyallerini yükseltebilmektedir. The radiation rod and amplifier components of the active antenna have been uniquely designed to meet the required criteria. Due to limited installation space, the amplifier is located beneath the antenna rod, enabling it to amplify both system signals on a single circuit board.

Bulgular (Results): 40 cm boyunda helisel şekilde tasarlanan çubuk anten 108 sargı sayısı ile en verimli hale gelmiştir. Bu boyutlardaki çubuk anten ile empedans ve kazanç değerleri hesaplanmış ve buna göre FM yükseltici 10 dB kadar AM yükseltici 2 dB kadar yükseltmesi yeterli olmuştur. A helical-shaped dipole antenna, measuring 40 cm in length and consisting of 108 turns, has been found to be most efficient. Impedance and gain values for this antenna have been calculated, indicating that an FM amplifier requires a gain increase of 10 dB, while an AM amplifier needs a 2 dB increase to achieve optimal performance.

Sonuç (Conclusion): 40 cm boyunda aktif anten tasarlanmış ve araç üstü testleri yapılmıştır. Testler sonucunda gereksinimlerin karşılandığı anlaşılmıştır. A 40 cm active antenna has been designed, and vehicle-mounted tests have been conducted. As a result of these tests, it has been measured that the requirements are met.



AM/FM Radyo Sistemleri için Otomotiv Aktif Çubuk Anten Tasarımı

Olca YİĞİT^{1*}

¹Ege Üniversitesi, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye

Makale Bilgisi

Araştırma makalesi
Başvuru: 23/11/2024
Düzeltilme: 17/04/2025
Kabul: 29/04/2025

Anahtar Kelimeler

Otomotiv Antenleri,
Çubuk antenleri,
AM/FM radyo sistemleri

Öz

Bu makalede, otomobil antenlerinin tarihsel gelişimi araştırılmış ve günümüz akıllı anten tasarımlarının önemi incelenmiştir. 1970'lerde kullanılan yaklaşık 1.5 metre uzunluğundaki çubuk antenlerin yerini, 1984 yılından itibaren araç camlarına entegre edilen aktif AM/FM antenler almıştır. Günümüzde ise 5-15 cm boyutlarındaki sarmal anten tasarımları; anten performansını artırmak, aerodinamik avantaj sağlamak ve elektromanyetik uyumluluk düzenlemelerine uyum sağlamak amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca sayısal video yayını (SVY) ve V2X iletişim sistemleri gibi modern uygulamalara yönelik anten entegrasyonu; yüksek empedanslı amplifikatörler (15-25 dB kazanç) ve triband antenler gibi yeniliklerle desteklenmektedir. Aktif anten tasarım sürecinde, empedans uyumu, kazanç, kararlılık ve gürültü gibi parametrelerin optimize edilmesi; anten performansını ve elektromanyetik bağışıklığı artırmak için kritik öneme sahiptir. Çalışma kapsamında, AM ve FM bantlarında çalışan, 1.2 dB gürültü seviyesine sahip bir yükseltici ile donatılmış 40 cm boyunda bir çubuk anten tasarlanmıştır. Anten, araç üzerinde test edilmiş ve alınan sinyalin güç değeri Rigol Spektrum Analizörü ile ölçülmüştür. Orijinal cihazla kıyaslandığında, sinyalin gürültü seviyesinin 1 dB daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Tasarımda kullanılan helisel yapı, rezonans frekansını 180 MHz'e ayarlamış ve şerit boyunun anten boyundan uzun olması sayesinde kapasitif giriş empedansı düşürülmüştür. Bu durum, antenin performansını artıran önemli bir teknik yenilik olarak öne çıkmıştır.

Automotive Active Antenna Design for AM/FM Radio Systems

Article Info

Research article
Received: 23/11/2024
Revision: 17/04/2025
Accepted: 29/04/2025

Keywords

Automotive antennas,
rod antennas,
AM/FM radio systems

Abstract

This article examines the historical development of automobile antennas and highlights the significance of modern smart antenna designs. In the 1970s, long rod antennas approximately 1.5 meters in length were commonly used. These were replaced in 1984 by active AM/FM antennas integrated into vehicle windows. Today, spiral antenna designs ranging from 5 to 15 cm in length are widely employed to improve antenna performance, offer aerodynamic advantages, and ensure compliance with electromagnetic compatibility (EMC) regulations. The article also discusses innovations such as antenna integration for digital video broadcasting (DVB) and V2X communication systems, as well as the use of high-impedance amplifiers (typically providing 15–25 dB gain) and triband antennas. During the active antenna design process, the optimization of parameters such as impedance matching, gain, stability, and noise (typically 1–2 dB) is emphasized as critical for enhancing antenna performance and electromagnetic immunity. As part of the study, a 40 cm rod antenna was designed, equipped with an amplifier operating in the AM and FM bands with a noise figure of 1.2 dB. The antenna was tested on a vehicle, and the received signal strength was measured using a Rigol Spectrum Analyzer. It was observed that the signal's noise level was 1 dB lower compared to the original device. The helical structure used in the antenna design set the resonance frequency at 180 MHz. Moreover, the use of a strip length longer than the antenna's physical length reduced the capacitive input impedance, contributing to improved performance through this key technical innovation.

1.GİRİŞ (INTRODUCTION)

Literatürde yer alan otomobil elektronik parça patentlerinden anten tasarımları, yıllar içinde evrimleşerek daha estetik ve kullanışlı hâle gelmiştir. Ancak, bireysel anlamda antenin

elektriksel performansında düşüş gözlemlenmiştir. Buna karşın, otomobilin genel performansının arttığı ve tasarımsal kusurların azaldığı belirtilmektedir. Araç hareket hâlindeyken antenin kıvrılması, titremesi ve rüzgâra karşı ses üretmesi gibi sorunlar, yeni tasarım kriterleri sayesinde

büyük ölçüde giderilmiştir. Bu nedenle, yeni nesil akıllı anten tasarımları büyük ilgi görmüş ve son on yılda bu alanda birçok yenilik ortaya çıkmıştır. Bu tasarımlar; anten sürüklenmesini azaltmayı, araç ağırlığını düşürmeyi ve elektromanyetik uyumluluk (EMC) düzenlemelerini karşılamayı hedefleyerek hem aerodinamik performansı hem de güvenilirliği artırmayı amaçlamaktadır [1-3].

Başlangıçta, uzunluğu 80 ila 100 cm arasında değişen çubuk antenler otomobillerde yaygın olarak kullanılıyordu. Ancak, 1970'lerin başında özellikle 40 cm uzunluğundaki aktif çubuk antenler, düşük maliyetleri ve yeterli performansları nedeniyle tercih edilmeye başlanmıştır. Bu antenler aynı zamanda estetik beklentileri karşılamak, rüzgâr sesini azaltmak ve sağlamlığı artırmak amacıyla da geliştirilmiştir [4-6].

Teknolojik ilerlemelerle birlikte otomobillerde kullanılan anten tasarımları önemli değişiklikler geçirmiştir. 1984 yılından itibaren aktif AM/FM antenleri, ince teller veya cam ısıtıcı hatlarını anten elemanı olarak kullanarak ön camlara entegre edilmiştir. Son yıllarda ise anten uzunluklarının kısaltılması amacıyla sarmal yapılar tercih edilmekte, bu yapılar etkin anten yüksekliği ve empedansla ilgili sorunların aşılmasına katkı sağlamaktadır [7]. Literatürde, Sayısal Video Yayını (SVY) için geleneksel AM/FM antenleriyle entegrasyon önerileri sunulmuş ve DAB-VHF ile DAB-L Band alımı için sarmal anten tasarımları üzerinde durulmuştur. Hem FM hem de DAB sinyallerini destekleyen tek bir amplifikatör tasarımıyla, yüksek empedanslı amplifikatörlerin performans, gürültü ve intermodülasyon davranışları detaylı olarak incelenmiştir. Bu tasarımların kablosuz iletişim sistemleriyle uyumlu hâle getirilmesinin önemli avantajlar sunduğu vurgulanmıştır [8].

Bir başka çalışmada yeni bir AM/FM ve mobil iletişim (MT) üç bantlı anten tasarımı sunulmuştur. Bu tasarımda çift kılıf kullanılarak bobinler entegre edilmiş ve ölçülen akım dağılımı ile iyi bir uyum sağlandığı görülmüştür. Çift kollu üç bantlı antenin iyi bir ışımaya sahip olduğu, ışıma desenleri ile Voltaj Durağan Dalga Oranı (VSWR) değerlerinin tasarım kriterlerini karşıladığı belirtilmiştir. Ayrıca bu antenin V2X iletişimi için de uygun olduğu ve iletişim mesafesinin 995 ile 1329 metre arasında değiştiği rapor edilmiştir [9].

V2X iletişim sisteminin mimarisi ve anten tasarımı hakkında da literatürde çeşitli bilgiler yer almaktadır. V2X iletişimi; araçtan altyapıya (V2I), araçtan araca (V2V), araçtan yayaya (V2P) ve

araçtan ağa (V2N) veri aktarımı yaparak araçlara yol durumu ve çevredeki araçlar hakkında bilgi sağlamaktadır. Bu sistem, trafik akışını düzenlemeye, yaya güvenliğini artırmaya ve sürüş esnasında oluşabilecek riskleri önceden tahmin etmeye yardımcı olmaktadır. V2X iletişimi için 5.850 GHz–5.925 GHz frekans aralığı kullanılmakta olup, bu sistemlerde kullanılan antenlerin çok yönlü ışıma desenine sahip olması gerekmektedir [10].

İncelenen çalışmalarda, AM/FM yayın (BC) ve cep telefonları (MT) için otomobillerde kullanılan üç bantlı anten tasarımları da ele alınmıştır. MT antenleri için başlıca gereksinimler; geniş ışıma modeli, yönlülük, kazanç ve uzunluktur. Bobinli üç bantlı antenlerin mekanik olarak zayıf yapıda oldukları ve uzunluk arttıkça istenilen özellikleri sağlamanın zorlaştığı belirtilmiştir. Bu nedenle, AM/FM BC ve MT sistemleri için geliştirilen üç bantlı antenler, anten sayısını azaltmak ve performansı artırmak amacıyla yeniden tasarlanmıştır [11-12].

Başka bir çalışmada ise 100 MHz'de empedans uyumu sağlamak amacıyla yüksek empedanslı bir amplifikatör tasarımı sunulmuştur. Bu sorunun çözümü için aktif anten kullanımı önerilmiş; tasarımda doğrudan bir amplifikatörle beslenen anten ucunun optimize edilerek yüksek giriş empedansı elde edilmesi hedeflenmiştir. Bu sayede anten geriliminden maksimum güç alınabilmekte ve sistem bir empedans dönüştürücü olarak radyo alıcısı işlevi görebilmektedir [13].

Literatürde farklı bir anten tipi olan Dörtgen Sarmal Anten (QHA) tasarımı üzerinde de durulmuştur. Bu anten türü; Düşük Dünya Yörüngesi'ndeki (LEO) uydularla iletişim, küresel konumlama sistemleri (GPS) ve uydu tabanlı cep telefonları için uygundur. QHA, kardiodoid şekilli ışıma deseniyle iyi dairesel polarizasyon sunarken, geniş bant özellikli uygulamalar için yeterli bant genişliğine sahip olmaması temel bir sorundur. Bu sorunu çözmek için çeşitli teknikler önerilmiş olsa da her yöntemin belirli sınırlamaları bulunmaktadır [14].

Günümüzde çoğu otomobil, yol durumunu takip etme, dış dünya ile iletişim kurma (örneğin mobil cihazlarla), bilgi-eğlence sistemleri, sürücü konforu ve güvenliğini artırma ve otonom sürüş deneyimi gibi birçok işlevi yerine getirmektedir. Bu işlevler için uygun antenlerin kullanımı zorunlu hâle gelmiş ve tasarımlarda müşteri ihtiyaçları ile teknik gereksinimlere odaklanılmıştır [15].

Bu çalışmada, 40 cm uzunluğunda bir sarmal anten ile yüksek giriş empedanslı bir amplifikatör (YEA) tasarımı sunulmuştur. AM/FM bantlarında çalışan bu tasarımın farklı aktif anten uzunluklarıyla uyumlu olduğu gösterilmiştir.

Makale kapsamında, araçlarda kullanılan aktif antenlerin elektromanyetik uyumluluk düzenlemeleri ile uyumlu hâle getirilmesi ve elektromanyetik bağışıklık testlerinde performanslarının artırılması hedeflenmiştir. Ayrıca intermodülasyon etkilerinin belirlenmesi ve bu etkilerin bastırılması amacıyla yapılan deneysel bir çalışma da sunulmuştur. Yayılan bağışıklık testleri sırasında aktif antenlerin performansının optimize edilmesi, gelecekteki anten tasarımları açısından kritik öneme sahiptir.

Bu süreçte anten performansına yönelik yapılan testler ve ölçümler büyük rol oynamaktadır. Özellikle aracın gövde boyutunun, elektromanyetik uyumluluk testleri ve anten performansı üzerinde belirleyici bir etken olduğu gözlemlenmiştir. Aktif antenlerin elektromanyetik bağışıklık koşullarındaki etkileri araştırılarak, anten sağlamlığını artırmaya yönelik çeşitli iyileştirme çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

2. MATERYAL VE METOD (MATERIALS AND METHODS)

2.1. Deneysel ve Teorik Metod (Experimental and Theoretical Method)

Saçılma parametreleri, bir sisteme giren, sistemden yansıyan ve sistem içinde iletilen sinyaller arasındaki oranları ifade eder. Bu parametreler sayesinde, sistemdeki empedans uyumu ve çıkış sinyali büyüklüğü gibi değişkenler kolaylıkla analiz edilebilir. Denklem 1'deki "+" ve "-" işaretleri, sisteme giren ve çıkan sinyalleri belirtirken; 1 ve 2 numaralı indisler sırasıyla giriş ve çıkışı ifade eder.

Saçılma parametreleri Denklem (1) ile hesaplanır:

$$\begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{1+} \\ V_{2+} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_{1-} \\ V_{2-} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Giriş ve çıkışlardaki gelen ve yansıyan sinyaller ölçülerek saçılma parametreleri hesaplanabilir. Bu ölçümler sonucunda dört bilinmeyenli dört denklem elde edilir. "1" indisine sahip parametrenin mutlak değeri, geri dönüş kaybı olarak adlandırılır. Bu değer düşük olması, geri yansıyan sinyalin küçük olduğunu ve empedans uyumunun sağlandığını gösterir. "21" ve "12" parametreleri, iletimin ya da geri iletimin kazançlı mı yoksa kayıplı mı gerçekleştiğini belirtir. Bu parametreler, sistemin

gereksinimlerine göre optimize edilir. "22" parametresinin mutlak değeri ise çıkış geri dönüş kaybını ifade eder ve çıkışın empedans uyumu hakkında bilgi verir.

Yükseltici tasarımı gibi birçok elektronik uygulamada, gürültü önemli bir etkidir. Gelen sinyalin içerdiği gürültünün yanı sıra, elektronik sistemin kendisinin oluşturduğu gürültü de iletilmek istenen sinyali olumsuz etkileyebilir. Bu nedenle, sinyal bozulmalarını önlemek için gürültü seviyesinin doğru şekilde hesaplanması ve belirlenen sınırlar içinde tutulması gereklidir. Temel gürültü türleri arasında flicker (alçak frekanslı) gürültü ve termal (ısı) gürültü bulunur.

Sistemin kararlı olması, çalışma frekansı dışında başka frekanslarda sinyal üretmemesi veya istenmeyen sinyaller oluşturmaması açısından kritiktir. Kararlılık durumu, saçılma parametrelerinden elde edilen bir fonksiyonun tüm frekans aralığında 1'in üzerinde olmasıyla anlaşılır.

$$K = \frac{1 - |S_{11}|^2 - |S_{22}|^2 + |\Delta|^2}{2|S_{21}S_{12}|} \quad (2)$$

$$\Delta = S_{11}S_{22} - S_{12}S_{21} \quad (3)$$

Denklem 2, saçılma parametreleri kullanılarak sistemin kararlılık katsayısını hesaplamaktadır. Denklem 3 ise, Denklem 2'de kullanılan delta değişkeninin formülünü göstermektedir. Frekansa bağlı olarak elde edilen sonuçların 1'in üzerinde olması, sistemin kararlı olduğunu gösterir. Kararlılık, istenmeyen frekanslardaki sinyallerin kendiliğinden üretilmediği ve zamanla sapma yaşanmadığı anlamına gelir.

İç modülasyon, sisteme giren iki farklı frekanstaki sinyalin etkileşerek başka frekanslarda sinyaller üretmesini inceleyen bir parametredir. Bu çarpışma sonucu oluşan sinyallerin büyüklüğü arttıkça, veri sinyalleri etkilenir ve iletimde bozulmalar meydana gelir. Test amacıyla iki farklı sinyal kaynağı kullanılarak, birbirine yakın frekanslarda iki sinyal yükselticiye gönderilir. Ardından spektrum analizörü ile sinyalin frekans aralığındaki tepkisi gözlemlenir. Ana sinyaller frekans ekseninde görünür ve bu frekans bandı dışında, yakın frekanslarda belirli güç seviyelerinde yeni sinyaller oluşur. Bu sinyallere "kulak sinyalleri" denir. Bu sinyallerin büyüklüğü, ana sinyali etkileyebileceği için kritik öneme sahiptir ve belirli bir eşik değerin altında olması istenir.

Aktif anten tasarımı, aşağıdaki alt başlıklar altında özetlenmiştir:

Pasif Anten Ölçümleri: Monopole antenin FM ve AM bandı için empedans ve geri dönüş kaybı ölçümleri yapılmıştır. Anten boyu kısaldıkça, FM ve AM bantlarında anten empedansı kapasitif özellik göstermektedir.

FM Bandı ve AM Bandı için Anten Eşdeğer Devrelerinin Kurulması: Antenin eşdeğer devresi; girişte paralel ve seri kapasitörlerin yanı sıra bir uyumlama direncini içeren bir yapı olarak tasarlanmıştır.

FM Yükseltici ve AM Yükseltici: FM yükseltici devresi, BFQ19 transistörü kullanılarak tasarlanmıştır. Besleme devresi ile giriş ve çıkış empedansları uyumlu hale getirilmiştir. AM bandında ise, antenin yüksek kapasitif etki göstermesi nedeniyle MOSFET transistör kullanımı avantajlı olmuştur.

Devre Yerleşimi ve Gerçekleştirilmiş Devreler: Tasarlanan devrelerin baskı devre kartına (PCB) yolları çizilmiş ve devreler kart üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bu aşamada yolların uzunluğu, kalınlığı ve kullanılan yalıtkan malzemenin özellikleri optimize edilmiştir.

Sonuçlar: Tasarlanan devrelerin simülasyon ve ölçüm sonuçlarına dayanarak amplifikatörlerin performansı değerlendirilmiştir.

Aktif Antenin Son Hali: Tasarlanan anten dış kısmı makaronla kaplanmış ve anten tabanına yerleştirilmiştir.

Bu süreçte, tasarlanan devrelerin performanslarını optimize etmek ve ölçümlemek için kapsamlı bir yaklaşım benimsenmiştir. Böylece, devrelerin kullanılacakları uygulamalara uygun şekilde geliştirilmesi ve performanslarının doğru biçimde değerlendirilmesi sağlanmıştır. Öncelikle, hâlihazırda tasarlanmış 40 cm boyunda bir antenin ölçümleri yapılmış ve yeni tasarlanacak antenin gereksinimleri belirlenmiştir. Monopole anten ölçümleri, toprak plakası üzerine dikey yerleştirilen

düz bir çubuk ile gerçekleştirilmiştir. “Network Analyzer R&S ZVA40” cihazı ile FM ve AM bantları için giriş empedansları ve geri dönüş kayıpları ölçülmüştür. Şekil 3’te antenin FM bandı için göstermiş olduğu S11 değeri sunulmuştur.

Aktif anten tasarımına geçmeden önce, tasarımda kullanılan iki elektronik sistemin elektriksel özelliklerini ve sistemdeki görevlerini açıklamak daha doğru olacaktır. Bu sistemler; elektromanyetik dalgayı hava ortamı gibi kablosuz bir ortamdan alarak, iletken bir sistem üzerinde elektrik akımına dönüştüren pasif bir anten ile bu sinyali belirli bir şiddete yükselten yükseltici elektronik devreden oluşmaktadır.

Pasif anten tasarımı, alınan sinyalin frekansında rezonansa girebilmesi ve ortamdaki sinyali kendi kazancı ile en verimli şekilde alabilmesi amacıyla gerçekleştirilir. Antenin istenilen rezonans frekansında çalışabilmesi için dalga boyu dikkate alınarak antenin şekli ve boyutları hesaplanır. Bu bağlamda, anten kazancı, yarım güç ışıma açısı, ışıma yönü, giriş empedansı ve geri dönüş kaybı gibi parametreler anten tasarımında önemli kriterlerdir.

Yükseltici tasarımında ise kazanç, giriş ve çıkış empedans değerleri, maksimum giriş gücü, intermodülasyon oranı, geri dönüş kazancı, gürültü ve kararlılık gibi parametreler dikkate alınması gereken unsurlardır.

2.2. Anten Tasarımı (Antenna Design)

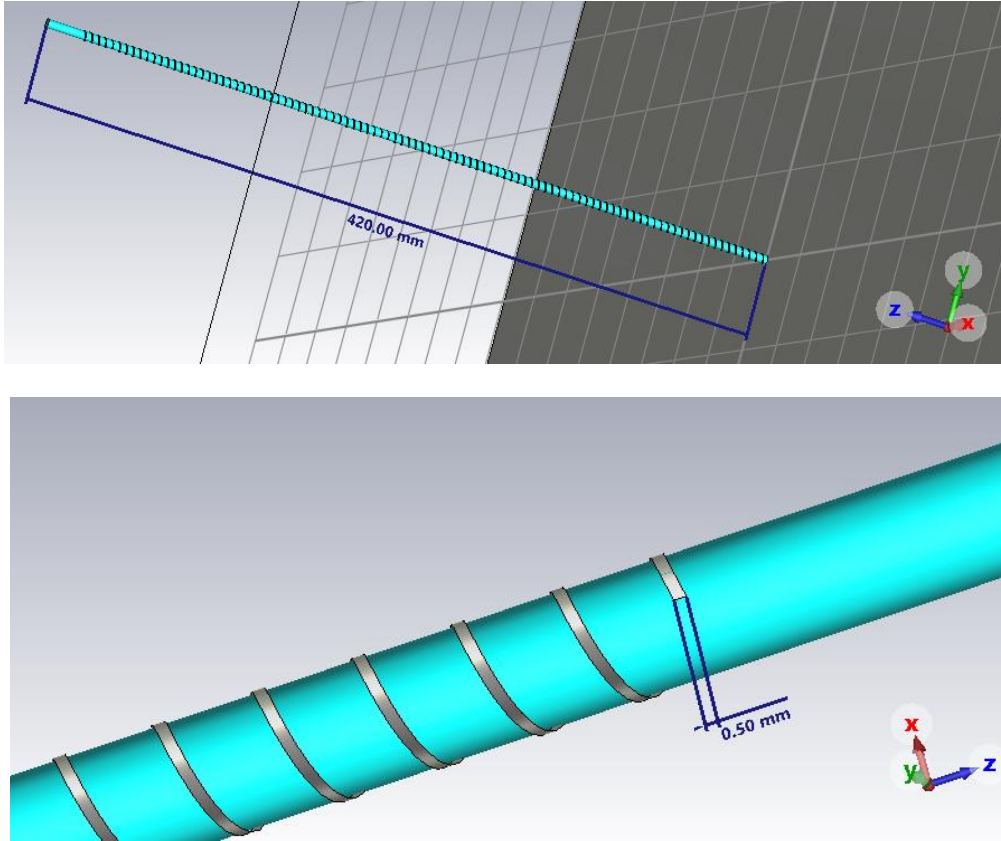
Helisel anten, antenin bulunduğu doğrunun normal yönünde ve normale dik yönde ışıma yapmasına göre ikiye ayrılır. Burada tasarlanmış anten yatay açıda 360 derece ışıma yapan tek kutuplu anten gibi çalışmaktadır. Helisel yapıda olması iletken telin daha uzun olmasını sağlamış ve böylece boyunun kısa olmasından dolayı giriş empedansında gözlenen kapasitif etkiyi azaltarak daha düşük frekanslarda rezonansa girmiştir.



Şekil 1. Çubuk anten (Rod antenna)

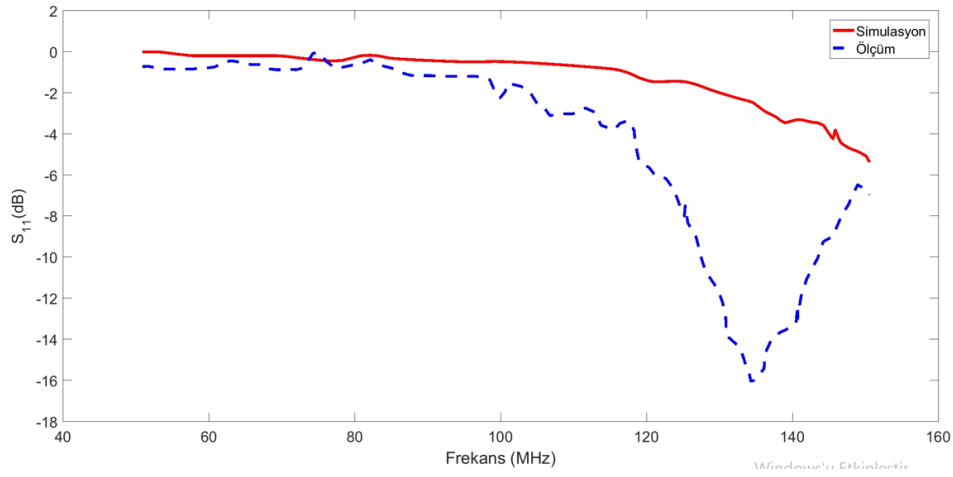
Şekil 1’de gösterilen çubuk anten, dielektrik katsayısı 2.2 olan teflon malzeme etrafına sarılmış iletken bir şerit ile oluşturulmuştur. Bu anten, simülasyonda tasarlandığı şekilde toplam 40 cm uzunluğunda helisel yapıda bir antendir. Tasarımın gerçekleştirilmesi sırasında, teflon çubuk, kendi etrafında döndürülerek kaydıran bir mekanizmaya

yerleştirilir. Bu mekanizma sayesinde çubuk dönerken, metal şerit çubuğa sarılır. Anten tasarımında sarmal yapı, iletkenin boyunun uzamasına neden olur; böylece kapasitif etki azalır ve rezonans frekansı düşer. Metalik şerit, metal çubuğa 107 tur olacak şekilde sarılmış olup, şerit genişliği 0,5 mm’dir.

**Şekil 2.** Anten tasarımı simülasyonu (Simulation of antenna design)

Şekil 2’de anten tasarımının 3 boyutlu çizimi görülmektedir. Burada, "Computer Simulation Tool" programı kullanılarak helisel yapıda bir anten tasarlanmış ve simüle edilmiştir. Antenin şerit kalınlığı $w=0.5\text{mm}$ sarmal arası boşluk $s=1.5\text{mm}$ ve toplam boyu 40 cm’dir. Simülasyonda, frekans aralığı çalışma frekans aralığından daha geniş seçilmiştir. Simülasyonun önemli bir parametresi olan ayrıklama sayısı (mesh number) çizime göre ayarlanmıştır. Sistem frekansındaki kaymaları

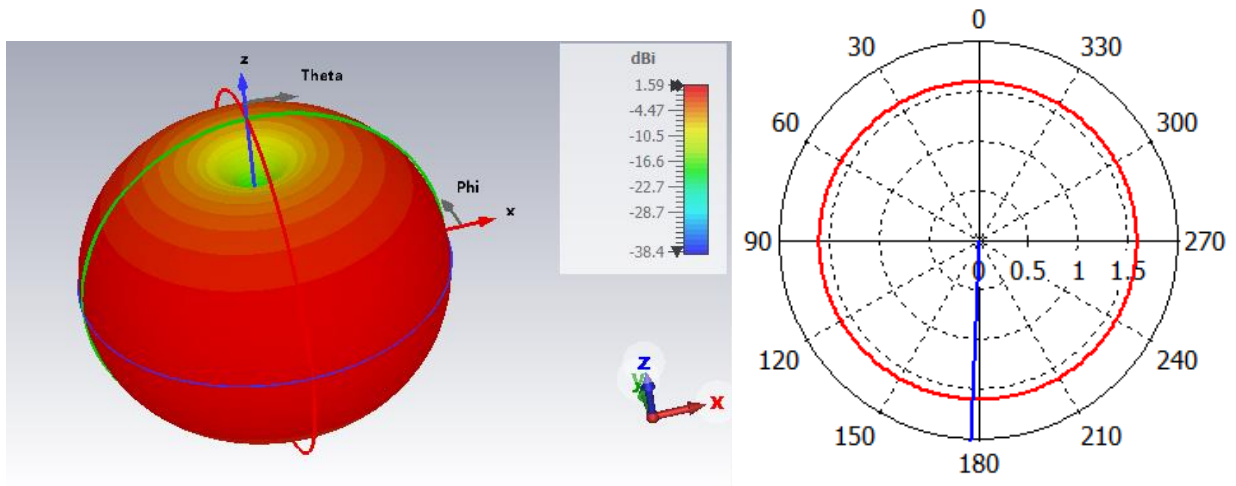
gözlemlemek ve diğer frekanslarda rezonans durumunu incelemek amacıyla, çalışma frekansından daha geniş bir frekans aralığında sonuçlar incelenmiştir. Ayrıklama sayısının uygun seçilmesi, simülasyon sırasında 3 boyutlu cismin küçük ayrıntılarının da analize dahil edilmesini sağlar. Küçük ayrıntılar, kuplaj ve kısa devre gibi özelliklerin belirlenmesinde önemli rol oynar, bu nedenle yanlılık analizi başka bir sonuca taşınabilir.



Şekil 3. Antenin simülasyon ve prototip saçılma parametre(S_{11}) ölçüm sonucu (Return loss values of realized antenna and simulation antenna)

Şekil 3'te, simülasyon sonuçları ile gerçekleştirilen antenin S_{11} değerleri karşılaştırmalı olarak sunulmaktadır. 135 MHz, rezonans frekansı olarak gözlemlenmiştir ve bu değer, ilgili anten boyu için

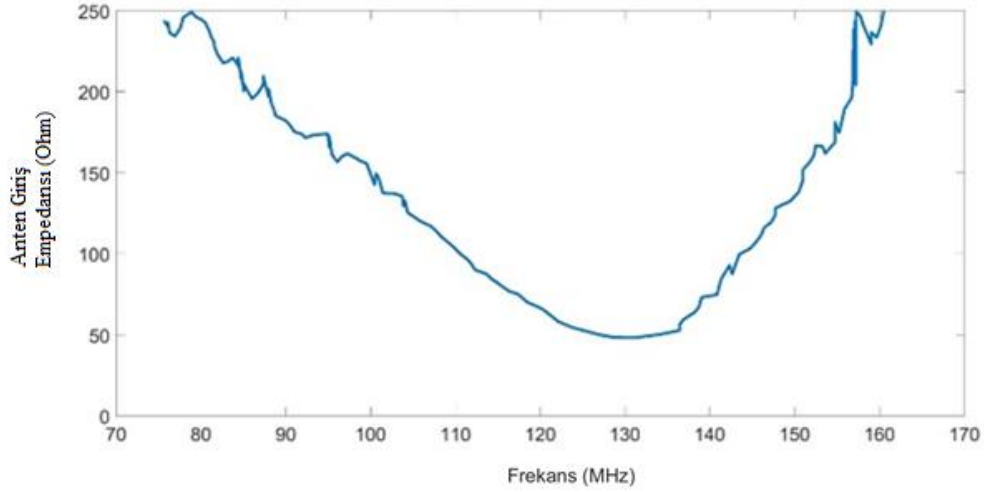
beklenen bir sonuçtur. Antenin fiziksel yüksekliğinin azaltılması, rezonans frekansının artmasına neden olur. Bu durum, anten tasarımında dikkate alınması gereken önemli bir parametredir.



Şekil 4. Antenin 3 boyutlu ışıma şekli ve polar grafikte ışıma gösterim (3 dimensional radiation pattern and polar graphic)

Şekil 4, antenin ışıma yönünü ve şiddetini göstermektedir. Anten, tüm yönlere eşit şiddette ışıma yapmakta olup bu özellik, karakteristik olarak tek kutuplu bir antenin davranışını yansıtmaktadır. Bu tür antenler, yönsüz ışıma yapmaları sebebiyle belirli uygulamalarda tercih edilmektedir. Otomobil antenlerinde, estetik görünüm ve çevresel

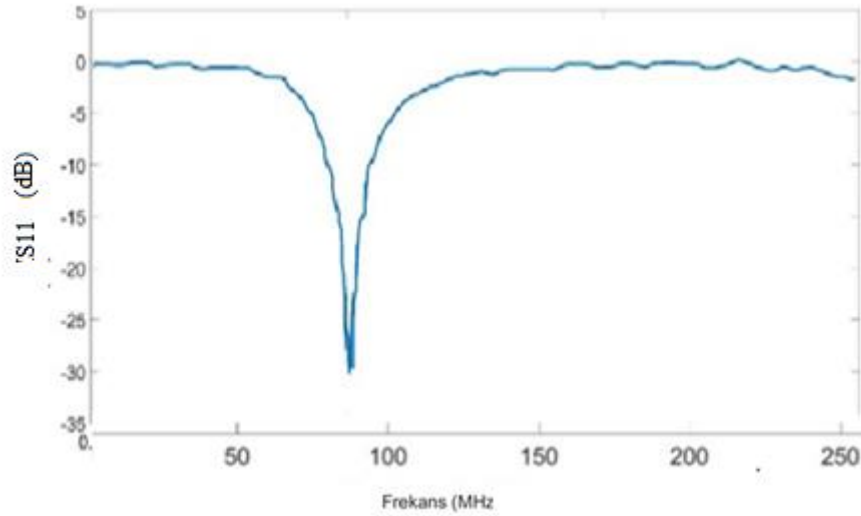
dayanıklılık öncelikli tasarım kriterlerindendir. Bu nedenle, antenin boyutları ve geometrik şekli tasarım sürecinden önce belirlenmiştir. Bu doğrultuda, standartlara uygun bir çubuk anten üretilmiş ve bu antenin giriş empedansı, kazancı gibi temel parametreleri ölçülerek değerlendirilmiştir.



Şekil 5. Antenin frekansa bağlı giriş empedans değeri (Input impedance versus frequency)

Şekil 5'te görüldüğü üzere, antenin giriş empedansı rezonans frekansında 50 Ω değerindedir. Bu, sistemin empedans uyumu açısından ideal bir değerdir. Diğer frekanslarda ise antenin empedansı yüksek seviyelerde seyretmektedir. Şekil 3 incelendiğinde de benzer şekilde, antenin empedansının yalnızca rezonans frekansı civarında düşük olduğu, diğer frekanslarda ise yüksek empedans gösterdiği gözlemlenmiştir.

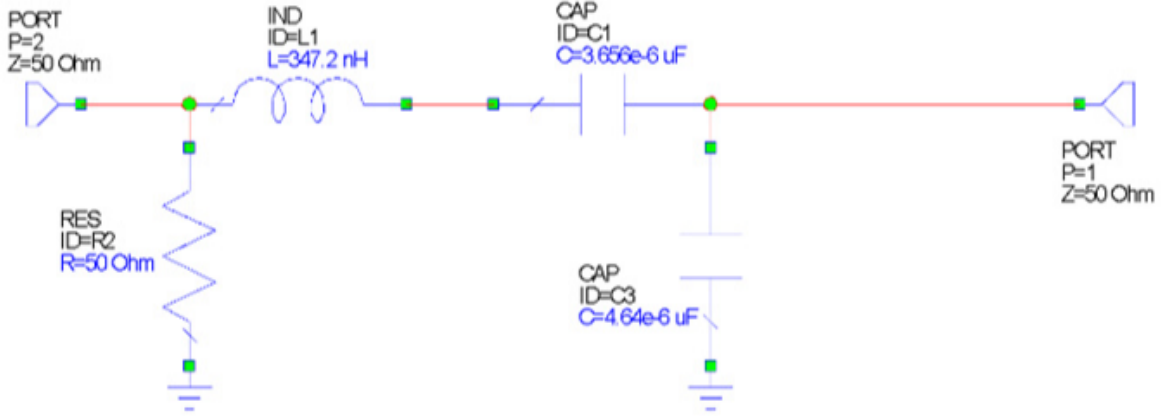
Bu gözlemler doğrultusunda, antenin empedans karakteristiğine uygun şekilde eşdeğer bir devre modeli oluşturulmuştur. Bu eşdeğer devre temel alınarak, anten yerine kullanılabilecek daha kompakt ve uygulanabilir bir kart tasarlanmıştır. Böylece laboratuvar ortamında antenin davranışını taklit edebilen ve test süreçlerinde kolaylık sağlayan bir devre elde edilmiştir.



Şekil 6. Antenin FM bandında S_{11} grafiği (Return loss(S_{11}) values in FM frequency band)

Şekil 6'da sunulan grafik, Şekil 5'teki verileri doğrular niteliktedir. Şekil 5'te, 50 Ω empedans gösterilen bölgede, S_{11} grafiğinde rezonans durumuna geçildiği ve değerin -10 dB'nin altına düştüğü gözlemlenmiştir. Bu durum, antenin rezonans frekansında etkin bir şekilde çalıştığını göstermektedir. Devamında, FM bandı için antenin eşdeğer devresi tasarlanmış ve bir simülasyon programı kullanılarak modellenmiştir. Bu devrede,

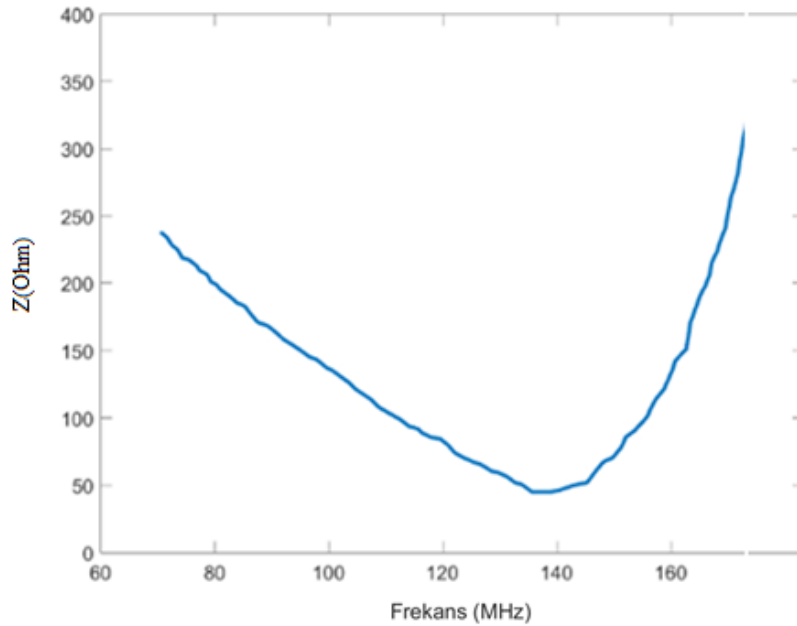
antenin kapasitif karakteristiğini yansıtmak amacıyla hem paralel hem de seri kapasitörlere yer verilmiştir. Ayrıca, devrenin giriş ve çıkış empedanslarının uyumlu hâle getirilmesi için gerekli ayarlamalar yapılmıştır. Bu ayarlamalar, kullanılan ayrı devre elemanlarının değerlerinin optimize edilmesiyle gerçekleştirilmiş ve sistemin standartlara uygun şekilde çalışması sağlanmıştır.



Şekil 7. FM anten eşdeğer devresi (Equivalent circuit for FM band) ($L=347$ nH, $C_1=3.656$ pF, $R=50$, $C_3=4.64$ pF)

Şekil 7’de, antenin eşdeğer devresine ait giriş empedansı grafiği sunulmuştur. Bu grafik, başlangıçta ölçülen anten giriş empedansı ile büyük benzerlik göstermektedir. Bu benzerlik sayesinde,

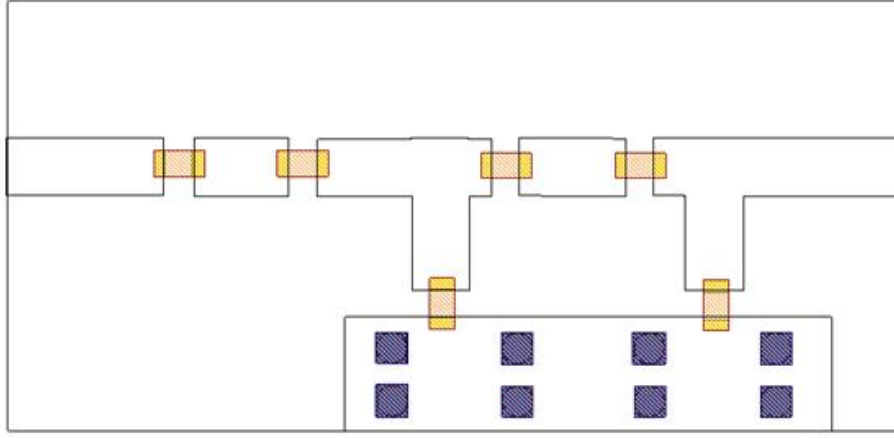
eşdeğer devre, antenin yerine kullanılabilmiş ve yükselticiye kolayca entegre edilebilmiştir. Ayrıca, ölçüm sırasında giriş ve çıkış portlarıyla kolay bağlantı kurulması, hem tasarımı hem de ölçüm sürecini daha pratik ve doğru hâle getirmiştir.



Şekil 8. Eşdeğer devrenin empedans grafiği (Impedance values of equivalent circuit)

Şekil 8’de, antenin FM bandındaki eşdeğer devresi verilmiştir. Tasarım sırasında, antenin 132 MHz frekansında rezonansa girmesi ve FM bandında kapasitif davranış göstermesi dikkate alınarak, empedans değerlerinin birbirine yakın olması amacıyla optimize edilmiştir. Şekil 8’de yer alan FM eşdeğer devresinde, girişte bulunan paralel ve seri kapasitörler, kapasitif etki gösteren antenin karşılığı

olarak devreye dahil edilmiştir. Devrenin en sonunda yer alan paralel bağlı 50 Ω direnç ise empedans uyumlaması amacıyla eklenmiştir. Şekil 7’de, antenin FM bandındaki giriş empedansına göre tasarlanmış bir devre sunulurken; Şekil 8’de bu devreye ait giriş empedans grafiği gösterilmiştir. Bu grafik, Şekil 5’te ölçülmüş olan empedans değerleriyle yüksek uyum göstermektedir.



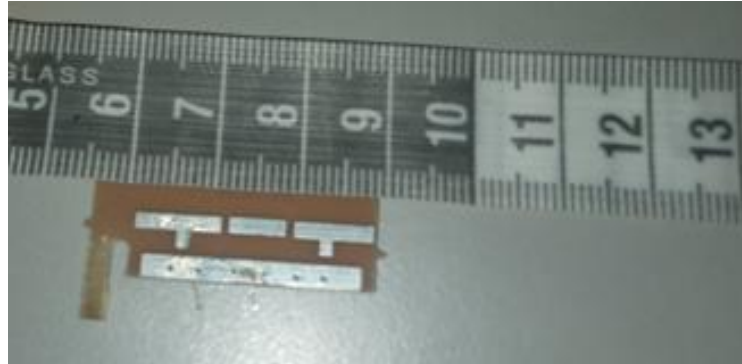
Şekil 9. Eşdeğer devrenin PCB çizim şeması (Schematic of layout of equivalent circuit)

Eşdeğer devrenin gerçekleştirilmesi amacıyla, kart üzerinde sinyal yollarını gösteren iki boyutlu bir çizim yapılmıştır. Bu çizim, Gerber uzantılı dosya formatında çıktı alınarak devre üretimi için kullanılmıştır. Kart tasarımında yollar 1 mm genişliğinde olacak şekilde belirlenmiş ve yüzeye monte edilebilir (SMD) devre elemanlarının yerleştirilebilmesi için 1 mm boşluk bırakılmıştır.

Şekil 9’da mor renk ile gösterilen bölgeler, kartın arka yüzeyine bağlantı sağlayan delikleri ifade etmektedir. Bu delikler aracılığıyla üst yüzeydeki bakır ile alt yüzeydeki bakır tabaka elektriksel olarak birbirine bağlanmakta ve bu sayede kısa

devre sağlanmaktadır. Beyaz renkle gösterilen adalar sinyal hatlarını ve aralarındaki boşlukları tanımlarken, iki renkli parçalar ise yüzeye monte edilebilir devre elemanlarını temsil etmektedir.

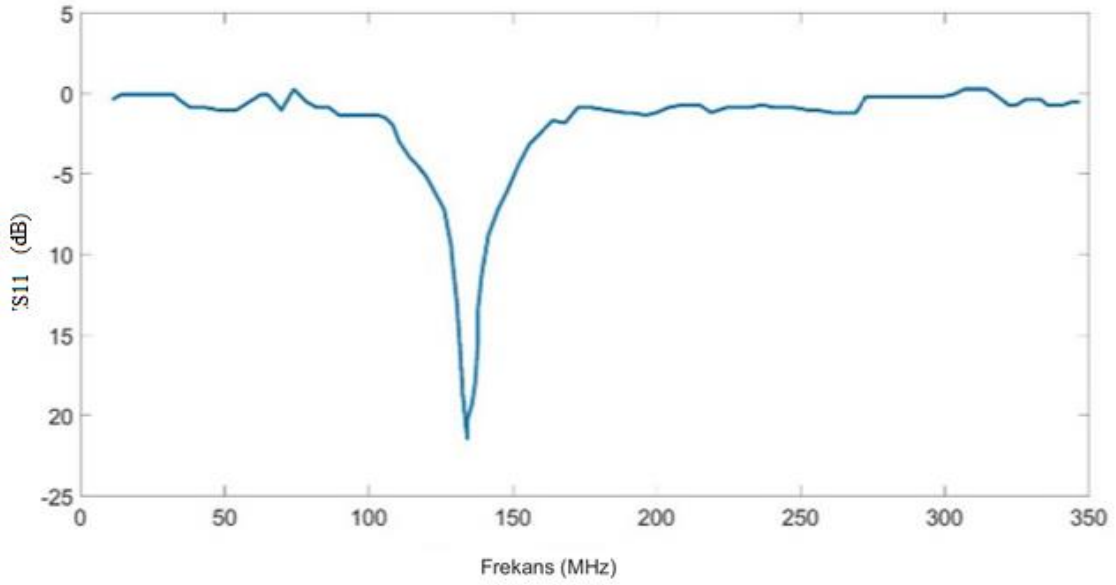
Gerber tasarım dosyası benzetim ortamına aktarılmış ve kart yüzeyi ile birlikte devre elemanları da analiz edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre, devre elemanlarının uygun çalışması sağlanacak şekilde optimizasyon yapılmıştır. Özellikle, elemanlar arası yolların uzunluğu ve kalınlığı ile bu yolların bulunduğu yalıtkan malzemenin dielektrik katsayısı ve kayıp faktörleri, devrenin performansını etkileyen başlıca parametreler olarak dikkate alınmıştır.



Şekil 10. Eşdeğer devre PCB (Realized equivalent circuit)

Şekil 10’da gösterilen eşdeğer devre, üretilmiş devre kartı üzerine dizilerek gerçekleştirilmiştir. Bu uygulamada, kart üzerine yüzey montajlı komponentler lehimlenmiş ve uçlarına SMA

konnektörler bağlanmıştır. Böylece, ağ analizörü cihazı ile saçılma parametreleri kolayca ölçülebilmektedir.



Şekil 11. Gerçekleştirilmiş devrenin S11 grafiği (Return loss(S_{11}) values of realized circuit)

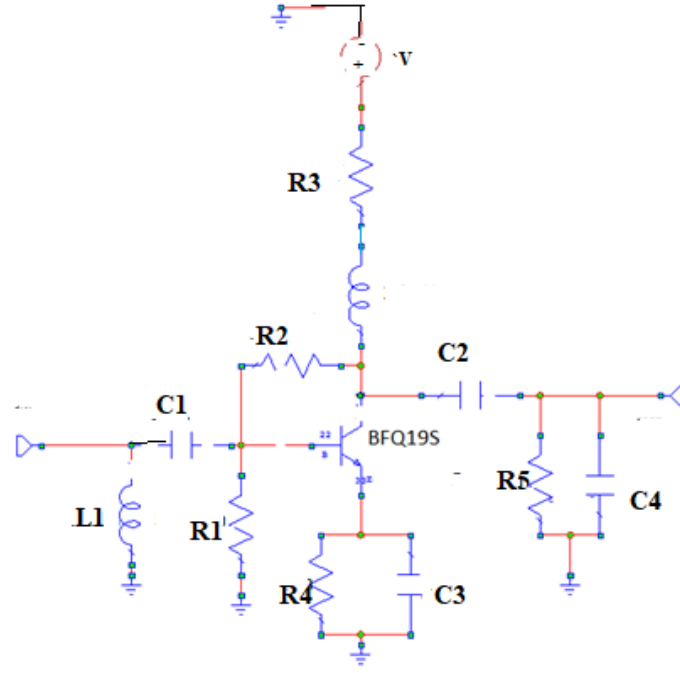
Elde edilen geri dönüş kaybı (S_{11}) değerleri temel alınarak, AM ve FM bandında çalışabilecek şekilde çıkış empedansları mikrodalga teorisi yardımıyla belirlenmiştir. Bu empedans değerlerine uygun olarak yükseltici tasarımına geçilmiştir. Ancak gerçekleştirilen prototip antenin rezonans frekansı, simülasyona kıyasla daha düşük çıkmıştır. Bu farkın temel nedeni, antenin bir taban üzerine monte edilmesidir. Tabanın yüksekliği nedeniyle antenin etkin yüksekliği artmakta ve bu da rezonans frekansını düşürmektedir.

Teorik olarak, tek kutuplu bir antenin çalıştığı frekans, o frekanstaki dalga boyunun dörtte biri kadar uzunlukta olması ile belirlenir. Araç üzerine monte edilen antenin çalışma frekansı hesaplanırken, antenin uç noktası ile monte edildiği tavan yüzeyi arasındaki toplam uzunluk esas alınır. Bu uzunluğa yalnızca antenin fiziksel boyu değil,

aynı zamanda montajda kullanılan ara bağlantı aparatının boyu da dahildir. Söz konusu aparat içerisinde yer alan metal parçalar da iletken özellik gösterdiğinden, toplam anten yapısının ışımaya olan etkisini artırır. Bu nedenle, pratikte anten tasarımı ve montajı sırasında kullanılan tüm bileşenlerin elektromanyetik özellikleri göz önünde bulundurulmalıdır.

2.3. Yükseltici Tasarımı (Amplifier Design)

FM yükseltici devresi de benzer bir şekilde tasarlanmış, BFQ19 transistörü kullanılarak giriş ve çıkış empedans uyumu sağlanmıştır. Besleme devresi ve uyumlamalar yapılarak devrenin kararlılık, kazanç ve gürültü gibi önemli özellikleri incelenmiştir. Şekil 12'deki yükseltici, transistörün giriş ve çıkış empedans uyumu ile tüm devrenin giriş ve çıkış empedans uyumu göz önüne alınarak tasarlanmıştır. Devrenin çıkış empedansı 50Ω 'a uyumlu ve giriş empedansı pasif antenin çıkış empedansına uyumludur.



Şekil 12. FM yükselticinin devre şeması (Circuit schematic of FM amplifier)

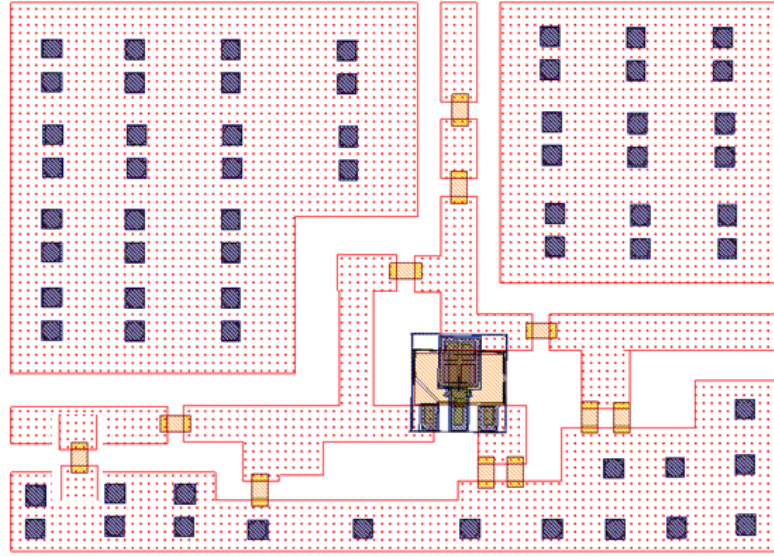
Şekil 12’de FM bandı için BFQ19 transistörü ile bir yükseltici devresi gösterilmiştir. Bu devrede, tasarım işlem sırasına göre ilk adım olarak transistörün çalışmasını sağlayan bir besleme devresi kurulmuştur. Ardından, bu besleme devresiyle giriş ve çıkış empedans değerleri belirlenmiş ve bu değerlere uygun olacak şekilde giriş ve çıkış uyumlama devreleri tasarlanmıştır.

Besleme hattında bulunan bobin, radyo frekans (RF) sinyalinin DC hattına gitmesini engellerken, RF hattındaki kapasitör ise besleme hattının RF hattında dolaşmasını önlemek için kullanılmıştır. Devrenin giriş ve çıkış empedans değerlerine ulaşılrken, kazanç, kararlılık, iç modülasyon ve gürültü gibi kritik parametreler göz önünde bulundurulmuştur. Bu değerlerin belirli sınırlar içinde olması, alınan sinyalin kaliteli bir şekilde iletilmesi için gereklidir.

400 Ω ’luk bir direnç, düşük frekanslarda sistemi kararlı hale getirmek için önemli bir bileşendir. Giriş ve çıkışta bulunan 1 μ F kapasitörler ise, RF

hattından DC sinyalin akmasını engeller. Kapı (gate) ayağına bağlı 2 k Ω direnç, DC sinyali kapı ve toplayıcı (collector) arasında bölüştürerek sistemin kararlılığını artırır. Ayrıca, toplayıcıdan kapıya geri besleme devresi oluşturulduğu için, toplayıcıda istenmeyen frekansların üretilmesini veya soğrulmasını engeller.

35 nH’lik bobin, RF sinyalinin DC hatta karışmasını engeller. Dağıtıcıya (emitter) bağlı olan 5 pF kapasitör ve 5 Ω direnç, düşük frekanslı parazit sinyaller için yüksek empedans sağlar. 5 Ω direnç, üzerinden geçen sinyalin frekansı arttıkça soğurma oranını artırdığı için, yüksek frekanslı sinyaller için yüksek bir direnç cevabı verir ve bu sinyallerin sistemden akmasını engeller. Bu şekilde, paralel bağlı direnç ve kapasitör sayesinde bir bant geçiren filtre yapılmış olur ve çalışma frekansı dışındaki parazitik sinyaller engellenir.

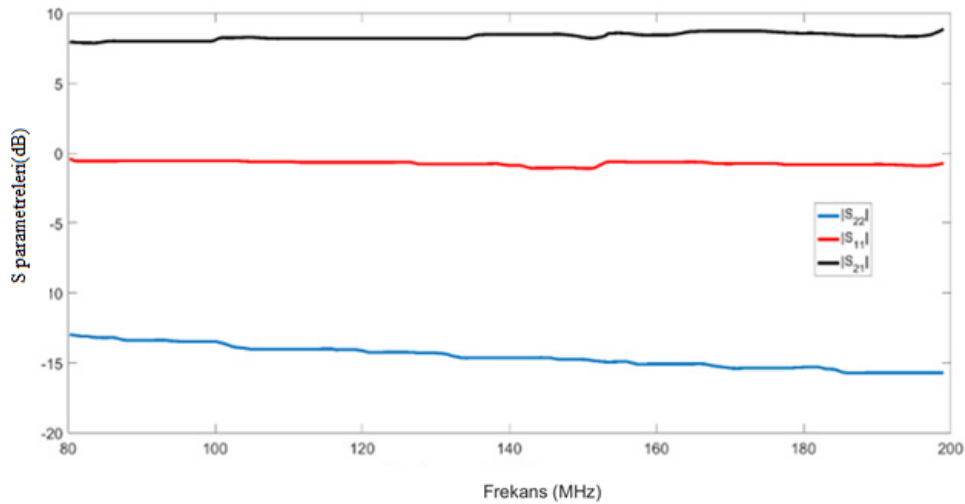


Şekil 13. FM yükselticinin PCB yolu (PCB layout of FM amplifier)

Şekil 13’de tasarlanan yükselticinin elektronik kart üzerindeki hatların çizimi gösterilmiştir. Burada hatlar ve aralarındaki boşluklar bir bütün olarak devreyi etkilediğinden, bu kart ile birlikte benzetim analizi yapılmış ve devre elemanları değerleri tekrar optimize edilmiştir. Şekil 13’de mor kareler, elektronik kartın üzerindeki delikleri temsil etmektedir. Bu delikler sayesinde kartın ön yüzündeki bakır ile arka yüzündeki bakır kısa devreye yapılmıştır. Noktalı pembe yüzeyler, bakır yüzeylerdir. Yüzeylerin arasında bulunan

dikdörtgen parçalar, SMD elektronik komponentlerini gösterir.

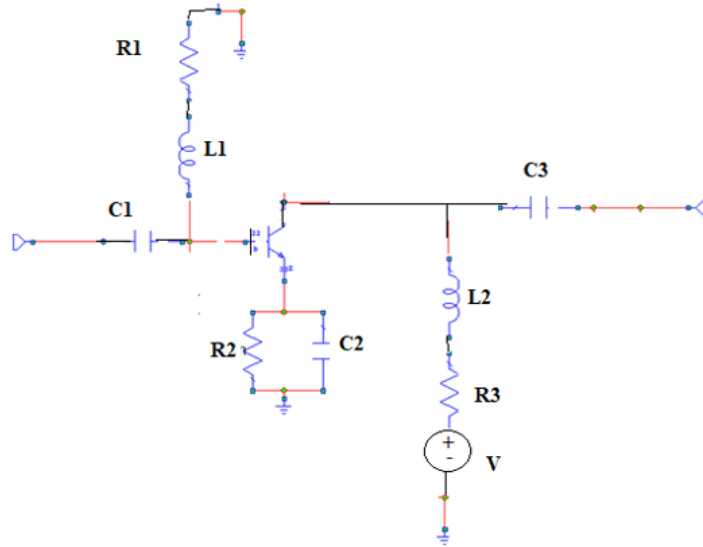
Şekil 14’de verilen saçılma parametreleri ile yükselticinin kazancı ve giriş-çıkış empedans değerleri hakkında yorum yapılabilir. Bu yükseltici araçlarda kullanılacağı için özellikle anten ile alıcı arasındaki kablo kayıplarını azaltmak ve gürültünün etkisini minimize etmek, sinyal gürültü oranını artırmak (SGO) için 8 dB olarak belirlenmiştir.



Şekil 14. Yükselticinin frekansa bağlı kazanç grafiği, giriş ve çıkış geri dönüş kaybı (Gain, input return loss and output return loss versus frequency)

AM bandı için ise NE3509 transistörü kullanılarak benzer bir süreç izlenmiştir. AM bandında anten eşdeğer devresi tamamen kapasitif ve yüksek empedans gösterdiği için seri 4.2 pF kapasitör anten

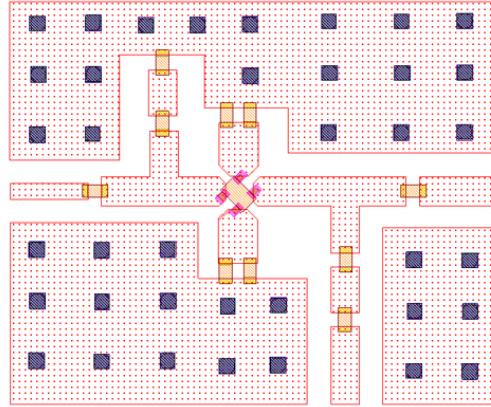
yerine kullanılabilir. Bu eşdeğer devresi ile birlikte tasarlanan AM yükselticinin performansı ölçülmüştür.



Şekil 15. AM yükseltici devresi (AM amplifier circuit) (NE3509)

Şekil 15'teki yükseltici tasarımında MOSFET kullanıldığı için BJT tasarımlarından farklıdır. Besleme sinyali MOSFET'in "Drain" kolundan verilir ve aktif hale gelir. Girişinde basit bir uyumlama devresi bulunmaktadır. MOSFET yükseltici tasarımlarının tercih edilme sebeplerinden birisi, transistörün giriş empedansının yüksek olmasıdır, bu nedenle yüksek empedans gerektiren devrelerde uyumlama yapmak

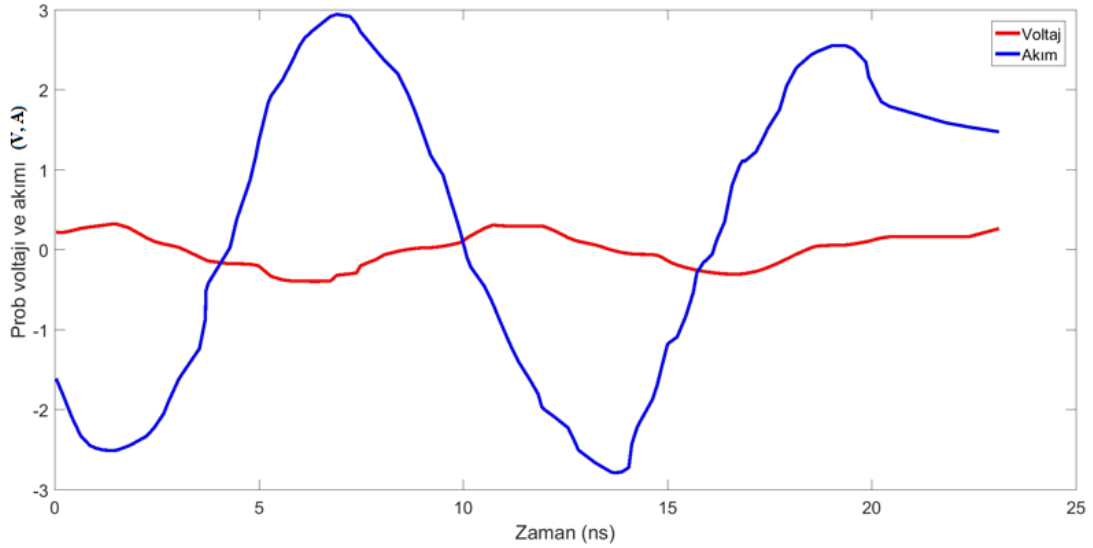
daha kolaydır. R2 ve C2 elemanları, bant geçiren filtre olarak çalıştığından, istenmeyen frekanslardaki sinyallerin oluşmasını engeller. C3 kapasitörü DC engelleme elemanıdır. R1, L1, L2 ve R3 elemanları, RF sinyalinin DC hattına geçmesini engeller ve aynı zamanda uyumlama için uygun bir empedans oluşturmuş olur.



Şekil 16. AM yükseltici PCB planı (Layout of AM amplifier)

Şekil 16'da devresi oluşturulan AM yükselticinin kart çizim planı verilmiştir. Hatlar kaybın az olması için kısa seçilmiştir ve empedans uyumlamada sorun olmaması ve yansımayı engellemek için 50 Ω hatlar kullanılmıştır. Şekil 16'da PCB planı, PCB kartı üzerindeki hatların, boşlukların ve deliklerin yerini göstermektedir. Noktalı pembe yüzeyler

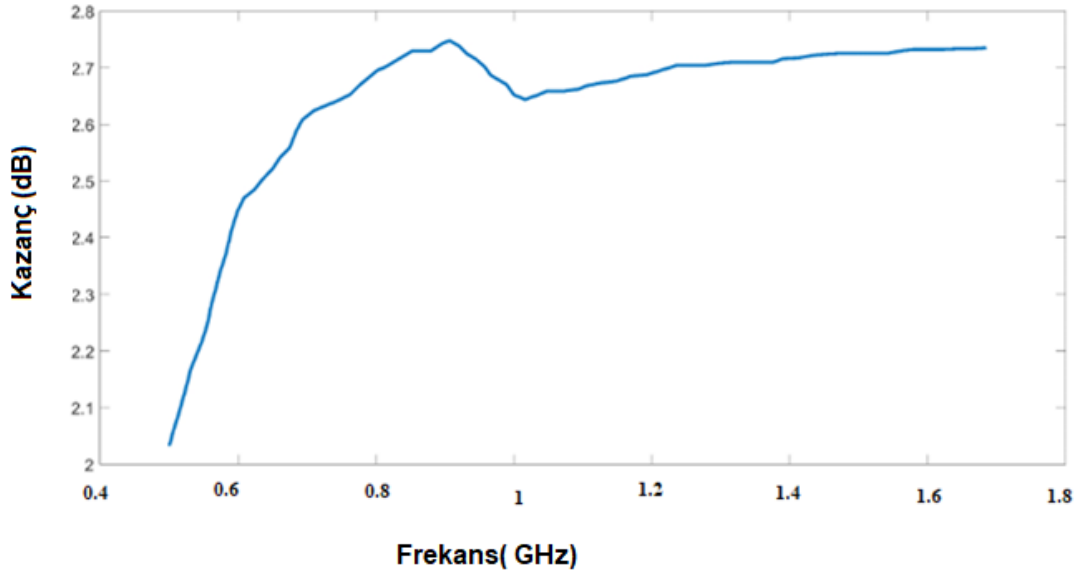
bakır yüzeylerdir. Mor renkteki kare alanlar delik içi kaplama yapılacak yerleri gösterir. Bu delikler, elektronik kartın üst yüzeyi ile arka yüzeyi arasında kısa devre bağlantı sağlar. Boşlukların üzerindeki SMD görselleri, bu boşluklara SMD yerleştirileceğini gösterir. Son olarak, AM/FM amplifikatörünün sonuçlarına değinilmiştir.



Şekil 17. Probe voltaj ve akım değer grafiği (Graph of voltage and current of probe)

Her iki bant boyunca yükselticinin performansı incelenmiş; çıkış voltajı, gürültü değeri ve kararlılık gibi parametreler ölçülmüştür. 6 Volt AC giriş uygulandığında, eşdeğer devre ile yükseltici arasındaki ölçüm değerinin maksimum 3 Volt

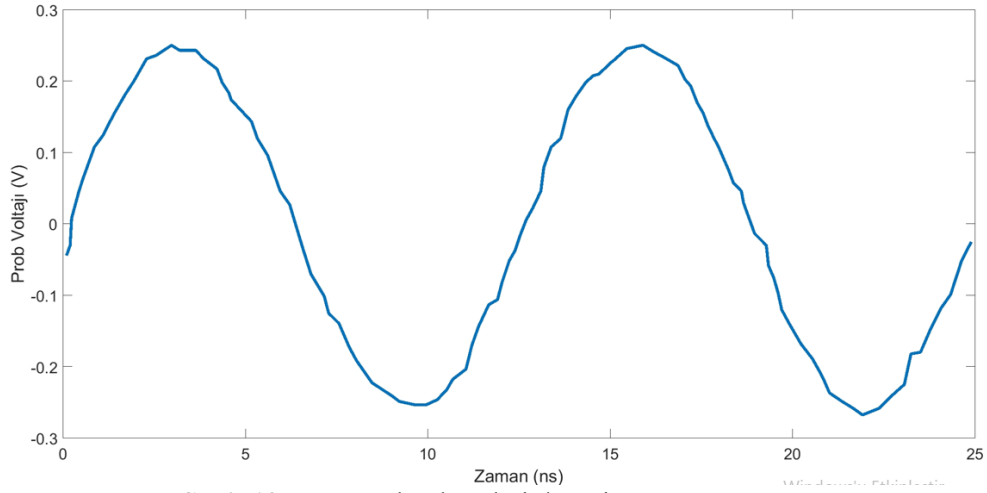
olduğu Şekil 17’den anlaşılmaktadır. Bu durum, eşdeğer devre ile yükselticinin uyumlu olduğunu göstermektedir. boşluklara SMD yerleştirileceğini gösterir. Son olarak, AM/FM amplifikatörünün sonuçlarına değinilmiştir.



Şekil 18. Anten frekansa bağlı kazanç grafiği (Gain versus frequency)

Şekil 18’de, S-parametreleri ile elde edilen AM bandına ait kazanç değerleri gösterilmektedir. Ölçüm sonuçlarına göre, yaklaşık 2,7 dB

civarında bir kazanç elde edildiği anlaşılmaktadır.



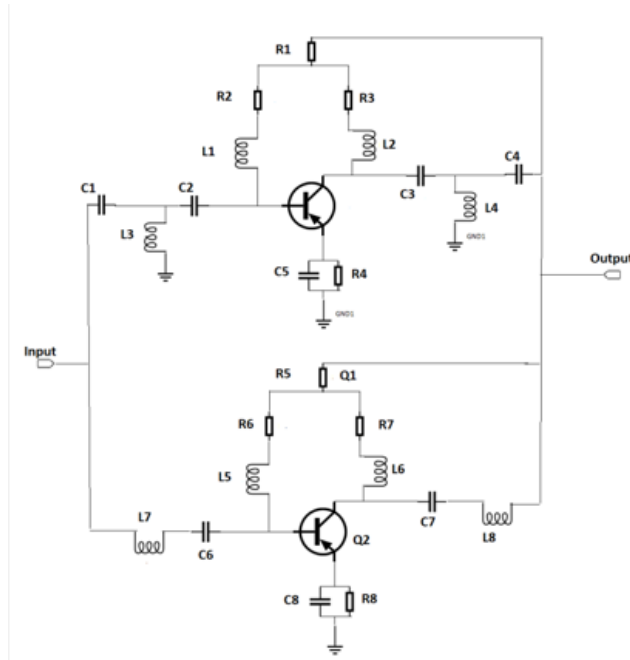
Şekil 19. Zamana bağlı voltaj değeri (Voltage versus time)

Yükselticinin AM bandı kazancını hesaplamak için AM bandına giren ve çıkan sinyal voltaj değerlerinin bilinmesi gerekmektedir. Bu işlemden, yükselticiye anten görevi gören bir eşdeğer devre bağlandığında girişe 0.3 Volt büyüklüğünde bir sinyal uygulanmıştır. Ancak, bu sinyalin bir kısmı eşdeğer devre içinde kaybolacağı için, yükselticinin girişine bir prob bağlanmış ve giren sinyalin voltaj değeri ölçülmüştür. Şekil 19'da görüldüğü gibi, giren sinyalin büyüklüğü 0.3 Volt'tan daha düşük bir değerdir.

AM/FM yükseltici yapısı, AM yükseltici ve FM yükseltici olmak üzere iki kısımdan oluşur.

Yükselteçlerin giriş ve çıkış empedansları, anten çıkış empedansı ve alıcı giriş empedansına uygun şekilde ayarlanmıştır. Her iki yükseltici birbirine bağlanır ve sinyallerin ayrılması filtreler yardımıyla gerçekleştirilmiştir.

Alçak geçiren filtre, AM yükselticinin girişine ve çıkışına bağlanmıştır. Yüksek endüktansa sahip FM sinyalini filtrelemek için ise seri bir indüktör kullanılmıştır. Yüksek geçiş filtresi, FM yükselticinin hem girişine hem de çıkışına bağlanır. Şekilde görüldüğü gibi, AM sinyallerini filtrelemek amacıyla bir şönt indüktör ve seri kapasitör kullanılmıştır.

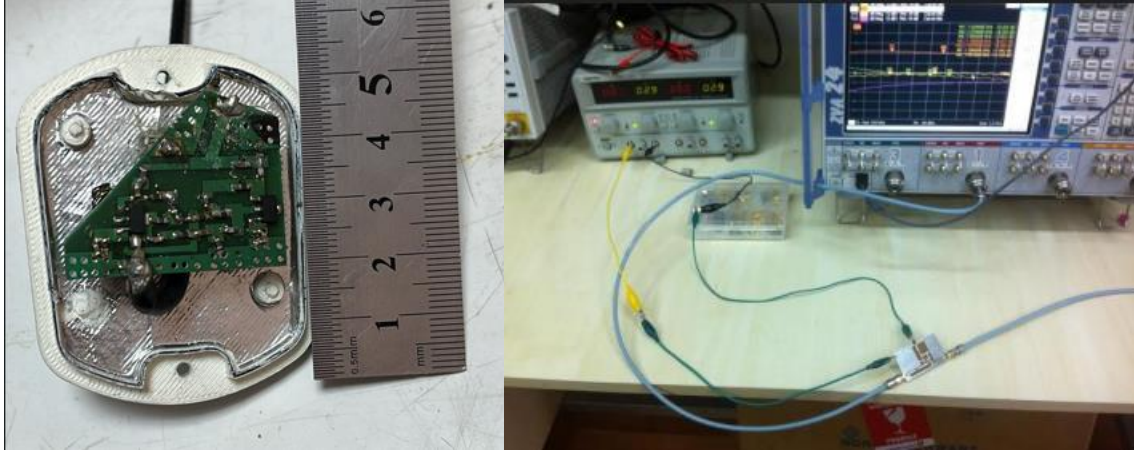


Şekil 20. Gerçekleştirilen yükseltici devre şeması (Schematic of realized amplifier circuit)

Gerçekleştirilen amplifikatör yapısı Şekil 20'de gösterilmiştir. Yükseltici için FM bandı için BFQ19s model BJT tipinde bir transistör ve AM bandı için yüksek empedansdan dolayı MOSFET

kullanılmıştır. Şekil 20’de her iki yükseltici için de BJT tipinde bir transistör kullanılmıştır. Devre hazırlanırken kolaylık sağlaması ve daha doğru sonuçlar elde edilmesi amacıyla bu tercih yapılmıştır. AM kısmındaki giriş bobin değeri çok yüksek olduğu için uyumlama sağlanmıştır. Ağ Analizörü kullanılarak amplifikatörün özelliklerini ölçmek için kart üzerinde her AM ve FM bandı için

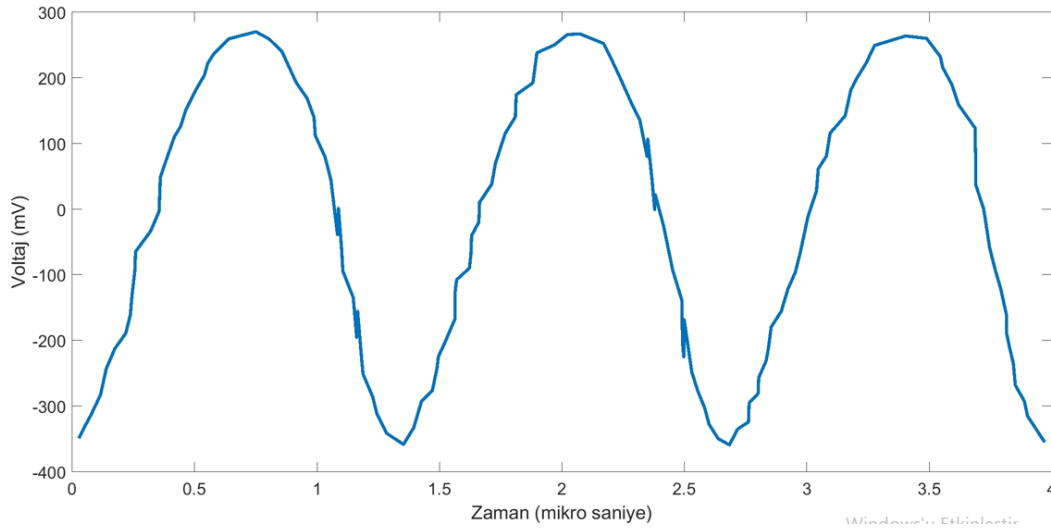
anten eşdeğer devresi ve alıcı eşdeğer devresi gerçekleştirilmiştir. Şekil 20’de yükselticinin gerçekleşmiş hali görülmektedir. Devre yeşil maskelenmiş dielektrik sabiti 4.5 olan FR4 malzemesi üzerine yüzeye montajı yapılan devre elemanlarının lehimlenerek dizilmesiyle oluşturulmuştur.



Şekil 21. Üretilmiş yükseltici devresi (Realized amplifier circuit)

Anten çıkış empedansı ve alıcı empedansı yüksek olduğundan AM amplifikatör giriş ve çıkış

empedansları yüksektir. Yani anten ve alıcı ile eşleştirilmiştir.

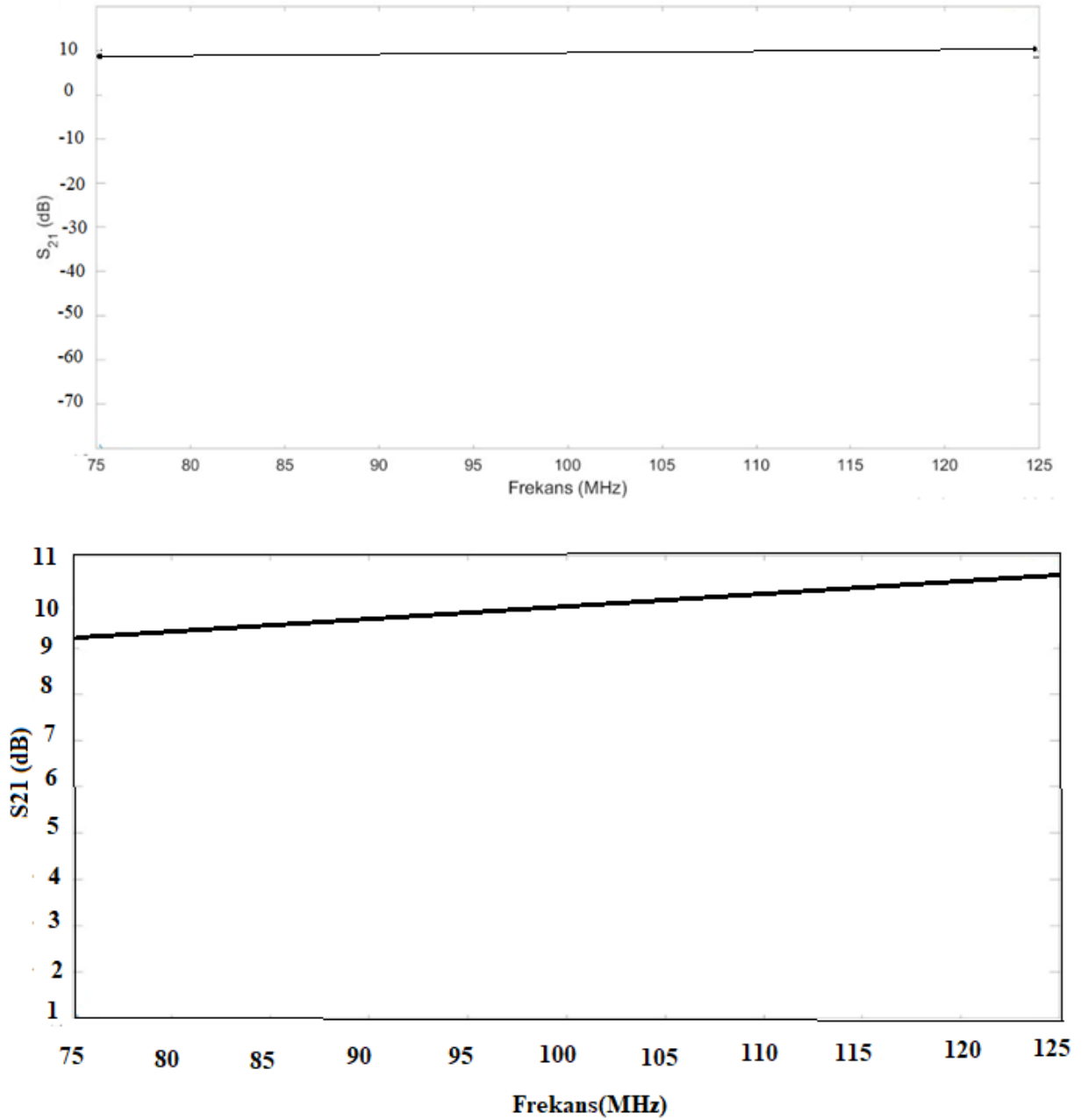


Şekil 22. AM bandında yükselticinin çıkışında okunan voltaj sinyali (Voltage of output of amplifier in AM band)

Çıkış sinyali genliği, amplifikatörün girişi 50 mV tepeden tepeye voltaj olduğunda, Şekil 22’de gösterildiği gibi tepeden tepeye 300 mV’dir. Yani amplifikatörün voltaj kazancı 6’dır.

FM bandı için alıcı giriş empedansı 50 Ω ’dur. Ağ analizör portları 50 Ω olduğundan alıcı eşdeğer

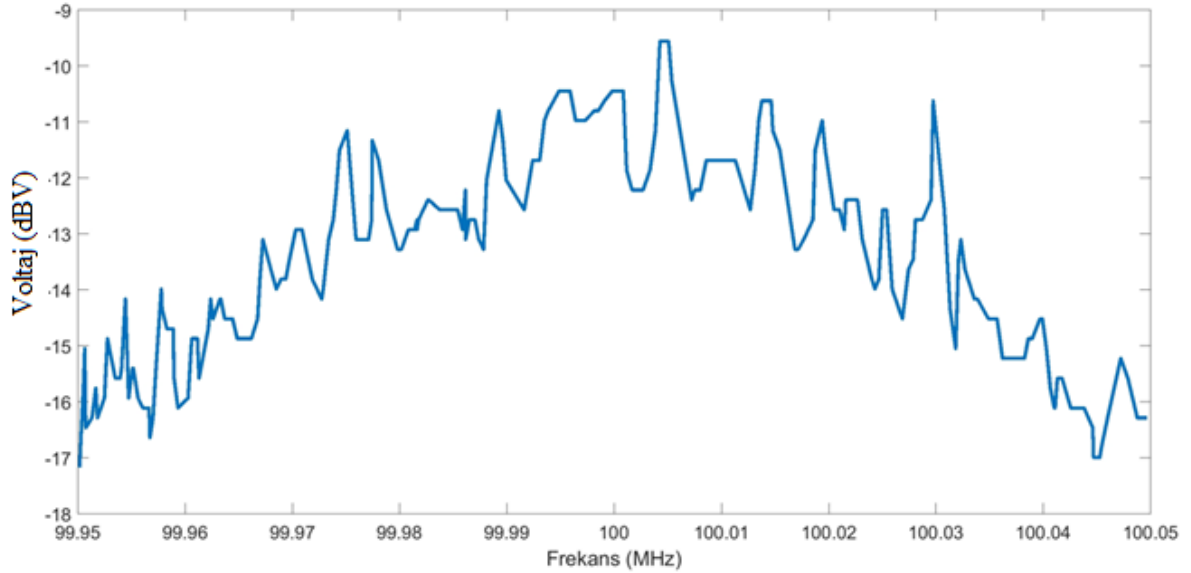
devre yapılmasına gerek kalmamıştır. Yükselticiye anten eşdeğer devresi bağlanmıştır ve yükselticinin FM bandı için saçılma parametreleri ölçülmüştür. Kazanç, Şekil 23’de gösterildiği gibi 9 dB ile 11 dB arasında değişmektedir. Giriş ve çıkış geri dönüş kayıpları -10 dB’in altında çıkmıştır.



Şekil 23. Üretilmiş yükselticinin kazanç grafiği ve detaylı görünümü (Gain of realized amplifier and zoom version)

Yükselticinin çıkış gürültü voltajı değerleri, hem AM hem de FM bandı için yaklaşık -10 dB μ V'dur. Ayrıca, yükselticinin gürültü değeri bir gürültü üretici kullanılarak ölçülmüştür. Y-faktörü hesabına göre, yükselticinin 100 MHz'deki gürültü değeri 1,18 dB olarak belirlenmiştir. Yükselticinin

çıkış gürültü voltajı değerleri, hem AM hem de FM bandı için yaklaşık -10 dB μ V'dur. Ayrıca, yükselticinin gürültü değeri bir gürültü üretici kullanılarak ölçülmüştür. Y-faktörü hesabına göre, yükselticinin 100 MHz'deki gürültü değeri 1,18 dB olarak belirlenmiştir



Şekil 24. Yükseltici çıkış voltajı spektrum analizör gösterimi (Spectrum analyzer screen of output voltage of amplifier)

Şekil 24'te ise yükselticinin çıkışında ölçülen voltaj değeri gösterilmiştir. Bu değer, 100 MHz frekansındaki çıkış gürültüsünü temsil etmektedir. Test sırasında, yükseltici aktif olarak çalışırken çıkışındaki voltaj değeri spektrum analizörü ile ölçülmüştür. Elde edilen bu voltaj değeri, elektronik kartın çıkış gürültüsünü ifade etmektedir.

3. AKTİF ANTEN ÖLÇÜMLERİ VE ÖZGÜNLÜK DEĞERLENDİRMESİ (MEASUREMENT OF ACTIVE ANTENNA AND ORIGINALITY RESEARCH)

Kapalı yansısız bir odada ölçülmek üzere anten hazırlanmıştır. Vericiyi direk görecektir. aralarında 5 metre olacak şekilde yerleştirilmiştir.



Şekil 25. Yansısız oda içerisinde anten ölçümleri alınırken (Active antenna in anechoic chamber)

Şekil 25'te, aktif antenin son hali gösterilmiştir. Burada antenin dışı makaron ile sarılmış ve anten tabanına yerleştirilmiştir. Anten tabanı içerisinde ise tasarladığımız yükseltici bulunmaktadır. Figürde, anten etrafında bulunan mavi süngerler

elektromanyetik soğuruculardır. Anten ölçümleri, bu tür soğurucular ile döşenmiş ve dışarıdan herhangi bir sinyalin içeriye girmesini engelleyen metal yüzey ile kaplanmış yansısız bir oda içerisinde yapılmıştır.

Tablo 1. Literatür karşılaştırma tablosu (List of comparison of samples in the literature)

Referans No	Anten Tipi	Anten Boyutları	Anten Kazancı/Yönlülüğü
12	Çubuk Anten	60 cm	0 dBi Yönlülük
11	Cam üstü	76 cm	-13.7 dBi maksimum kazanç
4	Çubuk Anten	20 cm	-4 dBi yönlülük
3	Çubuk Anten	14 cm	-8 dBi yönlülük
1	Çubuk Anten	14 cm	-6 dBi yönlülük
Bu çalışma	Çubuk Anten	40 cm	Maksimum 1.5 dBi yönlülük ve -13 dBi kazanç

Tablo 1, literatürde bulunan AM/FM radyo sistemleri için yapılmış antenlerin tip, boyut ve kazanç/yönlülük değerlerini göstermektedir. Tabloda belirtilen çubuk antenlerin hepsi, tasarlanan 40 cm boyundaki çubuk antenin boyutundan daha kısa olup, performansları daha düşüktür. Çünkü yönlülük değeri 0 dBi'yi geçmemektedir. Tasarlanan antenin yönlülük değeri ise 1.5 dBi'ye kadar çıkmakta olup, her yöne ışıma yapabilme özelliğine sahiptir. Bu nedenle, alıcıya iletilen sinyal kalitesinin daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

Tabloda bulunan, daha yüksek bir dielektrik malzeme üzerinde olmasına rağmen cam üstü anten, 40 cm'lik çubuk anteni geçememiştir. Maksimum kazanç değerleri birbirine çok yakındır. Aktif antenin yükseltici kısmının yüksek performans göstermesi, çalışmanın özgünlüğüne katkı sağlamıştır. Kazanç değerleri, her bir sistem için kayıpları gidermek amacıyla ayrı ayrı hesaplanmıştır. FM bandı frekansı yüksek olduğu için, özellikle anten ile alıcı arasındaki kayıpları gidermek için kazanç değeri yüksek seçilmiştir.

Aktif anten, araç üzerinde test edilmiş ve alınan sinyalin güç değeri Rigol Spectrum Analizörü ile ölçülmüştür. Test sonuçlarına göre, sinyalin gürültü değeri, orijinal cihaza göre 1 dB kadar daha düşük olduğu gözlemlenmiştir.

SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu makalede, 40 cm uzunluğunda aktif AM/FM anteni sunulmuştur. Sinyal alışı gücü ve verimini iyileştirmek amacıyla, pasif çubuk antenin sonuna bir yükseltici eklenmiştir. Önerilen aktif anten, AM ve FM bantlarında farklı performanslar sergileyen bir sistemdir. Özellikle kazanç ve giriş-çıkış empedans değerleri birbirinden oldukça farklıdır. Bu farklılık, iki sistemin çalışma frekanslarının birbirinden uzak olmasından kaynaklanmaktadır. AM bandı özellikle 1 MHz civarında çalışırken, FM bandı 100 MHz civarında çalışmaktadır. Aralarındaki 100 katlık frekans farkı ve antenin boyutunun kısılması, rezonans frekansının yüksek olmasından dolayı bu fark oldukça belirgindir. Her bir sistemin sinyal güçleri farklıdır, bu nedenle kazanç değerleri de her bir sistem için ayrı ayrı hesaplanmıştır.

Ayrıca, yükselticinin gürültü seviyesi arttığı için bu değer, sinyal-gürültü oranını göz önüne alarak doğru bir şekilde hesaplanmalıdır. İletim sırasında, sinyal frekansı arttıkça kayıplar da artmaktadır. İletim hattında kullanılan yalıtkan malzemenin iç kaybı ve iletim telinin iç direnci nedeniyle kayıplar, frekansla doğru orantılıdır. Bu nedenle FM bandı yüksek frekansa sahip olduğunda, anten ile alıcı arasındaki kayıpların giderilmesi amacıyla kazanç değeri yüksek seçilmiştir.

Aktif anten, araç üzerinde test edilmiştir ve alınan sinyalin güç değeri Rigol Spectrum Analizörü ile ölçülmüştür. Test sonuçlarına göre, sinyalin gürültü değeri, orijinal cihaza göre 1 dB daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Tasarlanan sistemin düşük gürültü değeri, sistemin daha düşük kazanç gereksinimine ve daha az güç tüketen sistemlerde kullanılmasına olanak sağlamaktadır.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENTS)

Çalışmada destek ve yardımlarını esirgemeyen Ünüvar Elektronik A.Ş. Müdürü Ahmet Baydar'a, teknik ekipte bulunan Hata-Analiz Sorumlusu Serkan Kayalı'ya teşekkür ederim. Ünüvar Elektronik A.Ş. ve KOSGEB tarafından bu çalışma desteklenmiştir.

ETİK STANDARTLARIN BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Bu makalenin yazarı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

The author of this article declares that the materials and methods they use in their work do not require ethical committee approval and/or legal-specific permission.

YAZARLARIN KATKILARI (AUTHORS' CONTRIBUTIONS)

Olca Yiğit: Deneyleri yapmış, sonuçlarını analiz etmiş ve maklenin yazım işlemini gerçekleştirmiştir. / He conducted the experiments, analyzed the results and performed the writing process.

ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

There is no conflict of interest in this study.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] L. Reiter, A. Böge, A. Negut and S. Lindenmeier, "A new low-cost active rod antenna for automotive reception of all terrestrial audio broadcast services," The 8th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP 2014), The Hague, Netherlands, 2014, pp. 2981-2984, doi: 10.1109/EuCAP.2014.6902454..
- [2] A. Sakitani, "Comments on "A design of AM/FM mobile telephone tri-band antenna" [with reply]," in IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 43, no. 5, pp. 544-545, May 1995, doi: 10.1109/8.384204.
- [3] R. Iustin, R. Petersson and J. Wettergren, "A Triband Wire Antenna for All Radio and TV bands," 2020 14th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP), Copenhagen, Denmark, 2020, pp. 1-5, doi: 10.23919/EuCAP48036.2020.9135651.
- [4] J. J. H. Wang, D. J. Triplett and S. C. Workman, "Miniaturized planar slow-wave antennas and their application to ultrawideband multifunction antennas," 2011 4th IEEE International Symposium on Microwave, Antenna, Propagation and EMC Technologies for Wireless Communications, Beijing, China, 2011, pp. 733-736, doi: 10.1109/MAPE.2011.6156260.
- [5] O. J. Sather, "Construction of the WOR Transmitter and Directional Antenna System," in IEEE Transactions on Broadcasting, vol. BC-15, no. 3, pp. 65-77, Sept. 1969, doi: 10.1109/TBC.1969.265988.
- [6] M. Wechsberg and D. E. Snyder, "AM/FM noise in fiber optic links for radar antenna remoting," Proceedings of IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium, Ann Arbor, MI, USA, 1993, pp. 1534-1537 vol.3, doi: 10.1109/APS.1993.385488.
- [7] C. Rostamzadeh, P. DeRoy, A. Barchanski and B. Abdolali, "Investigation of electromagnetic field coupling from DC-DC buck converters to automobile AM/FM antennas," 2016 IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility (EMC), Ottawa, ON, Canada, 2016, pp. 364-369, doi: 10.1109/ISEMC.2016.7571674
- [8] H. Lindenmeier, J. Hopf and L. Reiter, "Active AM-FM windshield antenna with equivalent performance to the whip now as standard equipment in car production," 1985 Antennas and Propagation Society International Symposium, Vancouver, BC, Canada, 1985, pp. 621-624, doi: 10.1109/APS.1985.1149458.
- [9] S. Egashira, T. Tanaka and A. Sakitani, "A design of AM/FM mobile telephone tri-band antenna," in IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 42, no. 4, pp. 538-540, April 1994, doi: 10.1109/8.286224.
- [10] T. Tanaka, S. Egashira and A. Sakitani, "AM-FM-cellular mobile telephone tri-band antenna with double sleeves," Antennas and Propagation Society Symposium 1991 Digest, London, ON, Canada, 1991, pp. 958-961 vol.2, doi: 10.1109/APS.1991.175003.
- [11] J. M. F. F. Chowdhury, Y. -K. Hong, H. Won, W. Lee and M. Choi, "A Glass-Integrated Ferrite FM Antenna for Vehicle Telematics," 2019 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation and USNC-URSI

- Radio Science Meeting, Atlanta, GA, USA, 2019, pp. 921-922, doi: 10.1109/APUSNCURSINRSM.2019.8889229.
- [12] R. Iustin, R. Petersson and J. Wettergren, "A Triband Wire Antenna for All Radio and TV bands," 2020 14th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP), Copenhagen, Denmark, 2020, pp. 1-5, doi: 10.23919/EuCAP48036.2020.9135651.
- [13] B. Seungbok, K. Sangpil, H. Choulhee, K. Heeyoung and K. yoongi, "Design of a V2X Vehicle Antenna," 2018 International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP), Busan, Korea (South), 2018, pp. 1-2.
- [14] H. -S. Tae, W. -I. Son, M. -Q. Lee, S. -B. Min and J. -W. Yu, "Printed square quadirifilar helix antenna (QHA) for XM Satellite Radio receiver," The 40th European Microwave Conference, Paris, France, 2010, pp. 1469-1471, doi: 10.23919/EUMC.2010.5616513.
- [15] M. Rütchlin and D. Tallini, "Simulation for antenna design and placement in vehicles," Antennas, Propagation & RF Technology for Transport and Autonomous Platforms 2017, Birmingham, 2017, pp. 1-5, doi: 10.1049/ic.2017.0021.