

PLAKA TANIMA SİSTEMİNE SAHİP RADAR İÇİN DÜŞÜK GÜRÜLTÜLÜ YÜKSELTİCİ TASARIMI

*¹İbrahim Ethem Yılmaz ve ²Mustafa Yılmaz

*¹Elektronik Haberleşme Mühendisi, Karabük, Türkiye.

²TOBB Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Karabük Üniversitesi, Türkiye.

Özet

Yoğun araç trafiğinin meydana getirdiği problemlerin önlenmesi için trafik kurallarının yanında hız ölçümü yapılarak limitler dışında hız yapanların tespit edilmesi, can ve mal güvenliğinin sağlanması için büyük önem kazanmıştır. Araçların sadece hızlarını ölçebilen klasik radarlara plaka tanıma sisteminin eklenmesi ile güvenlik güçlerinin işleri daha da kolaylaşmıştır. Yeni nesil radarlar, hareketli araçlardan yansıyan elektromanyetik sinyallerin Doppler etkisine maruz kalması ile frekansında meydana gelen değişimleri kullanarak, hız limitini aşanların, görüntü işleme tekniği ile plakalarını belirleyebilmektedir.

Radardaki osilatörde üretilen dalga ve gönderilen sinyalin araçtan yansyarak alıcı antene gelen kısmının, karşılaştırma yaparak hız ölçümü için yetersiz şiddette olmasından dolayı güçlendirme işlemi yapılması gerekmektedir. Bu çalışmada, gönderilen ve alınan sinyallerin kuvvetlendirilmesi için kullanılacak olan düşük gürültülü kuvvetlendirici tasarımı yapılmıştır. Tasarlanan düşük gürültülü kuvvetlendirici (low noise amplifier (LNA)) ile zayıf sinyal güçlendirilirken gürültü etkisinin en aza indirilmesi sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Radar, Doppler etkisi, LNA.

Abstract

In order to prevent the problems caused by heavy vehicle traffic, besides the traffic rules, it has gained great importance for the determination of the speeders by making speed measurements and providing the safety of life and property. With the addition of license plate recognition system to the conventional radars that can only measure the speed of the vehicles, the security forces' work has become easier. New generation radars are able to determine the plates of those exceeding the speed limit by the image processing technique by using the changes in frequency due to the Doppler effect of the electromagnetic signals reflected from the moving vehicles.

Amplification is required because the wave generated in the radar oscillator and the part of the signal transmitted from the vehicle to the receiving antenna is inadequate for speed measurement by comparison. In this study, a low noise amplifier design is used which will be used to amplify the transmitted and received signals. The low noise amplifier (LNA) is designed to amplify the weak signal while minimizing noise.

Key Words: Radar, Doppler effect, LNA.

1. Giriş

Radar (Radio Detection and Ranging), mikrodalga teknolojisinin ilk uygulamalarından biri olmakla birlikte yaygın kullanımı 2. Dünya Savaşı'nda etkili olarak görülmüştür. Çalışmasındaki temel ilke; verici anten aracılığı ile gönderilen elektromanyetik (EM) dalga, hızı ölçülmek istenen

*Corresponding author: Address: TOBB Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Karabük Üniversitesi, Türkiye. E-mail address: mustafayilmaz@karabuk.edu.tr, Phone: +903704187202

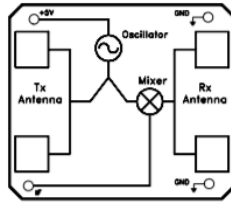
uzaktaki nesneye çarparak geri yansıdığında radar üzerindeki çok hassas alıcı anten tarafından algılanır. Geniş olmayan bir hüzmeye kullanıldığında, hedefin yönü de alıcı antenin açısal pozisyonu ayarlanarak doğru bir şekilde bulunabilir. Hedefin uzaklığı, gönderilen darbe sinyalinin hedefe varıp geri dönmesi için geçen zaman hesaplanarak belirlenir. Hedefin radyal hızı geri dönen sinyalin Doppler kayması ile doğrudan ilişkilidir. Radarlar düşman uçak ve füzelerini tespit eden hava savunma radarları, sahil güvenlik faaliyetlerinde kullanılan deniz radarları, trafik polislerinin kullandığı hız radarları ve yağmur, dolu, kar taneciklerini, yoğunlaşma çekirdeklerini, bulutları, buz parçacıklarını algılayan meteorolojik radarlar olmak üzere pek çok alanda kullanılmaktadırlar [1]. Bu çalışmada LNA tasarımı yapılan Doppler radarlar, modüle edilmemiş sürekli dalga işareti göndererek yansıyan sinyalin, Doppler etkisi ile frekansında gözlemlenen değişimi kullanarak nesnelerin hızları hakkında bilgi verirler. Kullanım alanları genellikle trafikte araç gözetim radarı veya değişik uygulamalarda hareket algılayıcısı olarak kullanılmalarıdır [2].

1.1. Doppler Radar

Doppler kayması, dalga özelliği gösteren herhangi bir fiziksel varlığın frekans ve dalga boyunun hareketli bir gözlemci tarafından farklı zaman veya konumlarda farklı algılanmasına denir. Radar anteninden hedefe doğru giden veya uzaklaşan bir elektromanyetik dalganın Doppler kayması cismin hız, frekans ve antene göre açı bilgisiyle elde edilebilir, aşağıdaki eşitlikte Doppler kaymasının formülasyonu gösterilmiştir [3].

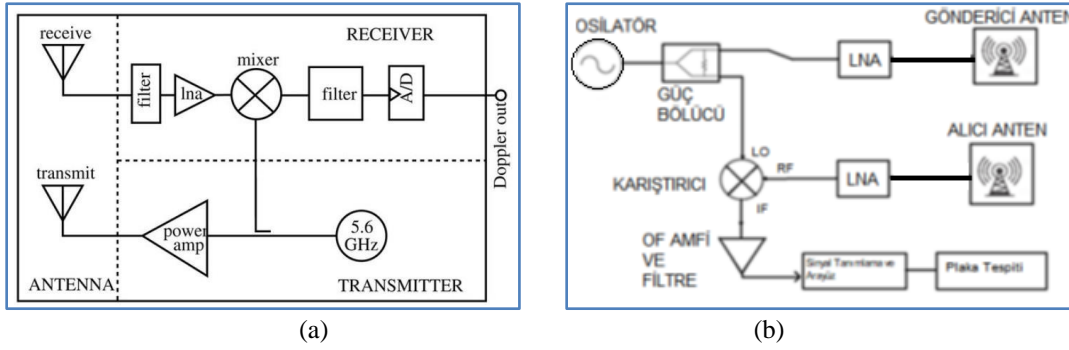
$$f_d = \frac{2vf_0}{c} \cos \alpha$$

Doppler radar sistemleri oluşturulurken çeşitli topolojiler kullanılmaktadır. Bu sistemlerden en yaygın ve temel olanı Şekil 1’de gösterilen yapıdır [4]. Piyasada satılmakta olan Doppler sensörlerin içeriğinde bu topoloji görülmektedir [5,6].



Şekil 1. HB100 radar sensörü blok diyagramı.

Bu topoloji genellikle yakın mesafe uygulamalar için kullanılmakta olup, mesafenin ve hassasiyetin daha önemli bir unsur olduğu uygulamalarda, verici antenden önce güç kuvvetlendiricisi ve alıcı antenden hemen sonra düşük gürültülü kuvvetlendirici kullanılmaktadır. Şekil 2a’da örnek bir uygulamaya ait blok şema gösterilmektedir [7]. Uygulama çalışmasında Şekil 2a’daki blok şema baz alınarak oluşturulan; osilatör, güç bölücü, düşük gürültülü kuvvetlendirici, alçak geçiren filtre, anten, karıştırıcı (mikser) ve orta frekans kuvvetlendirici-filtre elemanlarından oluşan bir sistem oluşturulmuştur. Oluşturulan sistemin blok şeması Şekil 2b’de verilmiştir.



Şekil 2. a) Örnek bir Doppler radar blok diyagramı b) tasarlanan sistemin blok şeması.

1.2. Düşük Gürültülü Kuvvetlendirici

Düşük gürültülü kuvvetlendiriciler RF devrelerde, antenden alınan sinyale ilk etki eden elemanlardan birisi olması dolayısıyla büyük bir önem arz etmektedirler. Doppler radar devresinde de bu şekilde bir etkiye sahip olması elemanın önemini arttırmaktadır. Doppler radar devrelerinde gönderici antene iletilecek sinyale düşük gürültü ekleyerek, alıcı antenden gelen sinyale de aynı şekilde bir etki yaparak sinyallerde kuvvetlendirmeyi diğer kuvvetlendiricilere nazaran çok daha az gürültüyü sinyale bindirerek sağlamaktadır. Düşük gürültülü kuvvetlendiricilerin en kilit özelliği bu olduğundan genelde bu amaca yönelik kullanılırlar. Doppler radar devresinde bu amaca hizmet etmesi için düşük gürültülü kuvvetlendirici devresi tasarımı tercih edilmiştir.

2. Düşük Gürültülü Kuvvetlendirici Tasarımı

Günümüzde kablosuz tasarımlar; gürültü, eşleme ve sinyal algılaması gibi problemleri aşmak zorundadır. Bu RFIC tasarımcıları için yeni bir zorluktur. Durum böyle olunca düşük gürültülü kuvvetlendirici devrelerinin önemi artmıştır. Temel olarak LNA'lar genellikle sinyallerin zorlukla algılanabildiği ve herhangi bir gürültü ekmeden yükseltilmesi gereken çok düşük güçlü sinyalleri yükseltmek için kullanılan elektronik bir amplifikatördür. Tercih edilme nedenlerinden biri gürültüsünün düşük olması olan bir düşük gürültülü kuvvetlendiricide aranan diğer önemli özellik de kazancının yüksek olmasıdır. Düşük gürültülü kuvvetlendirici için önemli olan diğer parametrelerde lineerlik, kararlılık ve düşük güç tüketimi olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu nedenlerden dolayı kablosuz iletişimde yaygın olarak kullanılır. Düşük gürültülü kuvvetlendiricinin tasarımı için izlenen adımlardan ilki kuvvetlendirme için kullanılan aktif eleman olan transistörün seçimidir. Ardından giriş ve çıkış eşleme devrelerinin tasarımı yapılmıştır. Son olarak transistör için gerekli besleme devresi tasarlanmıştır.

Düşük gürültülü kuvvetlendirici tasarımında uygulanan adımlar bazı parametrelere göre şekillenmiştir. Bu parametreler gürültü figürü, lineerlik, kazanç ve geri dönüş kaybıdır. İletim hatlarının hesaplanmasında ise aşağıdaki bağıntılardan ve AWR program eklentisi olan TXline' dan yararlanılır. Hesaplamalarda kullanılan parametreler; $Z_0 = 50\Omega$ ve 70.71Ω , Dielektrik sabiti (ϵ_r)=4.3, Taban kalınlığı (d)=1.3mm olarak alınmıştır.

$$\frac{W}{d} = \begin{cases} \frac{8e^A}{e^{2A} - 2} & , \frac{W}{d} < 2 \text{ için} \\ \frac{2}{\pi} \left[B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} \left(\ln(B - 1) + 0.39 - \frac{0.61}{\epsilon_r} \right) \right] & , \frac{W}{d} > 2 \text{ için} \end{cases}$$

$$A = \frac{Z_0}{60} \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}} + \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1} \left(0.23 + \frac{0.11}{\epsilon_r} \right)$$

$$B = \frac{377\pi}{2Z_0\sqrt{\epsilon_r}}$$

3. Materyal ve Metot

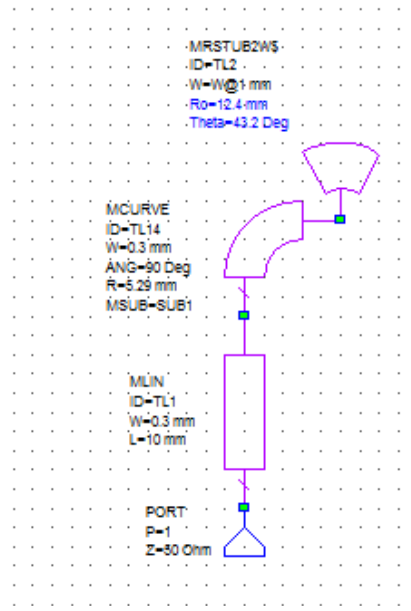
İlk olarak tasarım yapılmadan önce iletim hatlarının tasarlanacağı materyal olan FR4 belirlenmiştir. Materyalin özellikleri şu şekildedir: Dielektrik sabiti(ϵ): 4,3, Dielektrik tabaka kalınlığı: 1,6 mm, İletken yüzey kalınlığı: 0.035 mm Kayıp tanjant: 0.01.

3.1. Devre için kullanılacak transistörün seçilmesi

Transistörün seçimini yapmak için AWR benzetim programında farklı tipte ve farklı marka ve modellerde transistörlerde inceleme yapıldı. Datasheet'leri incelendi frekans aralıklarına bakıldı ve bazı transistörler üzerinde karar kılındı ancak bunun sonrasında kimi elemanlar artık üretilmediğinden ve piyasada bulunamayacağı endişesiyle elenmek durumunda kaldı. Yukarıda bahsedilen ve LNA için kritik olan parametrelerinde ışığında transistör olarak ATF-54143 seçildi ve AWR programında modelleri üstünde denemeler yapıldı. Yapılan denemeler sonucunda elde edilen ve bildirinin sonuç kısmında da verilen grafikler incelendiğinde transistörün çalışma frekansımız olan 2,4 GHz değerinde NF değeri yaklaşık olarak 1.1dB olmaktadır ki bu değer LNA için 3' ün altında olması beklenir bu sebeple yeterli bir değerdir. Transistörün kazanç grafiğinde görüldüğü üzere 2,4 GHz de kazanç 6dB' dir. Transistör istenilen frekansta kazanç sağlamaktadır, ancak bu kazancın daha yukarı çekilmesi için gerekli uydurma devreleri ileri ki adımlarda anlatılacaktır. Geri dönüş kaybı da 2,4 GHz de S_{11} için -4.35dB ve S_{22} için -17.3dB olarak karşımıza çıkmaktadır.

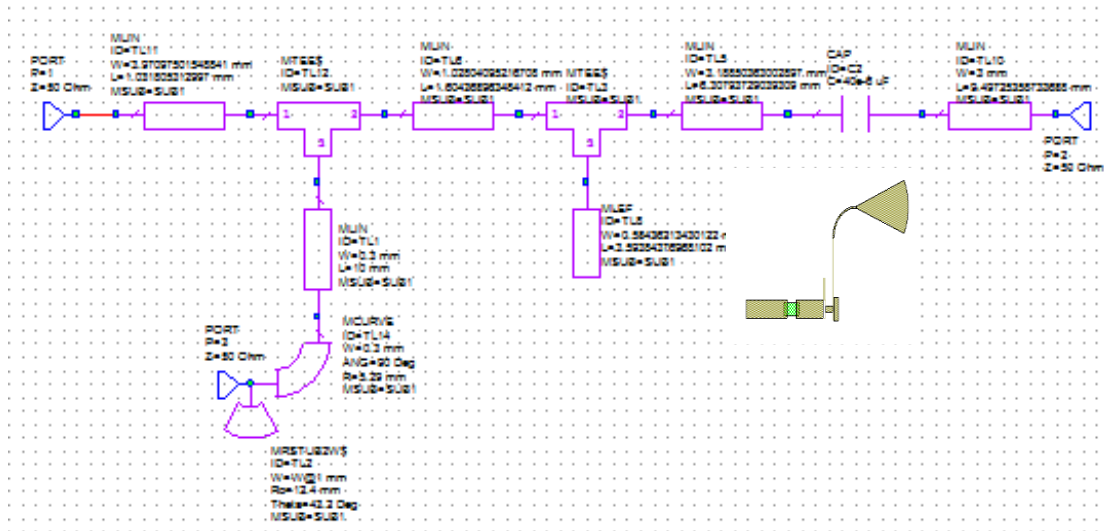
3.2. Giriş ve çıkış eşleştirme devrelerinin tasarlanması

İlk olarak eşlemede sinyalin girdiği ve çıktığı yerlerdeki iletim hatları ilgili frekansta 50 Ω olmalıdır, yukarıda bahsedilen formüller kullanılarak ve AWR program eklentisi olan "TXLine" dan yararlanılarak yapıldı. Ardından DC beslemeyi ayarlamak için aşağıdaki choke tasarlandı ve bağlandı. AWR benzetim programında tasarlanan Choke devresi Şekil 3'da verilmiştir.

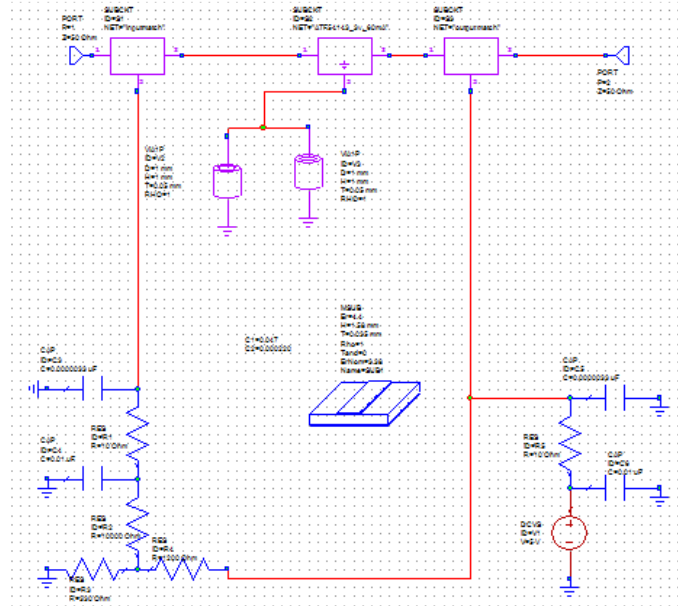


Şekil 3. AWR benzetim programında tasarlanan Choke devresi.

Ardından transistöre gidildikçe iletim hattı üçlü jonksiyon, açık devre sonlandırma, kapasite (kapasite DC beslemeyle sinyali ayırt etmek için kullanılır), son olarak iletim hattı ve transistör şeklinde en optimize halde eşleştirme yapılmaya çalışıldı. İletim hattı boyları optimizasyonla belirlendi ve istenen parametrelere en yakın hale getirildi. Aşağıdaki Şekil 4 ve Şekil 5’de giriş ve çıkış eşleme devreleri ve serim görüntüleri yer almaktadır.



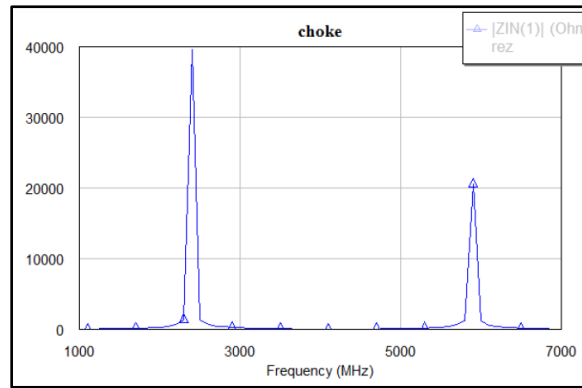
Şekil 4. AWR benzetim programında tasarlanan çıkış eşleme devresi ve serim görüntüsü.



Şekil 7. AWR benzetim programında tasarlanan devre kısımlarının birleştirilmiş olan genel devre şeması.

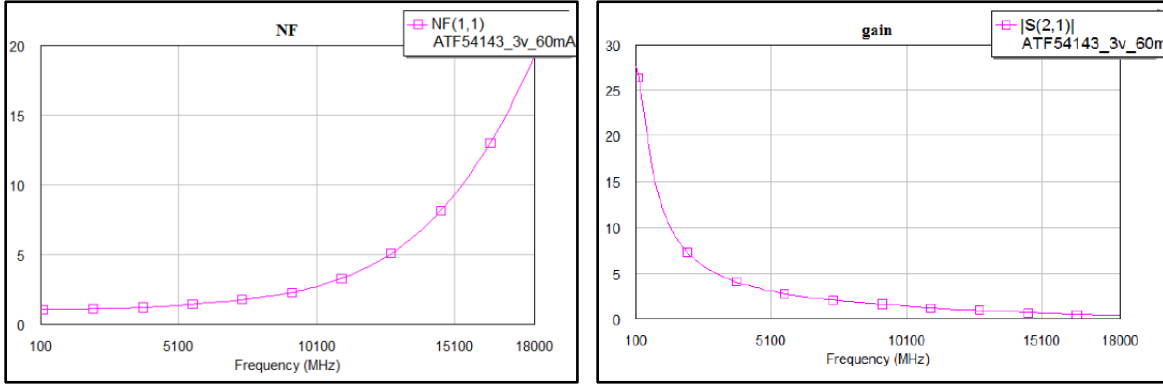
4. Sonuçlar

AWR programında benzetimi gerçekleştirilen ve 2,4 GHz’de yüksek direnç oluşturan choke elemanının çalıştığında alınan sonuç Şekil 8’de verilmiştir.



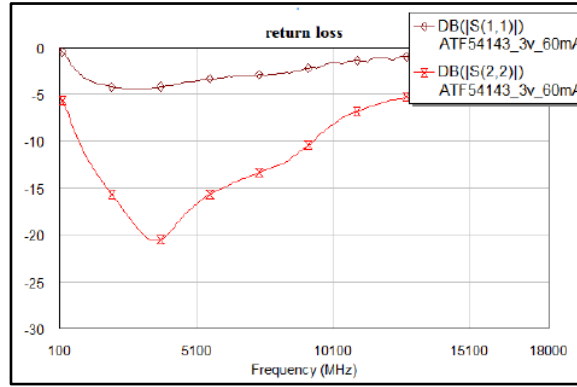
Şekil 8. Choke elemanı empedansı.

Kullanılan transistörün frekansa göre gürültü ve kazanç parametreleri Şekil 9’da gösterilmiştir.



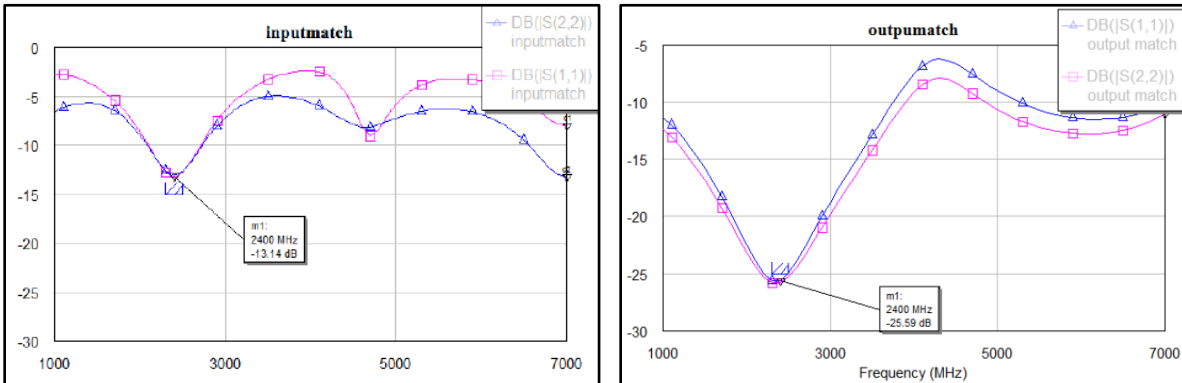
Şekil 9. ATF 54143 frekans -gürültü figürü (AWR) ve frekans-kazanç eğrisi (AWR).

Kullanılan transistörün frekansa göre geri dönüş kaybı eğrisi Şekil 10’da verilmiştir.



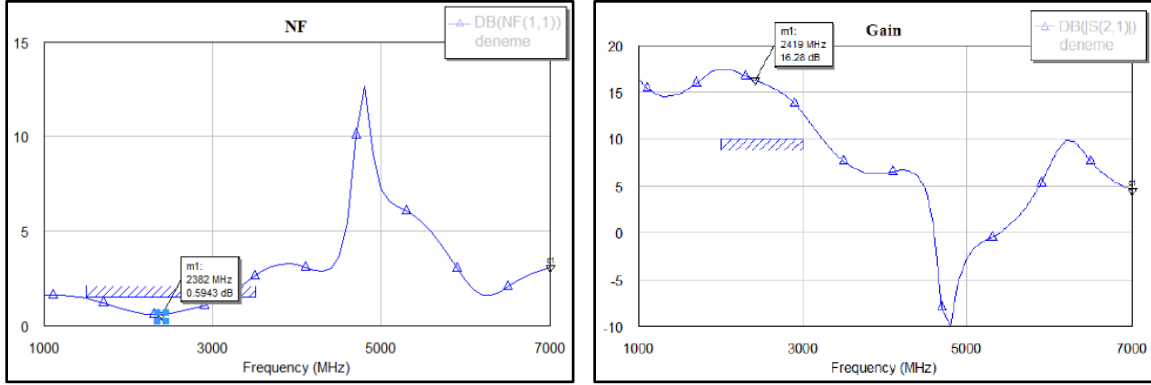
Şekil 10. ATF 54143 frekans-geri dönüş kaybı eğrisi (AWR).

Giriş ve çıkış eşleme devresi geri dönüş kaybı parametreleri S_{11} ve S_{22} aşağıdaki Şekil 11’de gösterilmiştir.



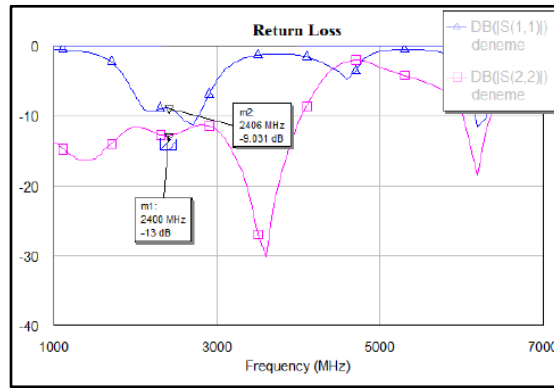
Şekil 11. Tasarlanan giriş ve çıkış eşleme devresi frekans- geri dönüş kaybı eğrisi (AWR).

Devrenin son halinin gürültü figürü değerleri ve frekans-kazanç eğrisi Şekil 12’de verilmiştir.



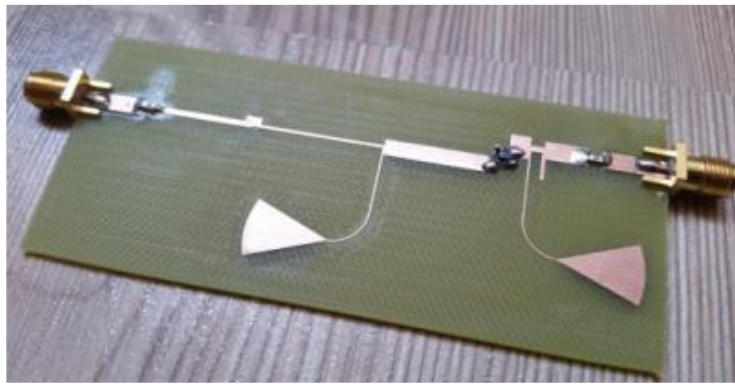
Şekil 12. Devre genel topolojisi için frekans-gürültü figürü eğrisi (AWR) ve frekans- kazanç eğrisi (AWR).

Devrenin son halinin geri dönüş kaybı eğrisi Şekil 13’te verilmiştir.



Şekil 13. Devre genel topolojisi için frekans- geri dönüş kaybı eğrisi (AWR).

Gerçekleştirilen tasarımın ardından ortaya çıkan devrenin basılmış hali Şekil 14’te verilmiştir.



Şekil 14. Devrenin basılmış hali.

Tasarlanan LNA devresi için hedefler sağlanmıştır. Yapılan tasarım devresinde kazanç çıktısı beklentilerimizi karşılamıştır. Geri dönüş kaybı S_{11} hariç diğer benzetim sonuçları bu devre için öngörülen sınırların içerisindeydir.

Parametre	Tasarım Hedefi	Benzetim Sonucu
Kazanç (dB) S_{21}	> 10	16.35
Geri Dönüş Kaybı (dB) S_{11}	< -10	-9.031
Geri Dönüş Kaybı (dB) S_{22}	< -10	-13
Gürültü Figürü (dB) NF	< 1.5	0.6

Düşük gürültülü kuvvetlendirici elemanı sinyale etki eden ilk eleman olduğundan gürültü figürünün düşüklüğü önemlidir ve bu tasarım için de hedeflenen değerin altında bulunmuştur. Gerçek koşullar altında değerlerin stabil olmaması ve ölçümün sağlıklı yapılamamasından dolayı daha yüksek kazanç ve daha düşük gürültü için farklı tasarım çalışmaları yapılması hedeflenmektedir.

References

- [1] <http://www.radartutorial.eu>, 12.10.2019.
- [2] <http://www.radartutorial.eu/02.basics/S%C3%BCrekliDalga%20Radar%C4%B1.tr.html>, 10.10.2019.
- [3] M. Skolnik, Introduction to Radar Systems, ch. 10: Radar Transmitters, syf. 690–726. McGraw- Hill, 3rd ed., 2002.
- [4] Agilsense, “HB100 Microwave Sensor Application Note”, Agilsense.
- [5] Agilsense, “HB100 Microwave Sensor Datasheet”, Agilsense.
- [6] B+B Thermo-Technik, “CDM324 Microwave Sensor Datasheet”, B+B Thermo-Technik.
- [7] Pinezich, J.D., Heller, J.R., & Lu, T. (2010). Ballistic Projectile Tracking Using CW Doppler Radar. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 46, 1302-1311.
- [8] <http://www.wikizeroo.net/index.php?q=aHR0cHM6Ly9lbi53aWtpcGVkaWEub3JnL3dpa2kvTm9pc2VfZmlndXJl>, 08.10.2019.
- [9] Avago Technologies” Low Noise Enhancement Mode Pseudomorphic HEMT in a Surface Mount Plastic Package ATF-54143 Datasheet”,syf 2.