

0.8-1.9 GHz Mikrodalga Kuvvetlendirici Tasarımı

0.8-1.9 GHz Microwave Amplifier Design

Onur Koç¹, Sedat Kılınç¹, Ramazan Köprü², Sıddık Yarman¹

¹Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
İstanbul Üniversitesi

onurkoceemuh@gmail.com, sedat.kilinc@istanbul.edu.tr, yarman@istanbul.edu.tr

²Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
Işık Üniversitesi

ramazan.kopru@isikun.edu.tr

Özet

Günümüzde haberleşmede kullanılan iletişim araçlarının tasarımı büyük bir gelişim ve değişim göstermektedir. İletişim araçları birçok sistemden oluşmaktadır. Bu çalışmada iletişimin sağlanmasında büyük öneme sahip olan sistem olarak Mikrodalga kuvvetlendirici tasarımı yapılmıştır. Mikrodalga kuvvetlendirici tasarımı 0.8-1.9 GHz bant genişliğinde hücresel haberleşme için gerçekleştirilmiştir. Kuvvetlendirici devresi ADS (Advanced Design System) programı kullanılarak tasarlanmıştır. Kuvvetlendirici tasarımı ideal devre, mikroşerit devre, serim devre tasarımı ve devre üretimi aşamalarından oluşmaktadır. Bu çalışmada yapılan tasarımların üretim sonuçları program tasarımına benzer çıkmıştır.

Abstract

Nowadays design of communication instruments that use for communication show a great improvement and change. Communication instruments consist of many systems. At this study, microwave amplifier design that has a great important as system carry out for supply communication. Microwave amplifier design carry out for cellular communication in the range of 0.8-1.9 GHz bandwidth. Amplifier circuit design by using ADS program. Amplifier circuit consist of ideal circuit, microstrip circuit, layout circuit and circuit production. At this study, results of production of acquired design resemble to results of program design.

1. Giriş

Mikrodalgalar çok kısa radyo dalgalarıdır. Elektromanyetik tayfta bunlar basit radyo dalgaları ile IR dalgaları arasında yer alırlar. Mikrodalga ışınları yağmur, sis ve kirli hava içinden geçebilirler. Bunlar, bu yüzden iletişimde kullanılırlar. Örneğin, telefon tesislerinin çok zor olarak kurulabileceği dağlık arazilerde haberleşme mikrodalgalarla (telsiz telefon) sağlanır.

Mikrodalgaların farkına 19. yüzyılda varılmıştır. O günden bu yana, özellikle 2. Dünya Savaşı sırasında radar ve radyo frekanslarında kullanımı oldukça yaygınlaşmıştır. Daha sonra tıpta, haberleşmede, endüstride ve askeri alanda geniş ölçüde

kullanılmaya başlanmıştır. Son yıllarda evlerde mikrodalga fırınları ve el telsizleri günlük hayatımıza iyice girmiştir. FM radyo ve TV vericilerinin, uzay haberleşmelerinin de mikrodalga frekansları ile yapıldığını belirtecek olursak, bu ışın şekline artık vazgeçemeyeceğimiz iyice anlaşılacaktır. Mikrodalga kuvvetlendiriciler hafif olmaları, küçük boyutları, üretiminin kolaylaşması sebebiyle kullanımı çok yaygındır. Radarlarda, mikrodalga fırınlarında, cep telefonlarında, kablosuz internet erişiminde, Bluetooth kulaklıklarda, mağaza güvenlik sistemlerinde, mikrodalga kuvvetlendiriciler kullanılır [1].

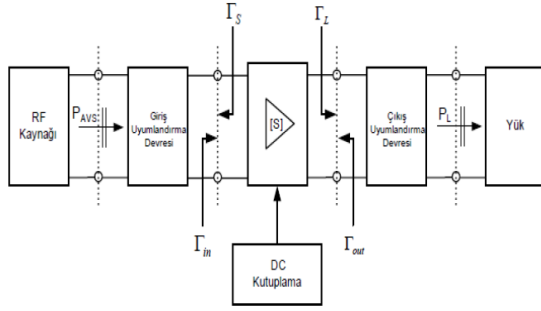
Mikrodalga kuvvetlendiricilerin klasik yollardan tasarımı bazı güçlükler oluşturmaktadır. Bunlar sınırlı bant genişliği, gürültü faktörü, kararlılık, giriş-çıkış yansıma kaybı, toplam dönüştürücü kazancı olarak özetlenmektedir. Mikrodalga kuvvetlendirici tasarım aşamaları aktif eleman seçimi, giriş uyurma devresi tasarımı, çıkış uydurma devresi tasarımı, DC kutuplama devresi tasarımı olarak dört ana başlıkta toplanmaktadır.

Tasarımda dikkate alınması gereken kavramlar; yansıma, saçılma (s) parametreleri, dönüş kaybı, voltaj durağan dalga oranı, kalite faktörü kavramlarıdır.

Bir mikrodalga kuvvetlendirici yükselticisinde en önemli tasarım gereksinimleri; kararlılık, güç kazancı, bant genişliği, gürültü, voltaj-durağan dalga oranı (vswr) ve dc kutuplamadır. Kuvvetlendirici parametrelerine bağlı kriterler; kazanç, çıkış gücü, çalışma frekansı ve bant genişliği, güç kaynağı gereksinimleri, giriş ve çıkış yansıma katsayılarıdır.

2. Mikrodalga Kuvvetlendirici Yapısı

Mikrodalga kuvvetlendirici giriş uydurma devresi, çıkış uydurma devresi ve transistörden oluşur. Tipik mikrodalga kuvvetlendirici blok şeması şekil 1’de görülmektedir.



Şekil 1: Mikrodalga kuvvetlendirici blok şeması

Kuvvetlendiriciler besleme kaynağından çekilen gücün bir kısmını giriş işaretini biçiminde veya bu işaretin bir parçası olarak yüke aktaran elektronik devrelerdir. Beslemedeki gücün tamamının yüke aktarılması empedans uyumlaştırma ile gerçekleşmektedir. Bu sebeple transistörün girişinde ve çıkışında empedans uyumlaştırma devreleri kullanılmaktadır. Tasarımda genellikle yükseltici için belirli özellikleri belirleyerek ve buna uygun transistör seçimiyle başlanır. Daha sonra kararlılık ve kazanç kriterleri için kaynak ve yük yansıma katsayılarının nasıl belirleneceği tartışılır. Koşulsuz kararlı bir transistör için herhangi bir pasif sonlandırma transistörü salınma götürmeyecektir. Ancak potansiyel kararsız transistör içeren bir tasarım, pasif sonlandırmaların kararlı bir yükseltici üretmesi için birkaç analize ve dikkatli düşünmeye gereksinim duymaktadır. Ayrıca tasarım için düşünülmesi gerekli önemli bir diğer durum ise arzulanan AC performansını elde edecek uygun DC çalışma noktası belirlemek ve bu DC çalışma noktasını elde edecek DC ağ topolojisini oluşturmaktır [2].

3. Mikrodalga Kuvvetlendirici Tasarımı

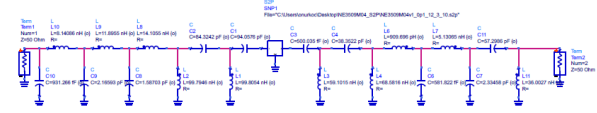
Bu projede Mikrodalga Kuvvetlendirici ADS'te tasarlanmıştır. Kuvvetlendiricinin amacı girişine gelen sinyalin gücünü artırarak çıkışına iletmektir. Bu projede güç miktarının 10-15dB olması hedeflenmiştir. Kuvvetlendiricinin belirli bir aralıktaki çalışma frekansının olabildiğince doğrusal olması amaçlanır. Bu çalışma frekansı yani bant genişliğinin 0.8-1.9GHz arasında olması hedeflenmiştir. Kuvvetlendiricinin distorsiyonunun mümkün olduğunca düşük olması istenir. Bu amaca yönelik A sınıfı bir kuvvetlendirici tasarlanmıştır. Mikrodalga tasarımının ilk aşaması transistör seçimidir. Seçilen transistör Renesans firmasına ait olup modeli NE3509m04'dir.

Tasarımda, optimizasyon ile ideal devre tasarımı, mikroşerit devre tasarımı, serim devre tasarımı ve ölçüm aşamaları anlatılmaktadır. Bu tasarım aşamalarında karşılaşılan zorluklar, ayrıntılı bir şekilde ele alınmış, benzer diğer çalışmalara da örnek olması amacı ile en iyi şekilde üstesinden gelinmeye çalışılmıştır.

Devre tasarımlarının simülasyonu ADS (Advanced Design System) programında gerçekleştirilmiştir. ADS'teki optimizasyon bölümü ile tasarımdaki eleman sayısı ve değerleri kriterlere en uygun ve en verimli şekilde kullanılmıştır. Kazanç değeri olabildiğince yüksek, yansıma değerinin ise olabildiğince düşük değerlerde elde edilmeye çalışılmıştır [7].

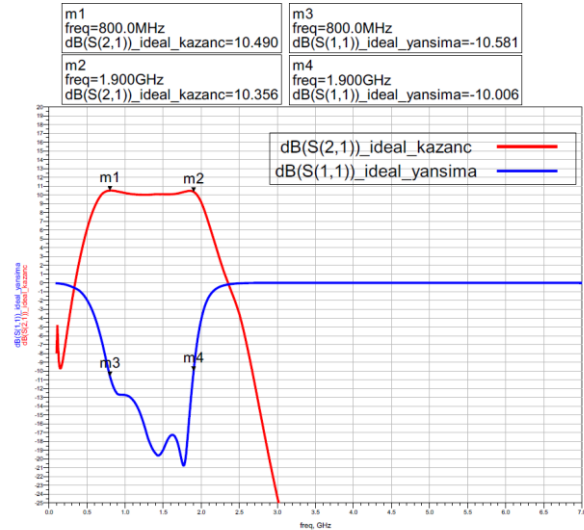
3.1. İdeal Elemanlarla Mikrodalga Kuvvetlendirici Devre Tasarımı

ADS programında yüksek ve alçak geçiren filtre yapıları ve transistör kullanılarak devre yapısı oluşturulmuştur. Merdiven (ladder) topolojisinde reaktif elemanlar kullanılarak matching (uyumlaştırma) tekniği kullanılmıştır. Girişte ve çıkışta 10'ar eleman kullanılmıştır. Başlangıçta ideal elemanlar kullanılarak devre ADS programındaki optimizasyon bölümü ile optimize edilerek hedef değerler sağlanmıştır. Elde edilen devrenin şeması Şekil 2'de görülmektedir [3].



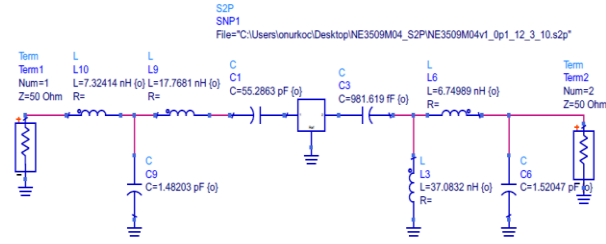
Şekil 2: İdeal elemanlı kuvvetlendirici devresi

Devrede kazanç minimum 10 dB ve yansıma değeri -10 dB'den düşük değerde olması hedeflenmiştir ve Şekil 3'te istenen kazanç ve yansıma değerleri görülmektedir.



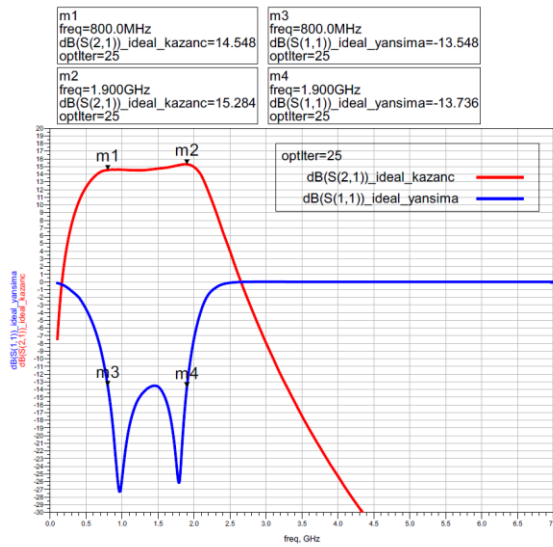
Şekil 3: İdeal elemanlı kuvvetlendirici devresinin kazanç ve yansıma eğri grafiği

İdeal devre tasarımı gerçekleştirildikten sonra 20 elemandan oluşan devre minimum elemanla oluşturulmaya çalışılmıştır. Optimize edilerek elde edilen devrede çok düşük değerlerdeki elemanlar devreden çıkartılır. Diğer taraftan kazanç ve yansıma değerlerinin olabildiğince iyi seviyede olması sağlanmıştır. Sonraki bölümlerde kazanç ve yansıma değerlerinin çeşitli sebeplerden ötürü düşeceği öngörülmektedir. Bu sebeple ilk tasarım en yüksek değerler ile elde edilmiştir.



Şekil 4: Minimum eleman sayısı ile elde edilen kuvvetlendirici devresi

Şekil 4'te devre sekiz elemanlıdır ve elde edilen kazanç değeri 14.5 dB, yansımaya değeri -13.5 dB'dir. Bu devrenin grafiği şekil 5'te görülmektedir.

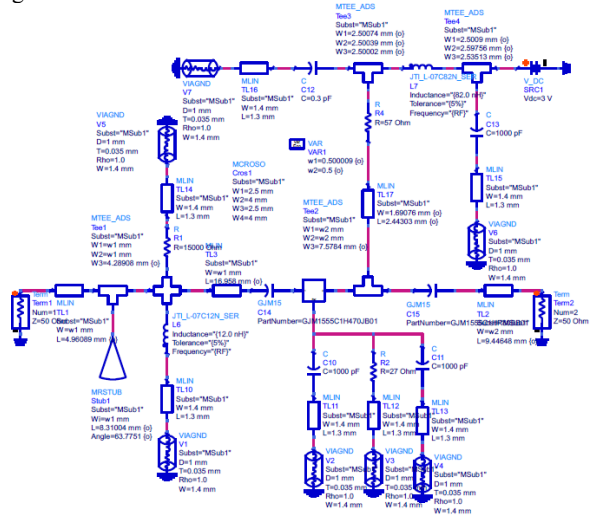


Şekil 5: Minimum eleman sayısı ile elde edilen kuvvetlendirici devresinin kazanç ve yansımaya grafiği

3.2. Mikroşerit Elemanlarla Mikrodalga Kuvvetlendirici Devre Tasarımı

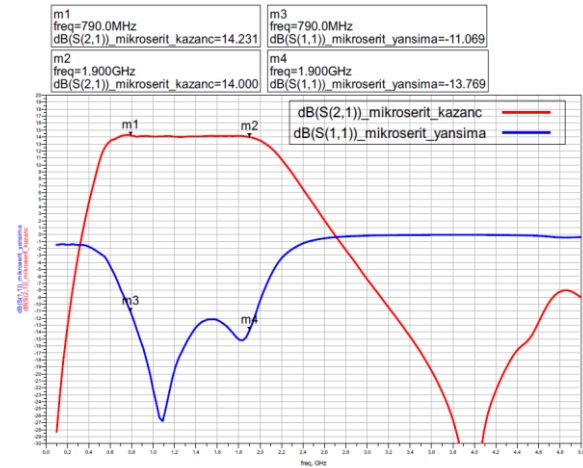
İdeal elemanlar ile tasarlanan devre minimum eleman ve yüksek hedef değerler ile elde edildikten sonra birkaç elemanların birçoğu mikroşerit elemanlara dönüştürülmüşlerdir. Diğer taraftan devrenin beslemesi eklenmiştir. Değiştirilen elemanların optimizasyonu ile istenen en iyi hedef değerlerde tutulmaya çalışılmıştır. Mikroşerit eleman kullanımı seri bağlı indüktör ve toprağa bağlı kapasiteler için uygulanmıştır. Değiştirme işlemi tek tek uygulanıp optimize edilerek gerçekleştirilmiştir [5]. Bir eleman değiştirilip optimize edildiğinde diğer ideal eleman değeri çok düşmüş ise devreye etkisi olmayacağından atılmıştır. Değiştirme işleminde optimizasyon işleminin zorluğuna göre kazanç ve yansımaya değerlerinde değişiklik yapılmıştır [8]. Değiştirilmeyen kapasite elemanları Murata model, toprağa bağlı indüktör elemanları ise Johanson model seçilerek ideal devrede üretilen değerlerine yakın değerlerinde optimize edilir. Beslemedeki elemanlar transistörün Datasheet'inden

elde edilmiştir. Elde edilen mikroşerit devresi şekil 6'da görülmektedir.



Şekil 6: Mikroşerit elemanlı kuvvetlendirici devresi

Via tipi toprak bağlantıları ve serim tasarımı için gerekli MTEE ve MLIN elemanları eklenmiştir. Devre optimize edilerek son halini almıştır. Elde edilen devrenin grafiği şekil 7'de görülmektedir.

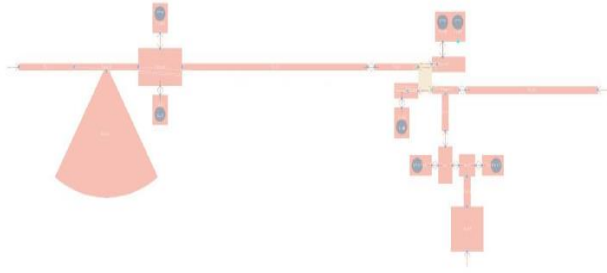


Şekil 7: Mikroşerit elemanlı kuvvetlendiricinin kazanç ve yansımaya grafiği

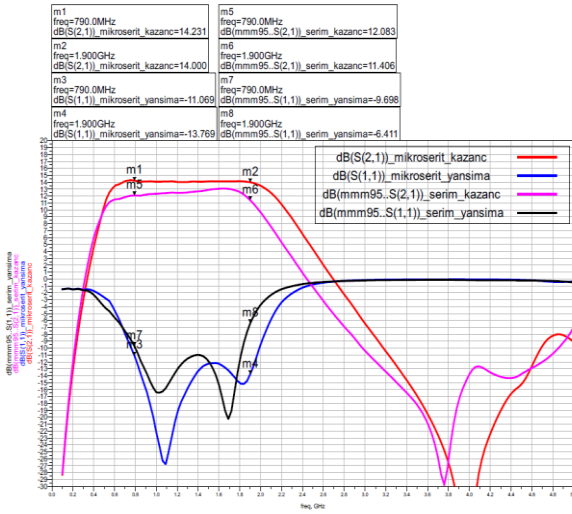
Kazanc değeri 14-14.15 dB arasında değişmektedir ve yansımaya değeri -12.1 dB olarak elde edilmiştir.

3.3. Mikrodalga Kuvvetlendirici Serim Devre Tasarımı

Serim tasarımı devrenin üretimden önceki son aşamasıdır. Mikroşerit devresi hatların birbirlerine olan etkilerini hesaba katamamaktadır. Uzunluk ve genişlik farkının etkileri serim devresinde anlaşılmaktadır. Parazitik etkilerde burada ortaya çıkmaktadır. Bu durum iyi değerlerde elde edilen bir mikroşerit devrenin serim tasarım sonucunun da benzer şekilde olacağı öngörülememektedir. Aksine beklenen sonucun çoğunlukla elde edilememesine neden olmaktadır. Bu yüzden serim tasarımı kendi içinde farklı teknikler ile yeni bir tasarım gerektirmektedir [4]. Mikroşerit devresinin serim tasarımı şekil 8'de görülmektedir.



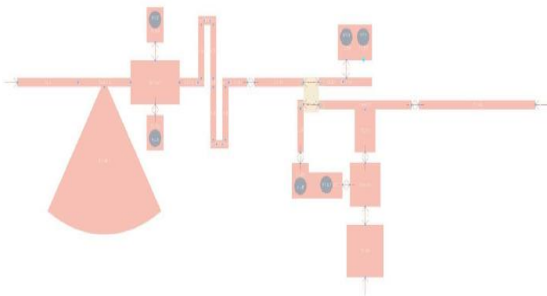
Şekil 8: Mikrodalga kuvvetlendirici serim devresi



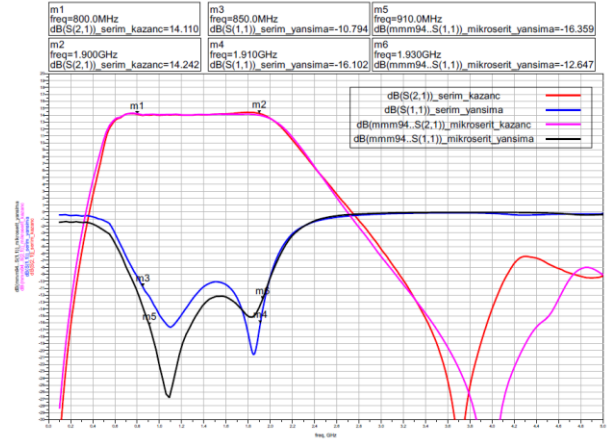
Şekil 9: Mikrodalga kuvvetlendirici mikroşerit ve serim eğrileri grafiği

Şekil 9’da mikroşerit ve serim devrelerinin grafikleri üst üste çizdirilerek gösterilmiştir. Serim devre grafiği ve mikroşerit devre grafiği birbirinden oldukça farklıdır. Bu hedeflenen durumdan uzak olduğumuz anlamına gelmektedir. Bunun sebebi mikroşerit devresinde hatların birbirine olan etkilerinin serim devresinde ortaya çıkmasıdır. Bu sebeple serim devresi üzerinde de farklı bir tasarım gerekmektedir [6].

Devrenin girişinde sinyal kolu üzerindeki uzun hat kıvrılarak s şeklinde değiştirilmiştir. Devrenin çıkışında sinyal kolu üzerindeki besleme daha basit ifade edilmiştir. Bu değişiklikler ile istenen benzerliğe büyük ölçüde ulaşılmıştır. Bu serim devresi ve kazanç-yansıma eğrilerinin grafiği şekil 10’da ve şekil 11’de görülmektedir.



Şekil 10: Mikrodalga kuvvetlendirici serim devresi

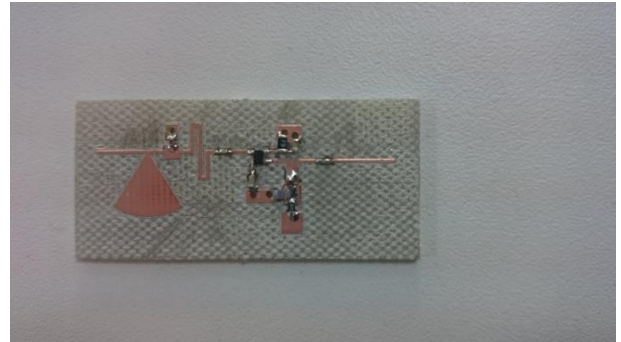


Şekil 11: Mikrodalga kuvvetlendirici devresinin mikroşerit ve serim eğrileri grafiği

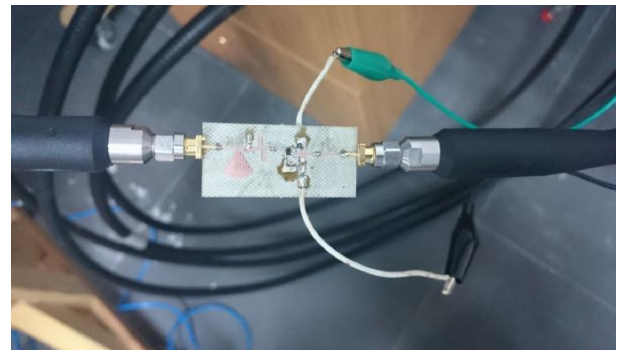
Kazanç değerleri 14-14.40 dB arasında değişmektedir ve yansıma değerinin bant genişliğinde büyük ölçüde -10 dB’den düşük değerde kalması sağlanmıştır. Hedeflenen kazanç ve yansıma değerlerine ulaşılmıştır.

4. Mikrodalga Kuvvetlendirici Devresinin Üretimi

Mikrodalga kuvvetlendirici devresinin serim tasarımı tamamlandıktan sonra devrenin pcb makinasında çizimi yapılmıştır. Kazıma işlemi ile devre elde edildikten sonra elemanlar devreye lehimlenmiştir.



Şekil 12: Üretimi yapılan kuvvetlendirici devresi

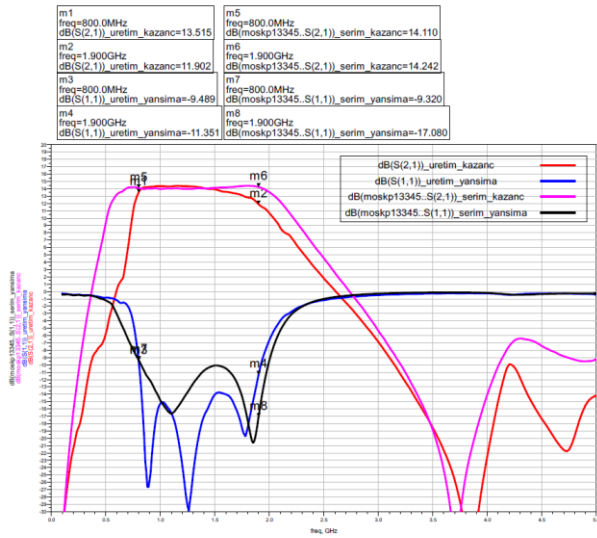


Şekil 13: Besleme, toprak, giriş ve çıkış bağlantıları yapılan kuvvetlendirici devresi



Şekil 14: Üretimi yapılan kuvvetlendirici devresinin ölçüm düzeneği

Ölçüm sonuçları şekil 15'te görülmektedir.



Şekil 15: Üretimi yapılan kuvvetlendirici devresinin serim ve ölçüm eğrilerinin grafiği

Üretim devresinin kazanç ve yansıma eğrileri ile serim devresinin kazanç ve yansıma eğrilerinin büyük ölçüde benzer olduğu görülmektedir. Kazanç değeri 11.9-13.9 dB arasında değişmektedir. Yansıma değeri ise büyük oranda -14 dB 'den daha düşük değerdedir.

5. Sonuçlar

Çalışmada, mikrodalga kuvvetlendirici tasarım aşamaları ayrıntılı bir şekilde anlatılmıştır. Hedef değerleri elde etme sürecinde karşılaşılan problemlere çeşitli yaklaşımlarda çözümler getirilerek detaylı bir şekilde gösterilmiştir. Çalışmada yapılan tasarımlar oldukça tatmin edici sonuçlar vermiş, üretim sonuçları program tasarımına benzer çıkmıştır. Uygun eleman, kaliteli pcb makinası kullanıldığı takdirde daha iyi üretim sonuçları alınacağı öngörülmektedir.

6. Kaynaklar

- [1] Kılıçkaya M. S., *Temel Fizik*, Cemalcılar A, Anadolu Üniversitesi Yayınları
- [2] Yarman, B. S., *Design of Ultra Wideband Power Transfer Networks*, John Wiley & Sons, 2010.

- [3] Yarman, B. S., *Design of Ultra Wideband Antenna Matching Networks: Via Simplified Real Frequency Technique*, Springer Science & Business Media, 2008.
- [4] Yarman, B. S., *Broadband matching a complex generator to a complex load*, Doktora tez, Cornell University, 1982.
- [5] Gonzalez, G., *Microwave transistor amplifiers: Analysis and Design*, Englewood Cliffs, N. J.: Prentice-Hall Inc, 1984.
- [6] Pozar, D. M., *Microwave and RF Design of Wireless Systems*, United States of America, Jhon Wiley and Sons Inc, 2000.
- [7] Gonzalez, G., *Microwave Transistor Amplifiers Analysis and Design*, Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall Inc, 1997.
- [8] Kopru, R., Kilinc, S., Aksen, A., ve Yarman, B. S., Design and Implementation of Wideband Microwave Amplifiers Based on Normalized Gain Function, *IEEE Benjamin Franklin Symposium on Microwave and Antenna Sub-Systems, Radar, Telecommunications, and Biomedical Applications*, Philadelphia PA, ABD, 2014.
- [9] Kilinc, S., Kopru, R., Aksen, A., & Yarman, B. S., *Mixed Element Wideband Microwave Amplifier Design via Simplified Real Frequency Technique. 14th Mediterranean Microwave Symposium (MMS)*, IEEE, Marrakech, Fas, 2014.