



POLİTEKNİK DERGİSİ

*JOURNAL of POLYTECHNIC*

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



# Uydu haberleşme sistemleri için 8025-8400 MHz düşük gürültülü kuvvetlendirici tasarımı

## *Design of 8025-8400 MHz low-noise amplifier (LNA) for satellite communication system*

Yazar(lar) (Author(s)): Burak DÖKMETAŞ<sup>1</sup>, Nursel AKÇAM<sup>2</sup>

ORCID<sup>1</sup>: 0000-0001-5900-6691

ORCID<sup>2</sup>: 0000-0003-0585-3988

**To cite to this article:** Dökmetaş B., Akçam N., “Uydu haberleşme sistemleri için 8025-8400 MHz düşük gürültülü kuvvetlendirici tasarımı”, *Journal of Polytechnic*, 27(4): 1643-1648, (2024).

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz:** Dökmetaş B., Akçam N., “Uydu haberleşme sistemleri için 8025-8400 MHz düşük gürültülü kuvvetlendirici tasarımı”, *Politeknik Dergisi*, 27(4): 1643-1648, (2024).

**Erişim linki (To link to this article):** <http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

**DOI:** 10.2339/politeknik.1110050

# Uydu Haberleşme Sistemleri için 8025-8400 MHz Düşük Gürültülü Kuvvetlendirici Tasarımı

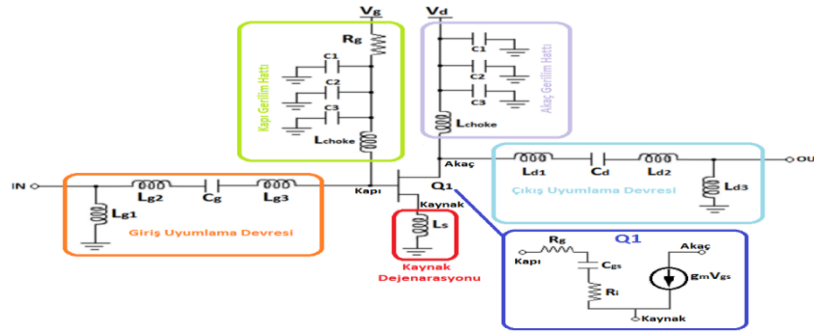
## Design of 8025-8400 MHz Low-Noise Amplifier (LNA) for Satellite Communication System

### Önemli noktalar (Highlights)

- ❖ Uydular haberleşme sistemleri için düşük gürültülü kuvvetlendirici tasarlanmıştır./ Low noise amplifier is designed for satellite communication systems.
- ❖ Tasarımda RT5880 alttaşı üzerine mikroşerit teknolojisi ve CE3512K2 transistörü kullanılmıştır./ RT5880 substrate and CE3512K2 transistor are used in the design.
- ❖ Önerilen tasarımın çıktuları ölçüm ve benzetim sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır./ The outputs of the proposed design are compared with the measurement and simulation results.

### Grafik Özet (Graphical Abstract)

Bu çalışma kapsamında, uydu haberleşme uygulamalarında kullanılacak 8025-8400 MHz frekans bandına sahip iki katlı düşük gürültülü kuvvetlendirici tasarımı gerçekleştirilmiştir. / In this study, a two-layer low-noise amplifier with a frequency band range of 8025-8400 MHz is designed for satellite communication applications.



Şekil 1. Tek katlı LNA'nın şematik devre gösterimi / Figure 1. Schematic circuit of single-layer LNA design

### Amaç (Aim)

İstenilen frekans bant aralığında yüksek kazanç ve düşük gürültü figürü elde etmek amaçlanmıştır. / The aim of the study is to obtain a high gain and low noise figure in the desired frequency band range.

### Tasarım ve Yöntem (Design & Methodology)

Giriş uyumlama devresi ve kaynak dejenerasyonu tekniği kullanılarak Şekil 1'deki tasarım elde edilmiştir. / The design in Figure 1 was obtained by utilizing the input matching circuit and source degeneration technique.

### Özgünlük (Originality)

Yüksek kazançlı, düşük gürültü figürü değeri olan ve düşük maliyetli yeni bir LNA tasarlanmış ve üretilmiştir. / A new LNA with high gain, low noise figure and low cost has been designed and manufactured.

### Bulgular (Findings)

Ölçüm sonuçlarına göre kazanç 21.9 dB'den daha iyi ve gürültü figürü 1.1 dB'den düşük elde edilmiştir. / According to the measurement results, the gain is better than 21.9 dB and the noise figure is less than 1.1 dB.

### Sonuç (Conclusion)

Benzetim sonuçları ile ölçüm sonuçlarının tutarlı olduğu görülmüştür. / It has been observed that the simulation results and the measurement results are consistent.

### Etik Standartların Beyanı (Declaration of Ethical Standards)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler. / The author(s) of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission.

# Uydu Haberleşme Sistemleri için 8025-8400 MHz Düşük Gürültülü Kuvvetlendirici Tasarımı

*Araştırma Makalesi / Research Article*

**Burak DÖKMETAŞ<sup>1\*</sup>, Nursel AKÇAM<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Müh. Bölümü, Kafkas Üniversitesi, Türkiye

<sup>2</sup>Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Müh. Bölümü, Gazi Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 28.04.2022 ; Kabul/Accepted : 06.03.2024 ; Erken Görünüm/Early View : 22.03.2024)

## ÖZ

Gelişen uydu haberleşme sistemleri ile birlikte düşük gürültülü kuvvetlendirici (Low Noise Amplifier-LNA) ve alt sistemlerine gösterilen ilgi her geçen gün artmaktadır. Düşük gürültülü kuvvetlendirici alt sistemleri uydu haberleşmesinde düşük güçlü sinyalleri kuvvetlendirerek gürültü seviyesini en düşük seviyede tutmakta önemli bir rol oynamaktadır. Bu çalışma kapsamında, uydu haberleşme uygulamalarında kullanılacak 8025-8400 MHz frekans bandına sahip iki katlı düşük gürültülü kuvvetlendirici tasarımı gerçekleştirilmiştir. Tasarımda RT5880 alttaşı üzerine mikroşerit teknolojisi ve CE3512K2 transistörü kullanılmıştır. Tasarımda uyumlama devreleri mikroşerit hatlar ve paketli radyo frekansı (Radio Frequency-RF) malzemeleri ile gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen LNA devresinin S-parametresi ölçüm sonuçlarına göre, giriş ve çıkış geri yansıma katsayıları sırasıyla -14 dB ve -15 dB'den daha iyi olduğu görülmüştür. Ölçülen kazanç değeri ise 21.9 dB'den iyi olarak elde edilmiştir. Ek olarak, 2 katlı LNA devresinin 40 mW güç tükettiği durumda gürültü figürü değerinin çalışma bandı içerisinde 1.1 dB'den düşük olduğu ve 1-dB bastırma noktasındaki çıkış gücünün ise +14.6 dBm olduğu görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Düşük gürültülü kuvvetlendirici, LNA, uydu haberleşmesi, CE3512K2 transistör.

## The Design of 8025-8400 MHz Low-Noise Amplifier (LNA) for Satellite Communication System

### ABSTRACT

Developments in satellite communication systems increase the interest in Low Noise Amplifier-LNA and its subsystems. Low-noise amplifier subsystems are used to amplify low-power signals and keep the noise at a minimum level in satellite communications. In this study, a two-layer low-noise amplifier design is proposed for the frequency band range of 8025-8400 MHz. RT5880 substrate and CE3512K2 transistor are used as materials in the design. Matching circuits are realized with microstrip lines and packaged Radio Frequency-RF materials. According to the measurement results, the input (S11) and output (S22) reflection losses in the operating frequency band were obtained better than -14 dB and -15 dB, respectively. The measured gain value was obtained better than 21.9 dB. In addition, in the case that the 2-layer LNA circuit consumes 40 mW of power, the noise figure value is obtained lower than 1.1 dB in the operating band and the output power at the 1-dB suppression point is achieved at +14.6 dBm.

**Keywords:** Low noise amplifier, LNA, satellite communication, CE3512K2 transistor.

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Modern yaşam ile birlikte özel firmaların, bireylerin ve askeri birliklerin gerek şehir yaşamında gerekse de yerleşim yerlerinden uzak noktalarda kesintisiz iletişim kurma ihtiyaçları ortaya çıkmaktadır [1-2]. Son yıllardaki teknolojik gelişmeler uydu haberleşme sistemlerine olan ihtiyacı her geçen gün artırmaktadır [3-5]. Haberleşme teknolojileri ile ilgili gelişmeler gün geçtikçe artmaktadır [6-8]. Gerek sivil gerekse de askeri kullanıcılara haberleşme hizmeti sağlayabilmek amacıyla çeşitli kurum ve kuruluşlar internet, telefon, faks, veri aktarımı vb. farklı amaçlara yönelik olarak dünyanın farklı yörüngelerine uydular göndermektedir [9-11]. Geliştirilen yeni nesil uyduların son kullanıcılara kesintisiz ve hızlı veri (ses, görüntü, video) paylaşımı

sağlaması önemlidir. Gelişen uydu haberleşme sistemleri ile birlikte alt sistemlerin elektriksel performans gereksinimlerinde iyileştirmelere gidilmesi önem kazanmıştır [12]. Özellikle uydu haberleşme sistemlerinin yer terminallerinde kullanılan haberleşme cihazlarında yer alan almaç-göndermeç alt sistemlerinin yüksek performanslı olması gerekliliğini ortaya çıkarmaktadır [13]. Almaç-göndermeç birimi, görev aldığı tüm sistemin dinamik aralığını belirlemesi açısından önemli bir role sahiptir [14-16]. Haberleşme sisteminin dinamik aralığını iyileştirebilmek amacıyla almaç-göndermeç alt sisteminin ön ucunda yer alan LNA devrenin olabildiğince düşük gürültü figürü değerine sahip olması gerekir [17-21]. Bunu elde edebilmek amacıyla düşük maliyetli, küçük boyutlu ve yüksek performanslı LNA geliştirilmesi tasarımcıların ve araştırmacıların ilgisini çekmektedir.

\*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)  
e-posta : burakd@kafkas.edu.tr

Bu çalışmada, 8025-8400 MHz frekans bant aralığında çalışacak düşük maliyetli ve oldukça düşük gürültü figürü değerine sahip bir LNA tasarımı ve üretimi amaçlanmıştır. Tasarımda düşük gürültü figürü performansı sağlanabilmesi için ortak kaynak tasarım tekniği kullanılmış ve devrenin giriş ile çıkış empedansları  $50 \Omega$ 'a uyumlandırılmış ve geliştirilen devrenin sistem için kullanımı sırasında harici bir yangeçiş kondansatörü kullanımına gerek kalmayacak şekilde tasarlanması hedeflenmiştir. Tasarımı, üretimi ve ölçümleri gerçekleştirilen LNA devresi düşük maliyetli, kolay üretilebilir ve yüksek elektriksel performans değerlerine sahip olması açısından uydu haberleşme sistemlerinin uydu-yer terminallerinde kullanımına uygun olduğu düşünülmektedir.

## 2. DEVRE TASARIMI (CIRCUIT DESIGN)

Uydu haberleşme sistemlerinde LNA, gelen elektromanyetik işaretin sisteme asgari düzeyde gürültü eklemek suretiyle kuvvetlendirilmesinde kullanılır [22]. Ek olarak, LNA devresinin elektriksel performansı tüm haberleşme sisteminin dinamik aralığının belirlenmesinde önemli bir rol oynar [23]. LNA devre tasarımları ile ilgili literatür taraması yapıldığında, birçok devre tasarım topolojisinin bulunduğu görülür [24-25]. Başka bir çalışmada eş düzlemlı dalga kılavuzuna (CPW) sahip bir X-Band Monolitik Mikrodalga Entegre Devre (MMIC) Yüksek Güç Amplifikatörü (HPA) sunulmuştur [26]. Devre tasarım topolojileri temel olarak ortak kaynak, ortak kapı ve akım yeniden kullanımlı ortak kapı topolojisi olarak sınıflandırılabilir. Bu çalışmada literatürdeki bu devre topolojilerinin birbirlerine göre avantaj ve dezavantajları karşılaştırılarak en düşük gürültü figürü değerinin ve yüksek kazanç değerinin elde edilebildiği ortak kaynak topolojisinin tasarımda kullanılmasına karar verilmiştir. Ortak kaynak topolojisinin diğer topolojilere göre dezavantajları; dar bant genişliği, düşük devre kararlılığı ve düşük ters izolasyon performansı olduğu görülür. Ortak kapı topolojisinde istenilen kazanç değerini elde edebilmek amacıyla kuvvetlendiriciler birbirlerine ardışık olarak bağlanabilmektedir. Bunun yanı sıra, her bir LNA katı yarıiletken teknolojisine doğası gereği kendisine mahsus ısı ve yük taşıyıcı akımlarından kaynaklı özgün bir gürültüyü sisteme ekler. Sisteme eklenen bu gürültü bir sonraki kuvvetlendirici katında seviyesi kuvvetlendirerek sisteme aktarılır. Bu bilgiler doğrultusunda, LNA devre tasarımında birbirine ardışık bağlı 2 katlı ortak kaynak devre tasarım topolojisi kullanılmıştır. Ayrıca, devre tasarımında düşük gürültü figürü performansına sahip plastik paketli CE3512K2 RF transistör yapısı kullanılmıştır. Devre tasarımında CE3512K2 transistörünün üretici firma tarafından paylaşılan S-parametresi modeli ve frekansa göre elde edilen gürültü figürü performansının elde edildiği giriş empedans değerleri kullanılmıştır. Buna göre, transistörün giriş uyumlama devresi en düşük gürültü figürü performansını elde edebilmek amacıyla transistörün ( $\Gamma_{opt}$ ) empedansına uygun olarak

tasarlanmıştır. Ayrıca, devre tasarımından 20 dB'nin üzerinde kazanç performansı elde edebilmek amacıyla ardışık bağlı 2 katlı bir kuvvetlendirici yapısı tercih edilmiştir ve her bir transistör 2 V, 10 mA akım çekecek şekilde beslenmiştir. Bu şekilde LNA devresinin toplam güç tüketimi 40 mW olarak sabitlenmiştir. LNA devre tasarımında devrenin gürültü faktörü (F) Eş.1'de verildiği gibi devrenin giriş sinyal-gürültü oranının ( $SNR_{in}$ ) çıkış sinyal-gürültü oranına ( $SNR_{out}$ ) oranı olarak ifade edilir. Pratikte ise gürültü faktörü katsayısı desibel cinsinden Eş.2'de gürültü figürü (NF) ile ifade edilmektedir.

$$F = \frac{SNR_{in}}{SNR_{out}} \quad (1)$$

$$NF = 10 \log_{10} F \quad (2)$$

LNA devre serimi tasarımında ve elektromanyetik (EM) benzetimleri Cadence firmasının ticari olarak kullanılan AWR yazılımının 2.5 boyutlu EM çözümleme yapabilen Axiem programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Devre tasarımında kuvvetlendiricinin her bir kademesinin giriş uyumlaması en düşük gürültü figürü değerini elde edilebilecek şekilde transistörün en düşük gürültü performansına sahip olduğu giriş empedans değerinin karmaşık eşleniğine uyumlanmıştır. Ek olarak, her bir kuvvetlendirici katı kendi içerisinde koşulsuz kararlı duruma getirilerek devrenin herhangi bir salınma neden olmaması sağlanmıştır. 2 portlu bir devrenin koşulsuz kararlı olabilmesi için Eş.3 ve Eş.4'ün sağlanması gerekir.

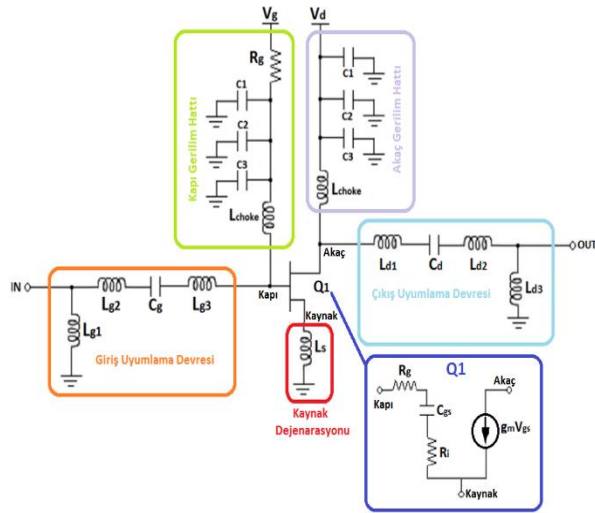
$$k = \frac{1 - |S_{11}|^2 - |S_{22}|^2 + |\Delta|^2}{2|S_{12}||S_{21}|} \geq 1 \quad (3)$$

$$|\Delta| = |S_{11}S_{22} - S_{12}S_{21}| < 1 \quad (4)$$

Burada  $k$  kararlılık faktörünü,  $S_{11}$  ve  $S_{22}$  sırasıyla devrenin giriş ve çıkış yansıma katsayılarını,  $S_{12}$  ve  $S_{21}$  ise devrenin sırasıyla izolasyon ve iletim katsayısını ifade etmektedir.

Şekil 1'de tasarlanan tek katlı LNA'nın devre şeması gösterilmiştir. Tasarımda Kaliforniya Doğu Laboratuvarları tarafından üretilen ve endüstriye uygulamaları için kullanılan düşük gürültülü CE3512K2 parça numaralı RF transistörü kullanılmıştır. Transistörün kapı ( $V_g$ ) ve akaç ( $V_d$ ) gerilimleri sırasıyla 402 paket  $C_1$  (470 pF),  $C_2$  (150 pF) ve  $C_3$  (11 pF) kondansatörler üzerinden sağlanmıştır. Bu kondansatörler besleme hatlarına şönt olarak bağlanarak DC güç kaynağından gelebilecek istenmeyen yayınları filtrelemek amacıyla kullanılmıştır. Ek olarak, kapı besleme hattında transistörün kararlılığını iyileştirmek amacıyla seri hatta  $R_g$  (1 k $\Omega$ ) direnç kullanılmıştır. Transistörün kapı akımı ( $I_g$ ) ihmal edilebilir bir seviyede olduğu için direncin üzerinde güç tüketimi olmayacaktır. Ancak akaç besleme hattında ~20 mA savak akımı ( $I_d$ ) aktığı için seri hatta direnç kullanılmamasına dikkat edilmiştir. Kapı ve savak beslemeleri filtrelendikten

sonra RF söndürme bobini üzerinden verilmiştir. RF söndürme bobini  $\lambda/4$  mikro şerit iletim hattı ile gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, transistörün kaynak terminaline iletim hattı ile gerçekleştirilmiş bobin ( $L_s$ ) bağlanarak transistörün giriş empedansının  $50 \Omega$  empedans değerine yaklaşması sağlanarak giriş uyumlama devresinin daha az eleman sayısıyla gerçekleştirilmesi sağlanmıştır. Bunun neticesinde de giriş uyumlama devresinden transistöre kadarki devreye eklenen gürültü asgari düzeyde tutulmuştur.



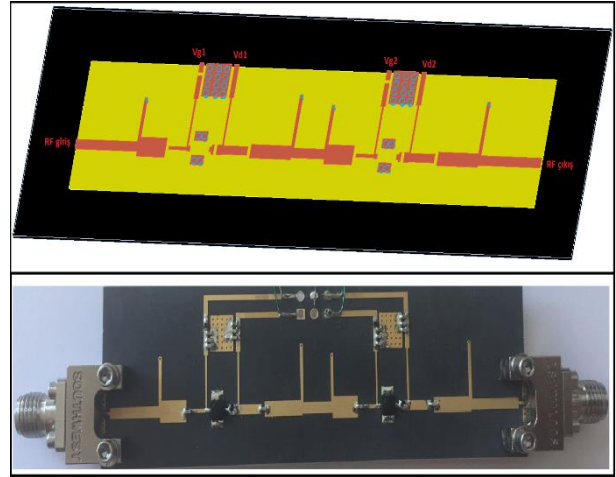
**Şekil 1.** Tasarlanan tek katlı LNA'nın şematik devre gösterimi (Circuit design of the proposed single-layer LNA)

Şekil 1'de gösterilen ortak kaynak topolojisi ile oluşturulan devre şemasındaki giriş empedans ( $Z_{in}$ ) değeri Eş.5 ile ifade edilmektedir.

$$Z_{in} = \left[ R_g + R_i + \frac{g_m L_s}{C_{gs}} + \frac{1}{s C_{gs}} + \frac{1}{s C_1} + s(L_{g2} + L_{g3}) \right] // \frac{1}{s L_{g1}} \quad (5)$$

Burada giriş uyumlama devresinde  $L_{g1}$  şönt, sırasıyla  $L_{g2}$ ,  $C_g$  ve  $L_{g3}$  devre elemanları ise seri olarak bağlıdır. Ek olarak,  $R_g$  kapı direncini,  $R_i$  transistörün iç direncini,  $C_{gs}$  ise transistörün kapı-kaynak kondüktans değerini ve  $g_m$  ise transistörün transkondüktans değerini ifade etmektedir. LNA'nın giriş uyumlama devresindeki bobinler mikroşerit iletim hattıyla gerçekleştirilmiştir ve  $C_g$  ile  $C_d$  devre elemanlarının yerine ise 402 paket 2.4 pF büyüklüğünde kondansatör bağlanmıştır. Devre şemasında yer alan  $C_g$  ve  $C_d$  kondansatörleri DC gerilimlerin RF hattına geçişini engellemek amacıyla yangeçiş kondansatör görevinde kullanılmıştır.

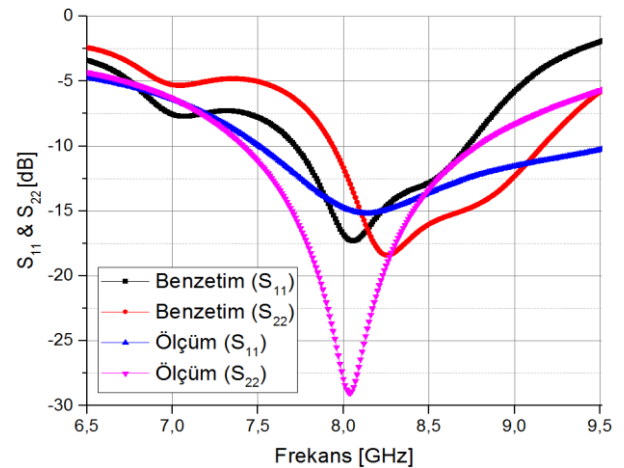
Çıkış devre uyumlamasında da transistörün çıkış empedans değeri  $50 \Omega$  empedans değerine uyumlanmıştır. Bu sayede iki LNA devresi arka arkaya ardışık olarak doğrudan bağlanabilmektedir.



**Şekil 2.** Önerilen LNA tasarımının devre serimi ve prototip görüntüsü (Circuit layout and prototype image of the proposed LNA design)

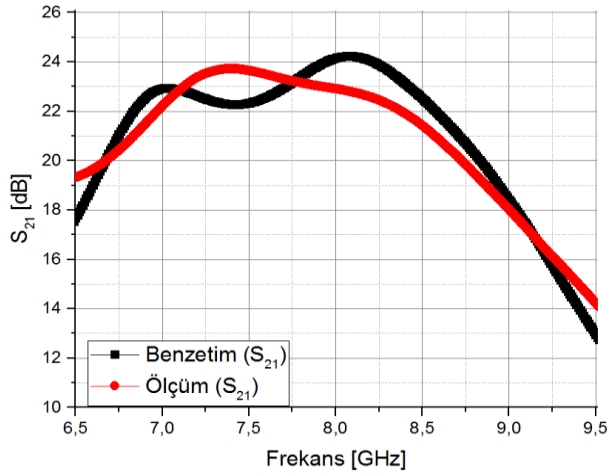
Serim tasarımı tamamlanan 2 katlı LNA'nın tasarımının doğrulanması amacıyla 0.508 mm dielektrik kalınlığına ve 2.2 dielektrik sabiti değerine sahip Rogers RT5880 alttaş üzerine devre serimi baskı devre kartı (Printed Circuit Board-PCB) kazıma cihazı yardımıyla kazanmıştır. Daha sonra paketli aktif ve pasif devre elemanlarının lehimlenmesi ile devrenin S-parametresi ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Şekil 2'de 2 katlı LNA'nın tasarımını devre serimi ve prototipi görülmektedir. Üretilen prototipin S-parametresi ölçümleri ile elektromanyetik (EM) benzetim sonuçları karşılaştırıldığında sonuçların birbiri ile tutarlı olduğu görülmüştür.

Şekil 3'de verilen S-parametresi benzetim ve ölçüm sonuçlarına göre, çalışma frekansı bandı (8025-8400 MHz) içerisinde giriş ( $S_{11}$ ) ve çıkış yansıma ( $S_{22}$ ) kayıpları sırasıyla -14 dB ve -15 dB'den daha iyi olarak elde edilmiştir.



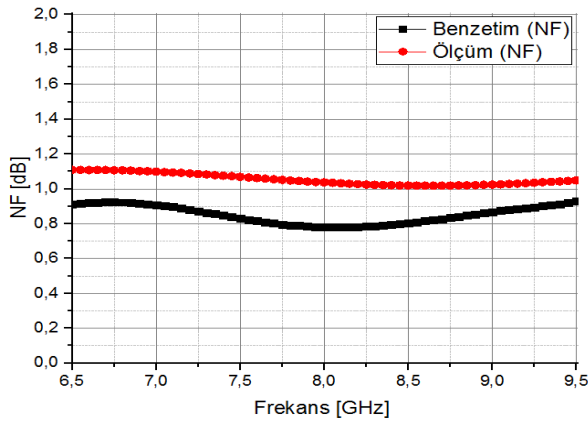
**Şekil 3.** Giriş ( $S_{11}$ ) ve çıkış ( $S_{22}$ ) yansıma katsayısı benzetim ve ölçüm sonuçları (Simulation and measurement results of the Input ( $S_{11}$ ) and Output ( $S_{22}$ ) reflection coefficient)

Şekil 4’de küçük işaret kazancı ( $S_{21}$ ) benzetim ve ölçüm sonuçları karşılaştırılmıştır. Ölçüm sonuçlarına göre, istenilen frekans aralığında küçük işaret kazancının 22 dB’den yüksek olduğu görülmektedir.



Şekil 4. Küçük işaret kazancı ( $S_{21}$ ) benzetim ve ölçüm sonucu (Simulation and measurement result of the small signal gain ( $S_{21}$ ))

Prototip LNA devresinin gürültü figürü ölçümleri standart ticari bir gürültü kaynağı kullanılarak Y-faktör ölçüm yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Ölçümden önce spektrum analizör, gürültü kaynağı kullanılarak kalibre edilerek NF ölçümü gerçekleştirilmiştir.

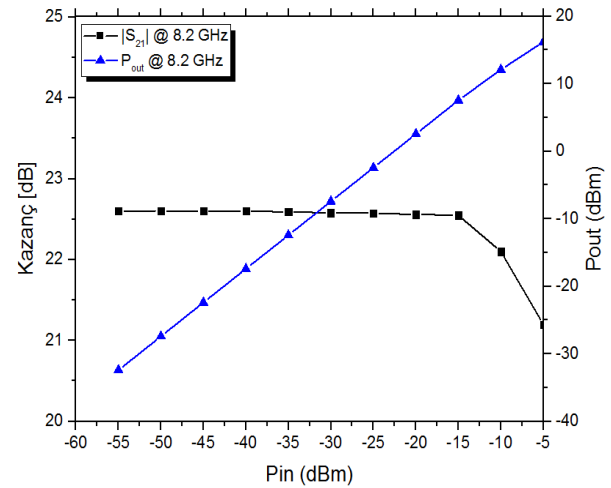


Şekil 5. Gürültü figürü (NF) benzetim ve ölçüm sonuçları (Simulation and measurement results of the Noise figure (NF))

Şekil 5’de elde edilen NF ölçüm sonucuna göre çalışma frekans bandı (8025-8400 MHz) içerisinde NF’in 1.1 dB’den iyi olduğu görülmüştür. NF benzetim ve ölçüm sonuçları karşılaştırıldığında ise 0.25 dB bir fark olduğu görülmektedir. Benzetim ve ölçüm sonucu arasındaki bu farkın Y-faktör ölçüm yönteminden kaynaklı ölçüm belirsizliği ile RF terminallerde kullanılan SMA konektörlerden kaynaklandığı düşünülmektedir. Prototip LNA devresinin gürültü figürü ölçümleri Agilent firmasının N9030A spektrum analizörü ile Keysight firmasının 346C gürültü kaynağı kullanılarak Y-faktör

ölçüm yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. SMA konektörlerin NF’ye etkisi benzetimlere eklenmemiştir ve bu durumdan dolayı NF değerine konektörden ek olarak 0.1 dB kadar etki gelebileceği düşünülebilir.

LNA devresinin diğer önemli bir elektriksel parametresi 1 dB kazanç bastırma noktasındaki çıkış gücü ( $P_{1dB}$ ) değeridir. Şekil 6’da görülen ve bu ölçümde üretilen LNA devresinin RF giriş terminaline bağlanan standart ticari bir vektör işaret üretici yardımıyla -60 dBm seviyesinden başlayarak -5 dBm seviyesine artırarak giriş gücü uygulanmıştır ve çıkış gücü ise LNA’nın çıkış terminaline bağlanan bir spektrum analizör yardımıyla ölçülmüştür.



Şekil 6.  $P_{1dB}$  benzetim ve ölçüm sonuçları (Simulation and measurement results of  $P_{1dB}$ )

Elde edilen çıkış gücü ölçüm sonucuna göre LNA’nın giriş gücünün -15 dBm’den itibaren çıkış gücünün doyuma uğramaya başladığı görülmüştür. Buna göre giriş gücünün ( $IP_{1dB}$ ) -7 dBm olduğu seviyede kazancın 1 dB kadar azalmış olduğu ve bu noktadaki çıkış gücünün ( $OP_{1dB}$ ) ise 14.6 dBm olduğu görülmüştür. LNA prototip devresinden oda sıcaklığında ( $\sim 23^\circ\text{C}$ ) elde edilen elektriksel ölçüm sonuçları Çizelge 1’de özetlenmiştir.

Çizelge 1.  $P_{1dB}$  benzetim ve ölçüm sonuçları (Simulation and measurement results of  $P_{1dB}$ )

	Birim	Değer
Çalışma Frekans Bandı	MHz	8025-8400
Frekans Bant Genişliği	MHz	375
Giriş Yansımaya Katsayısı	dB	-14
Çıkış Yansımaya Katsayısı	dB	-15
Kazanç	dB	21.9
Gürültü figürü	dB	1.1
Çıkış $P_{1dB}$	dBm	+14.6
Kazanç Değişimi	dB/GHz	2.69
Boyut	mm	25 x 77
Güç tüketimi	mW	40
Akaç gerilimi ( $V_d$ )	V	2.0

### 3. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu makalede, 8025-8400 MHz (X-bant) haberleşme frekans bandına yönelik geliştirilen düşük gürültülü kuvvetlendirici devre tasarım adımları ve ölçüm sonuçları verilmiştir. Tasarımı düşük gürültülü CE3512K2 transistör kullanılarak gerçekleştirilen LNA devresinin elektromanyetik benzetim sonuçlarını LNA devresinin üretim ve elektriksel ölçümleri yapılarak doğrulanmıştır. Üretilen LNA devresinin benzetim ve ölçüm sonuçlarının birbirleri ile tutarlı oldukları görülmüştür. LNA'nın ölçüm sonuçlarına göre çalışma frekans bandı olan 8025-8400 MHz frekans bant aralığında ve toplam 40 mW güç tüketildiği durum için 21.9 dB'den daha yüksek kazanç ile 1.1 dB'den daha düşük seviye gürültü figürü değeri elde edilmiştir. Çalışma frekans bandı içerisinde giriş ve çıkış yansıma katsayıları sırasıyla -14 dB ve -15 dB seviyelerinden daha iyi olduğu ve 1 dB kazanç bastırma noktasındaki çıkış gücünün ise 14.6 dBm olduğu görülmüştür. Ek olarak, frekans bandı içerisindeki kazanç değişiminin 2.69 dB/GHz olduğu ölçüm sonuçlarına göre elde edilmiştir. Geliştirilen LNA'nın yüksek kazançlı ve düşük gürültü figürü değerine sahip olmasının yanında düşük maliyetli oluşu nedeniyle X-bant haberleşme sistemlerinde kullanılabilirliği düşünülmektedir.

### ETİK STANDARTLARIN BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

### YAZARLARIN KATKILARI (AUTHORS' CONTRIBUTIONS)

**Burak DÖKMETAŞ:** Önerilen tasarımın simülasyon, üretim ve ölçümlerini gerçekleştirmiştir. Makalenin yazım işlemini gerçekleştirmiştir. / Performed simulation, fabrication and measurements of the proposed design. Performed the writing process of the article.

**Nursel AKÇAM:** Elde edilen verileri analiz etmiş ve makalenin yazım işlemini gerçekleştirmiştir. / Analyzed the data obtained and performed the writing process of the article.

### ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur. / There is no conflict of interest in this study.

### KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Li, F., Lam, K.Y., Zhao, N., Liu, X., Zhao, K., Wang, L., "Spectrum trading for satellite communication systems with dynamic bargaining", *IEEE Transactions on Communications*, 66(10): 4680-4693, (2018).
- [2] Yu, Y., Liu, H., Wu, Y., Kang, K., "A 54.4–90 GHz low-noise amplifier in 65-nm CMOS", *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, 52(11): 2892-2904, (2017).
- [3] Alsuraisy, H., Lin, W. J., Huang, I., Huang, T. W., "Design of Ka-band Transceiver for Satellite Communication", *IEEE Jordan International Joint Conference on Electrical Engineering and Information Technology (JEEIT)*, Jordan, 307-310, (2019).
- [4] Arican GO, Akcam N, Yazgan E., "Ku-band GaAs mHEMT MMIC and RF front-end module for space applications", *Microwave and Optical Technology Letters*, 1–9, (2020).
- [5] Kouhalvandi, L., Ceylan, O., Paker, S., Yağcı, H.B., "Design and realization of a novel planar array antenna and low power LNA for Ku-band small satellite communications", *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, 25(2), 1394-1403, (2017).
- [6] Öz İ., "GEO satellite orbit determination using spaceborn onboard receiver", *Politeknik Dergisi*, (2022).
- [7] Hazer A. and Yıldırım R., "A new approach to increasing the bandwidth of fiber-optic communication systems", *Politeknik Dergisi*, (2023).
- [8] Altiraiki S., Tezel N. S., "A new approach to pilot contamination in massive mimo systems for 5G communication networks with butterfly optimization algorithm", *Politeknik Dergisi*, 25(4): 1753-1759, (2022).
- [9] Abo-Zeed, M., Din, J. B., Shayea, I., Ergen, M., "Survey on land mobile satellite system: Challenges and future research trends." *IEEE Access*, 7: 137291-137304, (2019).
- [10] Wei, T., Feng, W., Chen, Y., Wang, C. X., Ge, N., Lu, J., "Hybrid satellite-terrestrial communication networks for the maritime Internet of Things: Key technologies, opportunities, and challenges", *IEEE Internet of Things Journal*, 8(11): 8910-8934, (2021).
- [11] Liu, X., Lin, M., Kong, H., Ouyang, J., & Cheng, J., "Outage performance for optical feeder link in satellite communications with diversity combining", *IEEE Wireless Communications Letters*, 10(5): 1108-1112, (2021).
- [12] Chippalkatti, V.S., Biradar, R.C., Rana, S.S., "Recent Technology Trends in Satellite Communication Subsystems", *IEEE International Conference on Electronics, Computing and Communication Technologies (CONECCT)*, Bangalore, India, (2021).
- [13] Abbasi-Moghadam, D., Hotkani, S.M.H.N., Abolghasemi, M., "Store and forward communication payload design for LEO satellite systems", *Majlesi Journal of Electrical Engineering*, 10(3): 7-17, (2016).
- [14] Belen, A., "WLAN uygulamaları için düşük gürültülü kuvvetlendirici tasarımı", *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 25: 665-668, (2021).
- [15] Cha, Eunjung, et al. "0.3–14 and 16–28 GHz wide-bandwidth cryogenic MMIC low-noise amplifiers", *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 66(11): 4860-4869, (2018).
- [16] Roy, D., Choudhury, A.R., Mohiyuddin, M., Sucharitha, A.V., Ramana, D.V., "Design and realisation of ku-band tele-command and ranging receiver for satellite application", *IEEE MTT-S International Microwave and RF Conference (IMaRC)*, Kolkata, India, (2018).

- [17] Arican, G. O., Akcam, N. "Design of a Low Cost X-Band LNA with Sub-1-dB NF for SATCOM Applications", *Gazi University Journal of Science*: 36(3): (2022).
- [18] Pace, L., Longhi, P. E., Ciccognani, W., Colangeli, S., Leblanc, R., & Limiti, E., "A MMIC Low-Noise Amplifier realized with two different gate length GaN-on-Si technologies.", *50th European Microwave Conference (EuMC)*, Utrecht, Netherlands, 1023-1026, (2021).
- [19] Zhang, S., Xu, J., Zheng, P., Wang, R., & Tong, X., "An 18–31-GHz GaN-based LNA with 0.8-dB minimum NF and high robustness", *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, 30(9): 896-899, (2020).
- [20] Caglar, A., Yelten, M.B., "A 180-nm X-Band Cryogenic CMOS LNA", *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, 30(4): 395-398, (2020).
- [21] Arican, G.O., Dokmetas, B., Akcam, N. and Yazgan, E., "28-36 GHz MMIC LNA Design for Satellite Applications", *2019 11th International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ELECO)*, Bursa, Turkey, 726-729, (2019).
- [22] Yurttakal, O., Gunes, F., "Performance Enhancement Of Lna Using Series Feedback", *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences*, 37(4): 1096-1106, (2019).
- [23] Arican, G.O., Akcam, N. and Yazgan, E., "Ku-band MMIC LNA design for space applications", *International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ICEEE)*, Istanbul, Turkey, 274-278, (2019).
- [24] Lerdworatawee, J., Namgoong, W., "Wide-band CMOS cascode low-noise amplifier design based on source degeneration topology", *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers*, 52(11): 2327-2334, (2005).
- [25] Lin, Y.T., Chen, H.C., Wang, T., Lin, Y.S., Lu, S.S. "3–10-GHz ultra-wideband low-noise amplifier utilizing miller effect and inductive shunt–shunt feedback technique", *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 55(9): 1832-1843, (2007).
- [26] Armagan Gurdal, Burak Alptug Yilmaz, Omer Cengiz, Ozlern Sen, Ekmel Ozbay, "X Band GaN Based MMIC Power Amplifier with 36.5dBm P1- dB for Space Applications", *48th European Microwave Conference (EuMC)*, (2018).