

## Evre kaydırımlı mikroşerit yama anten dizili Ku band alıcı tasarımı

**Bülent YAĞCI, Osman PALAMUTÇUOĞLU, Selçuk PAKER**

*İTÜ Elektrik-Elektronik Fakültesi, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü, 34469, Ayazağa, İstanbul*

### Özet

*Mikroşerit anten yapılarının; hafiflik, ucuzluk, yüzeysel kolay kullanım ve diğer devrelerle tümleştirilebilme gibi önemli özellikleri nedeniyle, üzerinde geniş ölçüde çalışmalar yapılmış ve çok çeşitli kullanım alanları bulunmuştur. Ku bandında uydu yayınlarını izlemek için kullanılacak ucuz, küçük ve verimli bir alıcı sistemi tasarım çalışması yapılmıştır. Sistem belirli bir boylam farkında yerleştirilmiş bulunan yer sabit yörüngeli uyduları, elektronik olarak ışın demetini kaydırarak, alıcı sisteme ilgili TV/Data işaretleri aktarabilecek özellikte olacaktır. Aynı zamanda hareketli alış noktalarında da bazı eklemelerle, uydu işaret alışı gerçekleştirebilecek özelliğe sahip olabilecektir. Bu çalışmada hem elektromagnetik hem de elektronik devre gerçekleştirimindeki zorluklar ve uygulamada karşılaşılan sorunlara ilişkin çözüm yöntemleri üzerinde durulmuştur.*

**Anahtar Kelimeler:** Mikroşerit, yama anten, düşük gürültülü kuvvetlendirici, uydu yayıncılığı (DBS).

### Design of ku band receiver with phased array microstrip patch antennas

#### Abstract

*Microstrip antennas have been developed primarily in the last 15 years, receiving the creative attentions of engineers and researchers throughout the world. As a result, microstrip antennas have quickly evolved from a research novelty to practical reality, with applications in a wide variety of microwave systems. Although microstrip antennas represent a significant advance in the field of antenna technology, it must be noted that it is usually their non-electrical characteristics that make microstrip antennas preferred over other elements. Microstrip antennas have a low profile and are light in weight, can be made conformal, and are well suited to integration with microwave integrated circuits (MICs). Some of the basic features of microstrip antennas are; low profile form factor, potentially light weight, potentially low cost, can be conformable with mounting structure, easily integrated with planar circuitry, capable of linear, dual, and circular polarizations and versatile feed geometries. Consequently Ku receiver, which is, small, low cost, easy to integrate, effective is designed and realized. With this system it will be possible to track satellites which are located to different positions at the orbit. For the first time in this work, both electromagnetic and electronic circuit problems in this kind of applications are targeted to solve and according to the current status it will be possible to realize this project in a small period of time.*

**Keywords:** Microstrip, patch antenna, low noise amplifier, satellite broadcasting systems (DBS).

---

\*Yazışmaların yapılacağı yazar: Bülent YAĞCI. yagci@ehb.itu.edu.tr; Tel: (212) 285 64 05.

Bu makale, birinci yazar tarafından İTÜ Elektrik-Elektronik Fakültesi'nde tamamlanmış olan "Evre kaydırımlı mikroşerit yama anten dizili ku band alıcı tasarımı" adlı doktora tezinden hazırlanmıştır. Makale metni 22.04.2003 tarihinde dergiye ulaşmış, 26.12.2003 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 30.06.2005 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

## Giriş

Günümüzde, telsiz iletişim sistemlerinin kullanımı olağanüstü bir hız kazanmıştır. Ses iletişiminden sonra veri iletişimi de hızlı bir şekilde bireysel uygulama alanları bulmaktadır. Durum bu noktaya geldiğinde, telsiz iletişim düzenlerindeki uygulama alanlarının hayal edilmesi bile güçleşmektedir. Bu ortamda önemli yararlar sağlanan mikroşerit yama antenler üzerinde bu çalışma kapsamındaki çalışmaların yapılmasının da büyük ölçüde yenilikler kazandıracığı düşünülmektedir.

Mikroşerit yama antenlerin uygulama alanlarının genişlemesi ile Ku Bandı alıcı anteni olarak tasarlanmasının da önemli yararlar sağlayacağı tespit edilmiştir (Balanis, 1997; Sainati., 1996; James, vd., 1981; Diaz, vd. 1996). Aktif Evre Kaydırımlı Mikroşerit Yama Anten Dizili Ku Band Alıcı tasarımı düşüncesi de bu noktada ortaya atılmıştır (Milligan, 1985). Bu tasarım sırasında karşılaşılan sorunlar kısaca; mikroşerit yama anten kayıplı yapısı, band genişliği, kazanç problemi, baskılı devre üzerinde her iki polarizasyon için de fiziksel gerçekleştirme sorunları, evre-kaydırıcı yapılarıdaki sorunlar ve son olarak tüm bu ayrıık problemlerin aynı baskılı devre üzerinde gerçekleştirilmesi olarak sıralanmaktadır.

Bu sorunların çözümü ile, anten paternini, yatay (azimut) ve düşey (elevasyon), ve polarizasyonda elektronik tarama özelliğine sahip bir düzlemsel Ku band alıcı sistemi gerçekleştirilmiş olacaktır.

Mikroşerit anten dizilerinin en önemli sorunlarından biri olan zayıflama sorununun çözümü için, mikroşerit yapılarla birlikte düşük gürültülü kuvvetlendiriciler (Low Noise Amplifier-LNA) kullanılmaktadır (alıcı sistemler için). Bu sayede zayıflama engellenmiş ve anten kazancı artırılmış olmaktadır.

## Uydu yayıncılığı

Yer senkron uydular (geosynchronous orbit satellites) radyo-TV yayıncılığı ve haberleşme sistemlerinde kullanılmaktadır Direct Broadcasting Satellites – DBS) DBS sistemleri geniş kaplama alanları (foot-print) ile X-Ku Bandında (10.7-12.7GHz),

analog ve sayısal yayıncılık sistemleri kullanarak, büyük bir coğrafyaya hizmet sunmaktadır. Kullanıcılar, ekvatorial eksende yer alan ve çoğu zaman da eş-yörünge yerleşimli uydulardan, farklı yatay ve düşey açılarına ayarlanmış, yatay ve düşey polarizasyonlarda olan alıcı antenleri ile erişmektedirler. Bu çeşitlilik geniş bir coğrafi alanda bulunan çok büyük sayıda kullanıcının alıcı anten sistemlerini, yukarıdaki ihtiyaçları karşılayabilmek için, aynı alıcı anten sistemini, farklı yatay, düşey ve polarizasyon değerlerinde kullanması gerekir. Günümüzde bu işlevler, mekanik denetimli anten sistemleri ile gerçekleştirilebilmektedir. Yakın gelecekte, kitlesel olarak elektronik denetimli, mekanik sabit, düzlemsel anten sistemleri büyük ölçüde kullanım alanı bulacaktır.

Örnek olarak İstanbul 41° kuzey enlemi ve 29° doğu boylamında bulunmaktadır. Bu yerleşim yerinden farklı boylamlarda bulunan uydular için gerekli olan yatay, düşey açıları Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. İstanbul için yatay-düşey açı değerleri

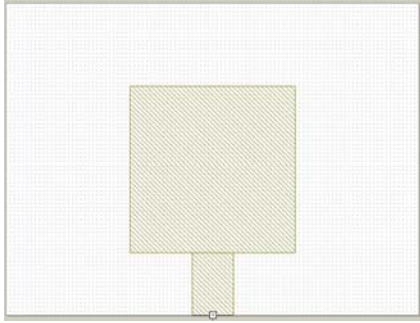
EutelsW3	7	211.57	37.42	45
EutelsW1	10	207.64	38.66	45
Hotbird1-5	13	203.56	39.74	50
EutelsW2	16	199.35	40.36	50
Türksat1C	31	176.95	42.45	54
Türksat2A	42	160.54	40.66	50

Tablo 1’de yer alan yatay ve düşey açıları ile izlenebilen uydulara erişim için, elektronik olarak kontrol edilecek bir anten sistemi, 50 dereceye yakın yatay ve 4° düşey açısal bölgede değişim gösterebilmelidir. Bu uydulardaki yayınların alınabilmesi için ihtiyaç duyulacak sistem (Gürültü sayısı 1.0dB) için yaklaşık 31dB anten kazancına ihtiyaç duyulmaktadır. Yatay düzlemdeki ışın demeti, aynı frekans bandını kullanan komşu uyduların yayınları ile aradaki izolasyonu sağlamak için belirli bir değeri sağlamalıdır. Bu anten kazancı yatay olarak 3° ve düşey olarak 9°’lik bir anten demeti ile sağlanabilmektedir. Düşey demet genişliğinin gerekli büyüklükte seçilmesi, oluşturulacak anten dizisinin bir uzamda sabit kalabilmesini de (ışın demet kaydırımına ihtiyaç duyulmadan) sağlayabilecektir.

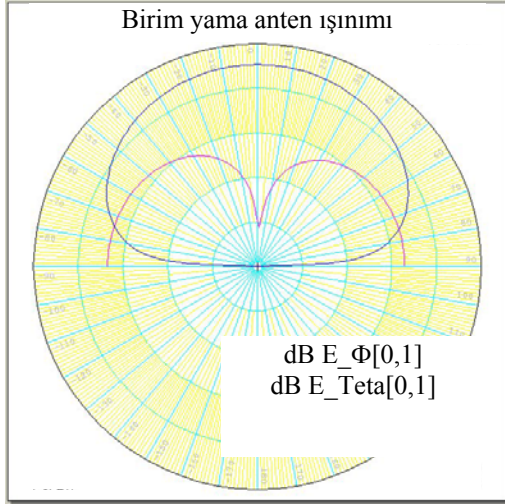
## Yama anten tasarımı

Düzlemsel anten dizisi içinde yer alacak olan temel yama anten elemanı için belirlenecek olan boyutlandırma işlemleri bir mikrodalga simulatörü kullanarak gerçekleştirilmiştir (Pozar vd., 1996; James vd., 1989). Şekil 1’de görülen birim yama anten elemanı için boyutlar, 0.86cm x 0.86cm, taban h=1.59mm,  $\epsilon_r=2.2$  Duroid olarak belirlenmiştir.

Seçilen boyutlar için birim elemanın ışın demeti Şekil 2’de görülmektedir. Bu elemanın merkez frekansta yönlülüğü (directivity) 7.35dB, yatay ve düşey yönlerdeki 3dB demet band genişliği  $80^\circ$  ve  $96^\circ$ ’dir.



Şekil 1. Birim yama anten elemanı



Maks.Genlik 10dB, Min. Genlik -40dB  
Ölçek 10dB/birim

Şekil 2. Birim yama anten elemanı ışın demeti

## Düzlemsel dizi anten tasarımı

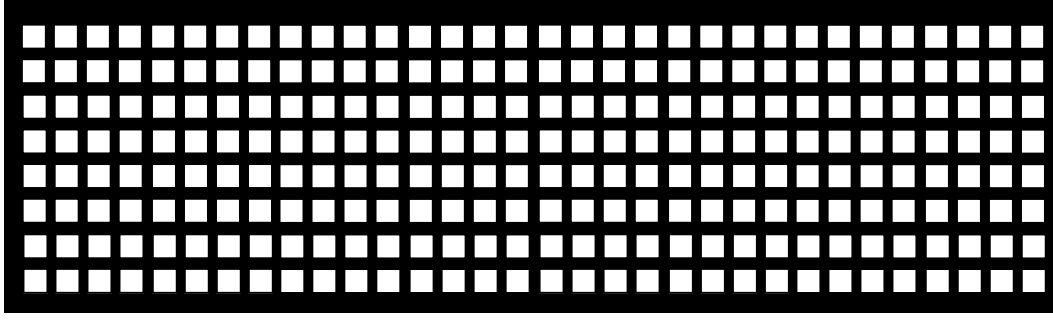
Birim yama anten elemanları kullanılarak oluşturulacak olan iki boyutlu anten dizisi için yatay ve düşey yönlerinde gerekli olan ışın demet genişliklerinin farklı olması nedeni ile, N ve M sayılarında dizi boyutlandırması yapılmıştır ( $N>M$ ). Her iki yönde de dizi birim elemanları arasındaki sabit d uzunluğu için frekans, yatay-düşey açıları, N ve M boyutları için, homojen beslemeli, anten ışın diyagramı çarpanının açığa bağlı olarak değişimi,  $G_D$ ’dir.

$$G_D(\theta, \varphi) = \frac{\sin^2[N\pi(d/\lambda)\sin\theta] \sin^2[M\pi(d/\lambda)\sin\varphi]}{N^2 \sin^2[\pi(d/\lambda)\sin\theta] M^2 \sin^2[\pi(d/\lambda)\sin\varphi]} \quad (1)$$

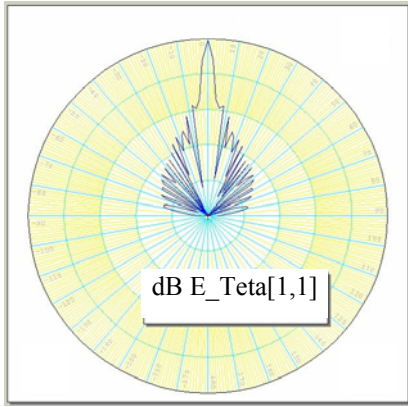
Anten elemanları arasındaki mesafe,  $d=1.72$ cm, band ortası frekans 11.7GHz, yatay ve düşey yama anten sayıları,  $N=32$ ,  $M=8$  olarak belirlendiğinde, anten dizi kazanç çarpanı  $GD=24.36$ dB’dir. Bu dizi boyutu için sistemin toplam yönlendiriciliği 31.66dB, yatay, düşey demet genişlikleri,  $3^\circ$  ve  $9^\circ$ ’dir.  $32 \times 8 = 256$  eş beslemeli, yama anten elemanından oluşan anten dizisi, DBS uydularından analog ve sayısal TV, Radyo ve data işaretlerinin alınmasında kullanılabilecek minimum boyutlara sahip anten sistemini oluşturmaktadır. Bu elemanlarla oluşturulmuş olan düzlemsel anten dizisi yaklaşık olarak 60cm x 20cm boyutlarında gerçekleştirilebilmektedir. Şekil 3’te sistemin dizilimi görülmektedir. Şekil 4’te yatay ışın diyagramı, Şekil 5’de de düşey ışın diyagramı görülmektedir. Anten dizisi üzerinde yer alan elemanların besleme, genlik ve fazlarının homojen olmadığı durumda oluşan sistemin yönlendiriciliği, her bir yöndeki direktivite, her bir yöndeki direktivite, her bir yöndeki direktivite çarpımı cinsinden ifade edilebilir. Bu besleme çarpanları (2) ve (3) bağıntılarında (Amitay vd., 1972; Bevan vd., 1982)  $\alpha(d,y)$  ile belirtilmektedir.

$$D_D = \frac{\left[ \sum_{m=1}^{N_D} \alpha_d(m) \right]^2}{\sum_{m=1}^{N_D} \sum_{n=1}^{N_D} \alpha_d(m) \alpha_d(n) \frac{\sin[k_0(d_m - d_n)]}{k_0(d_m - d_n)}} \quad (2)$$

$$D_Y = \frac{\left[ \sum_{m=1}^{N_Y} \alpha_y(m) \right]^2}{\sum_{m=1}^{N_Y} \sum_{n=1}^{N_Y} \alpha_y(m) \alpha_y(n) \frac{\sin[k_0(d_m - d_n)]}{k_0(d_m - d_n)}} \quad (3)$$

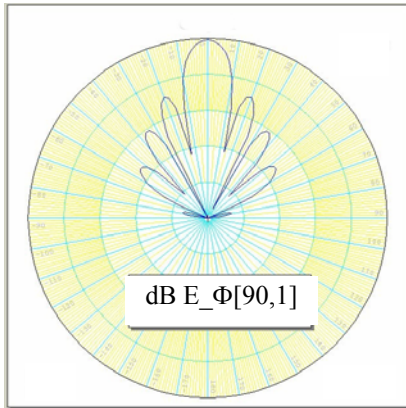


Şekil 3. 32x8 Anten dizisi dizilimi



Maks.Genlik 30dB  
Min. Genlik -20dB  
Ölçek 10dB/birim

Şekil 4. 32x8 Anten dizisi yatay ışım diyagramı



Maks.Genlik 30dB  
Min. Genlik -20dB  
Ölçek 10dB/birim

Şekil 5. 32x8 Anten dizisi düşey ışım diyagramı

### Yatay ve düşey besleme devreleri ve evre kaydırıcı

Mikroşerit yama antenlerin besleme düzenlerinde çok farklı yöntemler kullanmak mümkündür. Bu

besleme yöntemlerine göre, farklı besleme düzeni s-parametresi matrisleri hesaplanabilir. 256 x 1 boyutunda bir matris oluşturulabileceği gibi, yatay ve düşey demetlerdeki düzgünlük korunmak şartıyla, 32x1 ve 8x1'lik dizilerin birleştirilmesi ile hedeflenen sabit düşey, değişken yatay açısal demet hareketinin oluşturulmasını mümkün kılar. Şekil 6'da 8x1 elemanlı düşey dizinin besleme devresinin yapısı görülmektedir (Anten elemanı sonrasındaki kutular mikroşerit hatlardır). Şekil 7'de, bu düşey dizinin simetrik bir yarısının (dörtlü olarak) S-Parametrelerinin genliklerinin frekansla değişimi görülmektedir.

Yatay dizisinde de paralel eş beslemeli bir yapı uygulanmıştır. Bu yapıda Şekil 8'de görüldüğü gibi, birer LNA (Şekil 9 ve Şekil 10) ve Şekil 11 veya Şekil 13'deki, evre kaydırıcı eleman kaskat olarak kullanılmıştır.

Bu sayede yatay dizisinde istenilen ışın demeti değişimi sağlanmaktadır. Anten yatay dizisi paralel eş beslemeli yapıdadır.

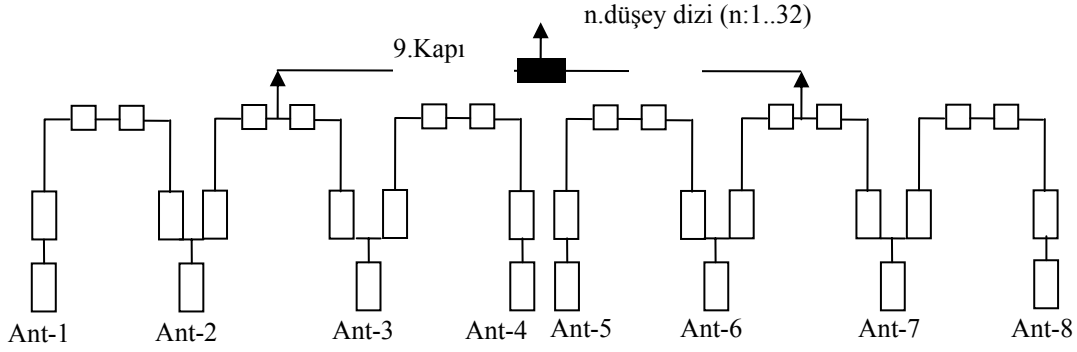
Bu besleme yapısında, her bir düşey dizisinde, X-Ku Bandında 5 veya 6 bit evre denetimi yapabilen tümdevre elemanlarının, düşük gürültülü kuvvetlendirici (LNA) ile birlikte kullanılması halinde, her bir paralel kolda farklı evre kaydırımı uygulayarak, anten yatay ışınım demetinin döndürülmesi mümkün olmaktadır.

Bu yapıda kullanılacak evre kaydırıcılardan ikisinin özellikleri aşağıda verilmektedir.:

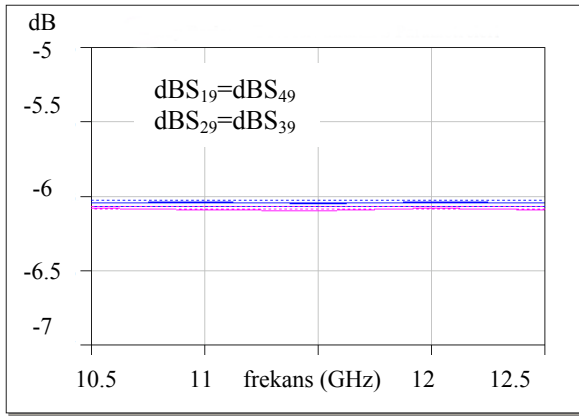
Triquint Semiconductor TGP6336-EEU:

- 6 -- 18 GHz Frekans Bandı
- 5-Bit Evre kaydırımı

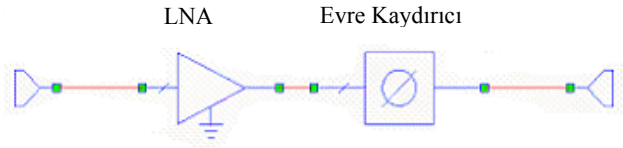
## Ku band alıcı tasarımı



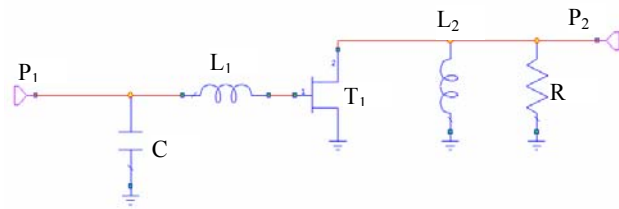
Şekil 6. 8 elemanlı düşey dizisinin besleme devresi



Şekil 7. 8 elemanlı düşey dizisinin besleme devresi S-Parametrelerinin genlikleri



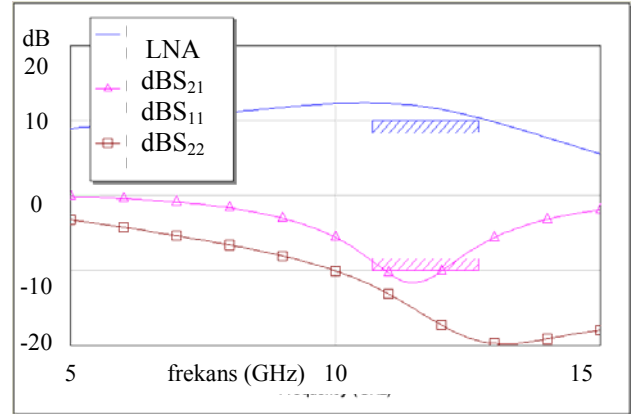
Şekil 8. Yatay dizisinin besleme devresi aktif eleman devresi



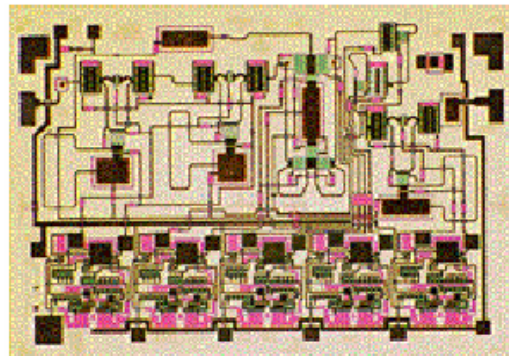
Şekil 9. Kuvvetlendirici devresi (LNA)

- Tümdevre üstünde CMOS uyumlu sürücüler
- 9 dB tipik araya girme kaybı (Insertion loss)
- 2:1 tipik giriş/çıkış SWR: 2.6:1
- 3.556 x 2.540 x 0.1016 mm

TriQuint TGP6336-EEU GaAs MMIC 5-bit evre kaydırıcı ile 6-18 GHz. Frekans bandı aralığında, 0-348.75 dereceler arasında 11.25 derece adımlarla evre kaydırma, işlevi gerçekleştirilebilmektedir. Denetim gerilimleri, 0 ve 5 V'tur.



Şekil 10. LNA  $S_{21}$ ,  $S_{11}$ ,  $S_{22}$



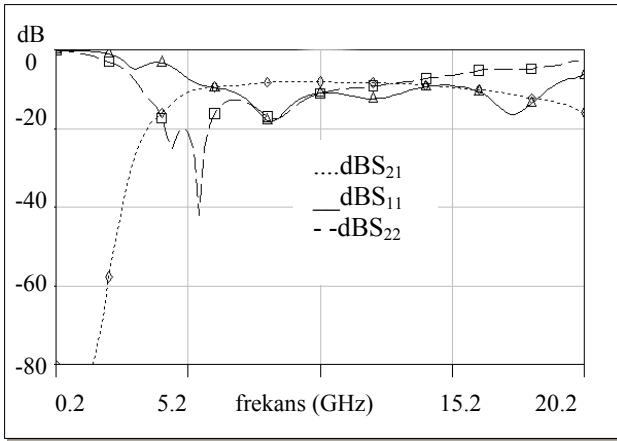
Şekil 11. Triquint faz kaydırıcı (3.556 x 2.540 mm)

Northrop Grumman Microelectronic PHS2580

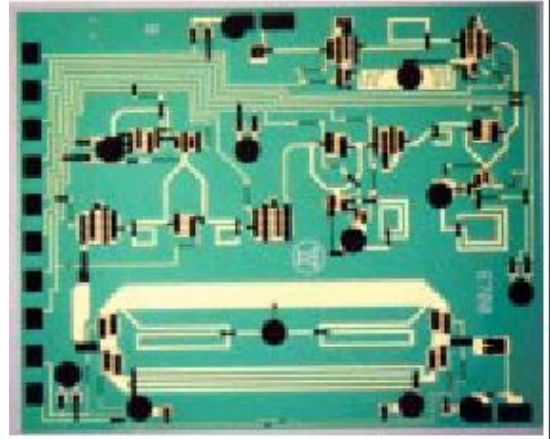
- 8 -- 12 GHz Frekans Bandı
- 6-Bit Evre kaydırımı

- $5 \pm 0.5$  dB tipik araya girme kaybı
- $S_{11}$  &  $S_{22} < -10$  dB
- $3.3 \times 3.2$  mm tümdevre boyutları
- Toplam evre kaydırımı  $360^\circ$
- Evre hatası  $4^\circ$
- Anahtarlama süresi 20ns

PHS2580 sayısal denetimli MMIC tabanlı kaskat yapıda 6bit'lik, ( $180^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $22.5^\circ$ ,  $11.25^\circ$ ,  $5.6^\circ$ ) evre kaydırıcısıdır. Düşük araya girme kaybı değerlerine sahiptir.



Şekil 12. Triquint evre kaydırıcı S parametreleri

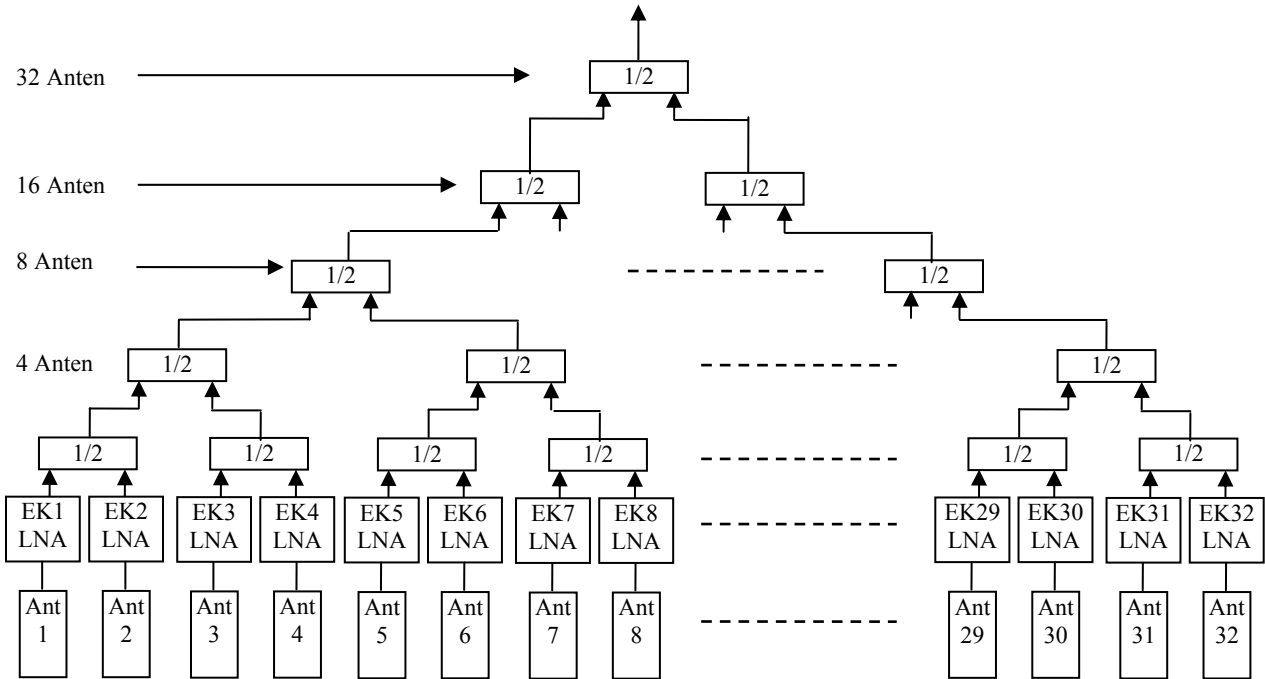


Şekil 13. Northrop Grumman Microelectronic 6 bit evre kaydırıcı ( $3.3 \times 3.2$  mm)

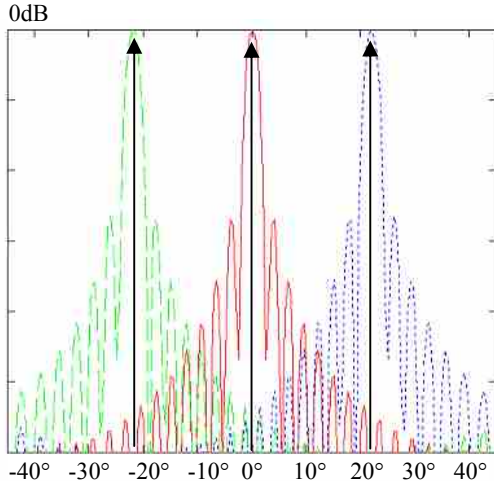
Şekil 14'te 32 adet dikey dizinin birleştirim devresi görülmektedir.

Şekil 15'te yatay paralel eş besleme devresi görülmektedir.

Şekil 15'te düzlemsel anten dizisinin sayısal denetimli evre kaydırıcıların farklı değerlerine karşılık, ışınım demetinin normalize, logaritmik açısal değişimi görülmektedir.



Şekil 14. 32 elemanlı yatay dizisinin besleme devresi



Şekil 15. 32 elemanlı yatay dizisi ışınım demetinin, farklı evrelere karşılık logaritmik normalize değişimi

## Sonuçlar

Bu çalışmada, Ku bandında uydu yayınlarını izlemek için kullanılabilir ucuz, kolay kullanılabilen, küçük ve verimli bir alıcı sistemi tasarımı yapılmıştır. Sistem, belirli bir boylam farkında yerleştirilmiş bulunan yer sabit yörüngeli uydulardan işaret alışı yapabilmek için elektronik denetimle ışın demeti kaydırımı yaparak, alıcı sisteme ilgili TV/Data işaretleri aktarabilecek özellikte olmaktadır. Elektronik olarak kontrol edilecek bir anten sisteminin 50 dereceye yakın bir yatay açısal bölgede değişim gösterebilmesi ve 4 derece aralığında sabit düşey demetinin olması gerektiği belirlenmiştir. Bu değerler minimum 32x8 elemanlı dizi ile gerçekleştirilebilmektedir. Yatay ve düşey dizi-

lerinde birbirinden bağımsız besleme yapıları seçilmiştir. Yatay dizilerinin herbirine yerleştirilmiş olan LNA ve evre kaydırıcılar ile, yatay ışınım demetinin evresi denetlenebilmekte ve belirli bir bölge içinde farklı konumlarda (boylamlarda) bulunan yersabit yörüngeli uydulara ayarlanabilmektedir.

## Kaynaklar

- Amitay N., Galindo V., and Wu C. P., (1972). Theory and analysis of phased array antennas, John Wiley and Sons.
- Balanis, A. C., (1997). Antenna theory analysis and design, John Wiley & Sons, New York.
- Bevan B. Jones, F. Y. M. Chow, venthony W. Seeto. (1982). The synthesis of shaped patterns with series-fed microstrip patch arrays. *IEEE Trans. on Antennas and Propagation*, AP-30(6):1206--1212, November.
- Diaz L., Milligan T., (1996). Antenna engineering using physical optics, practical cad techniques and software, Artech House, Boston.
- James J.R., Hall, P.S., Wood, C., (1981). Microstrip antenna theory and design, The Institution of Electrical Engineers, London.
- James J. R. ve Hall P. S., (1989). Handbook of microstrip antennas, Peter Peregrinus.
- Milligan T. A., (1985). Modern antenna design, McGraw Hill.
- Pozar D. M. ve Schaubert D. H., (1996). Microstrip antennas: The analysis and design of microstrip antennas and arrays, IEEE Press.
- Sainati, R. A., (1996). CAD of Microstrip antennas for wireless applications artec house, Boston., Galindo V., veu C. P., (1972). Theory.