

Huzme Oluşturan Geniş Bantlı Mikroşerit Rotman Lens Tasarımı ve Doğrulaması

D. Duygu TEKBAŞ, M. Tuncay BİRAND*
ASELSAN
Radar, Elektronik Harp ve İstihbarat Sistemleri Grubu
Ankara
ddtekb@aselsan.com.tr

*Ortadoğu Teknik Üniversitesi
Elektronik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
Ankara
tbirand@metu.edu.tr

Özet: Bu çalışmada çeşitli anten sistemlerinde huzme yönlendirme birimi olarak kullanılan “Rotman lens” yapısı incelenmektedir. Bu kapsamda tasarlanan, 8 GHz – 16 GHz frekans aralığında çalışan geniş bantlı mikroşerit Rotman lens tasarım süreci ve üretilen lens yapısının benzetim ve ölçüm sonuçları karşılaştırmalı bir şekilde verilmektedir.

1. Giriş

Son yıllarda, kablosuz iletişimin önem kazanmasıyla çoklu-huzmeli ve akıllı/adaptif anten sistemleri de ön plana çıkmıştır. Bu sistemlerde değişik tiplerde huzme yönlendirme birimleri kullanılmaktadır: matris tipi, dijital ve mikrodalga lens tipi huzme yönlendirme birimleri.

Mikrodalga lensler gerçek-zaman gecikmeli olmaları sebebiyle geniş bantlı ve geniş açılı bir tarama kabiliyeti sağlamaktadır. Otomobil çarpışma önleme sistemleri, uzaktan kontrol edilen radarlar, uzaktan uydu alıcıları, vb. uygulamalarda geniş frekans bantlarında geniş-açılı tarama yapabilen kompakt anten sistemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Baskı devreli mikrodalga lensler bu ihtiyacı karşılanmasında önemli rol oynamaktadır. Rotman lens de mikrodalga lens yapılarından biri olup dalga kılavuzu veya mikroşerit yapılarla tasarlanabilmektedir.

Bu bildiride baskı devreli mikrodalga lenslere örnek olan mikroşerit Rotman lens tasarımı anlatılacaktır. Tasarım parametreleri ve denklemler verilecek sonrasında da gerçekleştirme ve üretim aşamaları anlatılacaktır. Üretilen Rotman lens yapısının ölçüm ve benzetim sonuçları karşılaştırmalı olarak verilecektir.

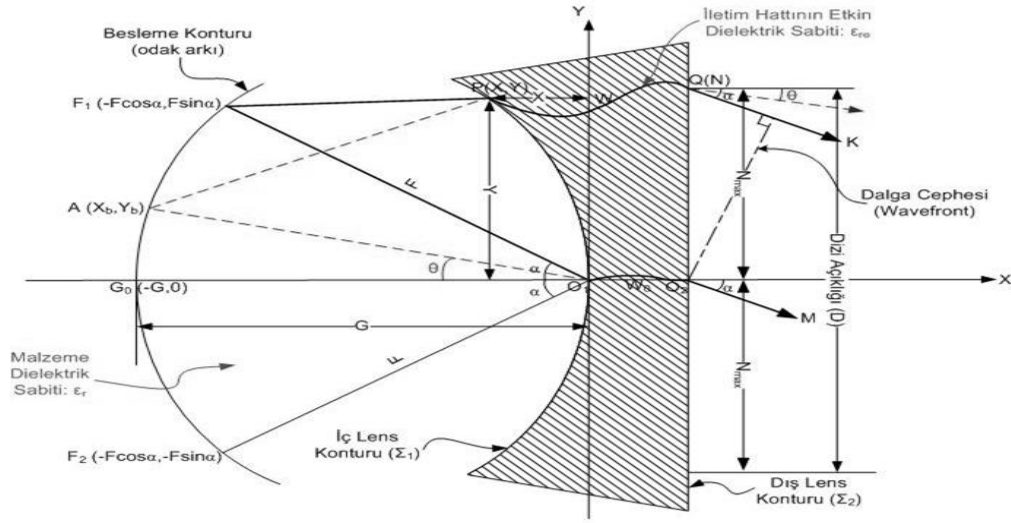
2. Rotman Lens Tasarımı

Tasarlanan Rotman lensin şematiki ve tasarımı kullanılan parametreler Şekil 1’de verilmiştir. Tasarım parametrelerinin tanımları aşağıda verilmektedir:

- F: Eksen-dışı odak uzaklığı
- G: Eksen-üzeri odak uzaklığı
- W, W_0 : İletim hattının uzunluğu
- α : Odak açısı
- θ : Besleme portlarının faz merkezlerine karşılık gelen açı (=tarama açısı)

Tasarım için [1]’de anlatılan tasarım yaklaşımı kullanılmıştır. Ayrıca tasarım yaklaşımını mikroşerit modele uyumlu hale getirmek için [2]’de anlatılan ölçekleme metodu uygulanmıştır. Şekil 1’de görülen iç lens konturu (Σ_1) almaç probleminin, dış lens konturu (Σ_2) ise anten dizi elemanlarının faz merkezlerinin yerini belirler. Bu tasarım yaklaşımında; Σ_2 düz olacak şekilde seçilmiştir, Σ_1 tasarımında ise 3 odak noktası (G_0, F_1, F_2) kullanılmıştır.

Şekil 1’deki $P(X, Y)$ noktaları Σ_1 ’i, $Q(N)$ noktaları Σ_2 ’yi, $A(X_b, Y_b)$ noktaları da besleme konturunu oluşturmaktadır. İki kontur arasındaki bağlantı elektriksel uzunlukları W olan iletim hatlarıyla sağlanmaktadır. N parametresi dizi elemanlarının yerlerine denk geldiği için önceden belirlenir, böylece belirli N değerleri için X, Y ve W parametreleri hesaplanmalıdır.



Şekil 1. Rotman Lens Tasarım Parametreleri

Lens konturu hesaplaması için $\overline{F_1PQK}$ ve $\overline{F_1O_1O_2M}$ ışınları arasındaki optik yol uzunluğu eşitliği denklemleri (1, 2, 3) ve geometriden gelen denklemler (4, 5, 6) yazılır:

$$\sqrt{\epsilon_r}(\overline{F_1P}) + \sqrt{\epsilon_{re}}W + N \sin \alpha = \sqrt{\epsilon_r}F + \sqrt{\epsilon_{re}}W_0 \quad (1)$$

$$\sqrt{\epsilon_r}(\overline{F_2P}) + \sqrt{\epsilon_{re}}W - N \sin \alpha = \sqrt{\epsilon_r}F + \sqrt{\epsilon_{re}}W_0 \quad (2)$$

$$\sqrt{\epsilon_r}(\overline{G_0P}) + \sqrt{\epsilon_{re}}W = \sqrt{\epsilon_r}G + \sqrt{\epsilon_{re}}W_0 \quad (3)$$

$$(\overline{F_1P})^2 = F^2 + X^2 + Y^2 + 2FX \cos \alpha - 2FY \sin \alpha \quad (4)$$

$$(\overline{F_2P})^2 = F^2 + X^2 + Y^2 + 2FX \cos \alpha + 2FY \sin \alpha \quad (5)$$

$$(\overline{G_0P})^2 = (G + X)^2 + Y^2 \quad (6)$$

Tüm parametreler, odak uzaklığı F' ye göre normalize edilir:

$$\eta = N/F, \quad x = X/F, \quad y = Y/F, \quad w = (W - W_0)/F, \quad g = G/F$$

Ayrıca denklemlerin sadeliği için “ $a_0 = \cos \alpha$ ” ve “ $b_0 = \sin \alpha$ ” parametreleri tanımlanır ve denklemleri birbirine eşitleyip sadeleştirdikten sonra x , y ve w parametreleri normalize parametreler cinsinden yazılır (7, 8, 9). “ w ” ikinci dereceden denklem olan (7)’den elde edilir, sonrasında (8) ve (9)’dan x ve y hesaplanır.

$$aw^2 + bw + c = 0 \quad (7)$$

$$a = \left[\frac{\epsilon_{re}}{\epsilon_r} \left(1 - \left(\frac{g-1}{g-a_0} \right)^2 - \frac{\eta^2}{\epsilon_r} \right) \right], \quad b = \left[\frac{\sqrt{\epsilon_{re}}}{\sqrt{\epsilon_r}} \left(2g \left(\frac{g-1}{g-a_0} - 1 \right) - \frac{(g-1)}{(g-a_0)^2} b_0^2 \frac{\eta^2}{\epsilon_r} + 2 \frac{\eta^2}{\epsilon_r} \right) \right], \quad c = \left[\frac{gb_0^2 \eta^2}{(g-a_0)\epsilon_r} - \frac{b_0^4 \eta^4}{4\epsilon_r^2 (g-a_0)^2} - \frac{\eta^2}{\epsilon_r} \right].$$

$$x = \frac{\sqrt{\epsilon_{re}} (1-g)}{\sqrt{\epsilon_r} (g-a_0)} w - \frac{\eta^2 b_0^2}{2(g-a_0)\epsilon_r} \quad (8)$$

$$y = \frac{\eta}{\sqrt{\epsilon_r}} \left(1 - \frac{\sqrt{\epsilon_{re}}}{\sqrt{\epsilon_r}} w \right) \quad (9)$$

Besleme konturu, 3 odak noktasından geçen daire olarak seçilmiştir ve normalize koordinatları (x_b, y_b) , (10) ve (11) kullanılarak hesaplanır.

$$[1 + \tan^2 \theta] x_b^2 + \left(\frac{1 - g^2}{\cos \alpha - g} \right) x_b + g^2 - g \frac{2g \cos \alpha - g^2 - 1}{\cos \alpha - g} = 0 \quad (10)$$

$$y_b = -\tan \theta x_b \quad (11)$$

3. Lens Performansı

Tasarım parametreleri α ve g optik yol uzunluğu hatasını en aza indirecek şekilde seçilmelidir. Optik yol uzunluğu hatası, besleme konturu üzerindeki bir noktadan gelip orijinden geçen ışınla lens üzerindeki bir noktadan geçen ışın arasındaki yol uzunluğu farkı olarak tanımlanır: $dL = [\sqrt{\epsilon_r}(\overline{AP}) + \sqrt{\epsilon_{re}}W + N \sin \theta] - [\sqrt{\epsilon_r}(\overline{AO_1}) + \sqrt{\epsilon_{re}}W_0]$.

Optik yol uzunluğu hatası normalize edilerek kontur koordinatları cinsinden yazılır:

$$dl = \sqrt{\epsilon_r}(\sqrt{(x - x_b)^2 + (y - y_b)^2} - \sqrt{x_b^2 + y_b^2}) + \sqrt{\epsilon_{re}}w + \eta \sin \theta \quad (12)$$

Odak açısı, α kullanılan tasarımda aynı zamanda maksimum tarama açısına denk gelmektedir. Bu sebeple α istenen tarama açısına göre seçilerek g parametresi optimize edilmelidir.

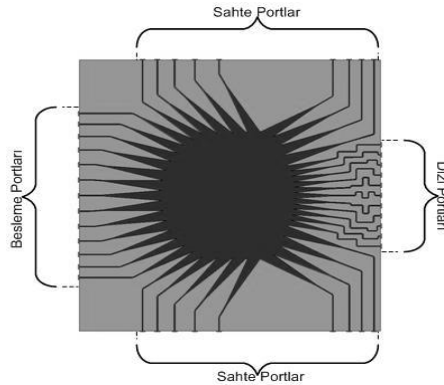
4. Gerçekleme

Mikroşerit Rotman lens gerçeklemesi için $\pm 30^\circ$ tarama yapabilen 13 besleme portu olan ve 11 portlu anten dizisini besleyecek bir tasarım yapılması düşünülmüştür. Tasarımda dielektrik sabiti 3.55 olan baskı devre kartı kullanılmıştır. Dizi açıklığını belirleyen $\eta_{\max} = 0.5$ olarak seçilmiş, böylece F/D oranı 1 olmuştur. “g” parametresi ise tüm dizi elemanları ve tüm tarama açılarındaki en büyük normalize optik yol uzunluğu hatasını minimize edecek şekilde 1.15 olarak belirlenmiştir.

Normalize parametreler belirlendikten sonra çalışma frekansını belirleyen F hesaplaması yapılmıştır. F parametresi anten elemanları arasındaki uzaklığı doğrudan etkiler ve frekans bandı boyunca “grating lobe” oluşmaması için F parametresi (13)’de verilen şartı sağlamalıdır (N:anten eleman sayısı). Bu şartları sağlayacak şekilde 8-16 GHz frekans bandı için F, 120 mm olarak seçilmiştir. Böylece antenler arası uzaklık da 12 mm olmuştur.

$$F < \frac{\lambda_{\min}}{1 + \sin \theta_{\max}} * \frac{(N-1)}{(2 * n_{\max})} \quad (13)$$

Belirlenen parametreler ve kontur koordinatları kullanılarak Şekil 2’de modeli görülen lens yapısı gerçekleştirilmiştir. Portların empedans uyulmaması için lineer geçiş kullanılmış ve geri dönüş kaybını optimize edecek şekilde ayarlanmıştır. Ayrıca lensin yan duvarlarındaki yansımayı engellemek için yan duvarlara sahte portlar (18 port) yerleştirilmiştir ve bu portlara yükler takılmaktadır.

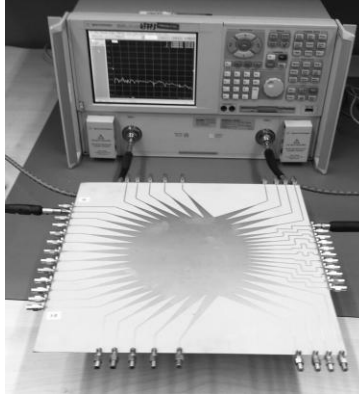


Şekil 2. Gerçeklenen Rotman Lens Modeli

5. Benzetim ve Ölçümler

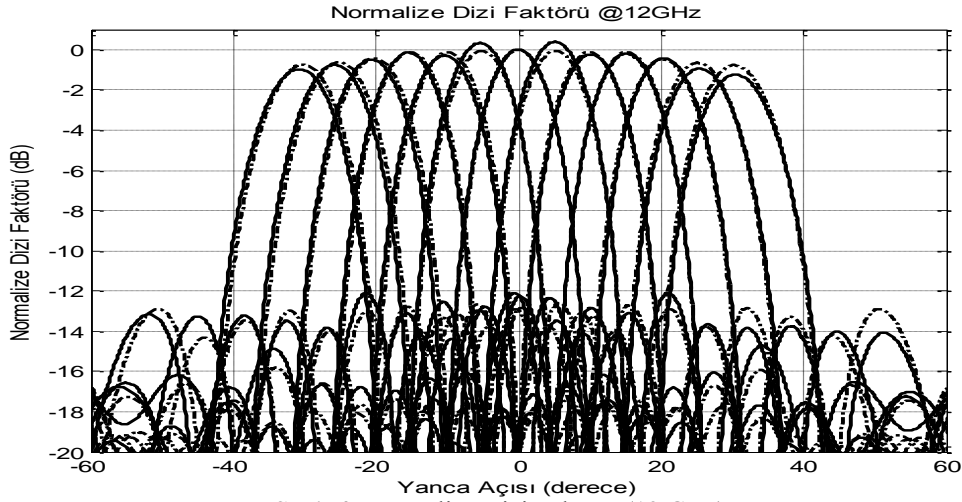
Tasarlanan lensin benzetimi için HFSS benzetim programı kullanılmıştır. Benzetim sonucunda çıkan 42x42 S-matris değerlendirildiğinde geri dönüş kaybı değerlerinin tüm frekans bandında 10 dB’nin altında kaldığı görülmüştür. Ayrıca, portlar arası etkileşime bakıldığında besleme portları arasındaki etkileşimin 15 dB’nin, dizi portları

arasındaki etkileşimin ise 10 dB'nin altında kaldığı gözlemlenmiştir. Üretilen lens yapısı da Şekil 3'te görüldüğü gibi network analizörle ölçülerek sonuçlar benzetimle karşılaştırılmıştır.



Şekil 3. Rotman Lens Network Analizör Ölçümü

Lensin huzme yönlendirme performansını incelemek için besleme portları ve dizi portları arasındaki araya girme kaybının (S21) faz ve genlik değerleri dizi elemanlarının besleme katsayısı olarak kullanılarak her besleme portu için dizi faktörü hesaplanmıştır. Benzetim ve ölçümden elde edilen S21 değerleri kullanılarak tüm besleme portları için hesaplanan dizi faktörü Şekil 4'te görülmektedir. Şekil 4'te görülen huzmeler, orta huzme tepesine göre normalize edilerek çizilmiştir.



Şekil 4. Normalize Dizi Faktörü (12 GHz)

6. Sonuç

Bu bildiride geniş bantlı mikroşerit Rotman lens tasarımı ve gerçekleştirilmesi anlatılmıştır. 8–16 GHz frekans bandında çalışan lens yapısı üretilmiş ve ölçümlerle düzgün çalıştığı doğrulanmıştır. Gelecekte dalga kılavuzu ve “stripline” yapılarla da Rotman lens tasarım çalışmaları yapılması planlanmaktadır.

Kaynaklar

- [1]. W. Rotman ve R. F. Turner, “Wide-Angle Microwave Lens for Line Source Applications”, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 11, s. 623-632, Kasım 1963.
- [2]. G. L. Leonakis, “Correction to Wide-Angle Microwave Lens for Line Source Applications”, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 36, no. 8, s. 1067, Ağustos 1986.
- [3]. J. Kim ve F. S. Barnes, “Scaling and Focusing of the Rotman Lens”, Proceedings IEEE AP-S Int. Symp., 2009, s. 663-666.