

Ku-Bant Tek Kanal Dalga Kılavuzu Döner Eklem

Can Barış Top, Cemal Saralp

Radar, Elektronik Harp ve İstihbarat Sistemleri Grubu

ASELSAN A.Ş

ANKARA

cbtop@aselsan.com.tr, csaralp@aselsan.com.tr

Özet: Döner eklemler mekanik olarak yönlendirilen ya da sürekli dönüş yapan antenlerde RF-mikrodalga işaretin anten ve gönderme/alma birimi arasında iletimini sağlamakta kullanılmaktadır. Bu çalışmada, Ku-Bant'ta geliştirilen % 2.5 bant genişliğini sahip dalga kılavuzu tipi bir tek kanal döner eklem elektronik ve mekanik tasarımı anlatılmaktadır. Üretimi yapılan döner eklem S-parametreleri farklı döner eklem açıları için sunulmaktadır.

1. Giriş

Almaç/gönderme yapılarının anten ile birlikte hareket etmediği, mekanik olarak yönlendirilen veya sürekli dönüş yapan antenlerde RF/mikrodalga işaretin hareketsiz bölümden hareketli bölüme (veya hareketli bölümden hareketsiz bölüme) aktarılması döner eklem adı verilen elektro-mekanik bileşenlerle mümkün olmaktadır. Döner eklemlerde koaksiyel veya dalga kılavuzu iletim hatları kullanılır. Döner eklemler bir veya birden çok kanal içerebilmektedir. Koaksiyel iletim hatlı döner eklemlerde birden çok kanal pratik olarak mümkün olsa bile frekans arttıkça istenen performansın sağlanması zorlaşmaktadır. Bu çalışmada Ku frekans bandında geliştirilen tek kanallı dalga kılavuzu tipi bir döner eklem elektromanyetik ve mekanik tasarımı ve ölçüm sonuçları verilmektedir. 2. Bölüm'de döner eklem elektromanyetik ve mekanik tasarımı verilmiştir. 3. Bölümde üretilen döner eklem ölçüm sonuçları yer almaktadır.

2. Dalga Kılavuzu Tek Kanal Döner Eklem Elektromanyetik ve Mekanik Tasarımı

Tek kanallı dikdörtgen dalga kılavuzu tipi döner eklemlerde dönüş koaksiyel iletim hattı üzerinde veya dalga kılavuzu iletim hattı üzerinde gerçekleştirilebilmektedir [1]-[3]. Mekanik olarak dönen iletim hattında elektromanyetik dalganın eksenel simetrik bir modda ilerlemesi gerekmektedir. Dönüşün koaksiyel iletim hattı üzerinde olduğu döner eklemlerde öncelikle dikdörtgen dalga kılavuzundan koaksiyel iletim hattına "single-ridged" uyumlama kullanılarak geçilir ve dönüş noktasında eksenel simetri sağlanır. Koaksiyel hat üzerinde bulunan "choke" yapısı ile kontakt olmadan elektriksel iletkenlik elde edilir. Mekanik dönüş eksenel simetrik koaksiyel iletim hattında sağlandıktan sonra tekrar dikdörtgen dalga kılavuzu hatta geçilir. Bu tip döner eklemlerde bant genişliği "choke" yapısının ve dalga kılavuzunun çalışma bandı tarafından belirlenir. Ortalama güç kaldırma kapasitesi yüksektir. Döner eklem yapısı U tipi, I tipi veya L tipi olabilmektedir [1].

Dönüşün dalga kılavuzu iletim hattı üzerinde bulunduğu döner eklemlerde dikdörtgen dalga kılavuzundan dairesel dalga kılavuzuna geçilir ve dönüş noktasında eksenel simetri sağlanır. Dairesel dalga kılavuzuna bulunan "choke" yapısı ile kontakt olmadan elektriksel iletkenlik elde edilir. Mekanik dönüş dairesel dalga kılavuzuna hattında sağlandıktan sonra tekrar dikdörtgen dalga kılavuzu hatta geçilir. Bu tip döner eklemlerde bant genişliği dikdörtgen dalga kılavuzundan dairesel dalga kılavuzuna geçiş yapısı tarafından belirlenir. Bant genişliği birinci tipe oranla dardır. Maksimum ve ortalama güç kaldırma kapasitesi yüksektir. Bu tip döner eklemler U tipindedir.

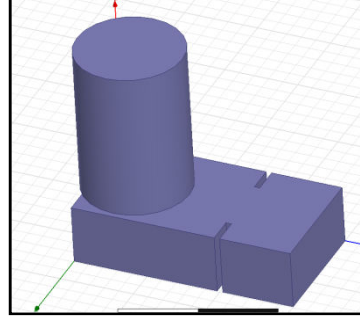
Çalışma kapsamında dönüşün dalga kılavuzu iletim hattında sağlandığı U tipi bir döner eklem yapısı tasarlanmıştır.

2.1. Elektromanyetik Tasarım

Bu tip döner eklemlerin performansı dikdörtgen dalga kılavuzu-dairesel dalga kılavuzu geçiş ve kontaktsız dönüşü elektriksel iletkenlik ile birlikte sağlayan "choke" yapılarına bağlıdır. Bu yapıların tasarımı ayrı olarak yapılmıştır.

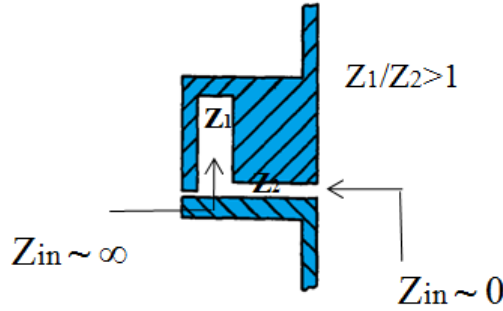
Dikdörtgen dalga kılavuzundan dairesel dalga kılavuzuna geçiş için Şekil 1'de gösterilen TE_{01} modundan TM_{01} moduna geçiş sağlayan yapı kullanılmıştır. Bu tip yapılarda merkez frekanstan uzaklaştıkça dairesel dalga kılavuzunda istenmeyen modlar oluşmakta, döner eklem performansı bozabilmektedir. Bunu önlemek için çeşitli mod bastırıcı yapılar kullanılabilir [1]. Bu çalışmada istenen bant genişliği görece dar olduğundan (~%2.5) bu tip

yapılar kullanılmamıştır. Dikdörtgen dalga kılavuzu boyutları standart WR62 dalga kılavuzu boyutlarındadır. Dairesel dalga kılavuzunda diğer modlara bağlaşımın 25 dB'den az olması kriteri konulmuştur. Dikdörtgen dalga kılavuzunda uyumlamayı sağlamak için indüktif pencere kullanılmıştır. Dairesel dalga kılavuzu çapı, indüktif pencerenin boyutları ve dairese dalga kılavuzuna mesafesi , dikdörtgen dalga kılavuzu-dairesel dalga kılavuzu arasındaki mesafe sonlu elemanlar yöntemini (Finite Element Method) kullanan Ansoft HFSS elektromanyetik analiz yazılımı kullanılarak eniyilenmiştir.



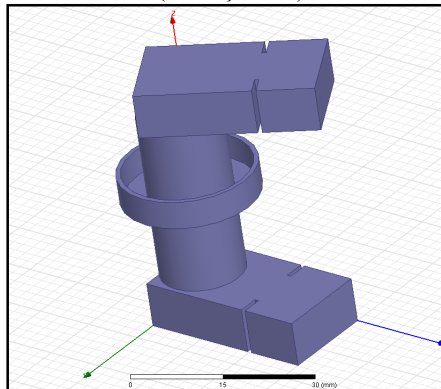
Şekil 1. Dikdörtgen dalga kılavuzu/dairesel dalga kılavuzu geçiş HFSS modeli

Kontaksız elektriksel iletkenliği sağlayan “choke” yapısı iki adet çeyrek dalga boyu iletim hattından oluşmaktadır (Bkz. Şekil 2). İkinci hat kısa devre ile sonlandırılır. Kısa devreye çeyrek dalga boyu hattın bakıldığında açık devreye dönüşür. Bu noktada dönen ve dönmeyen kısım arasında çok dar bir açıklık mevcuttur. Bu açıklık seri bir direnç olarak modellenebilir. Bu direnç değeri hat karakteristik empedansından düşük olduğundan ve açık devreye seri olduğundan açık devre empedansını etkilemez. Açık devreye dairese dalga kılavuzu içinden bakıldığında kısa devredir. Bu noktada dairese dalga kılavuzu kısa devre gördüğünden elektriksel devamlılık sağlanır. “Choke” bant genişliğini artırmak için ikinci hattın empedansının birinci hattın empedansından büyük olmalıdır [2]. İkinci hat koaksiyel bir iletim hattıdır ve iç ve dış iletken çapları belirlenerek iletim hattı empedansı ve dalga boyu belirlenir. İlk hat ise radial bir dalga kılavuzudur. Radyal dalga kılavuzu analizi karmaşık olduğundan hat uzunluğu HFSS yazılımı kullanılarak eniyilenmiştir.

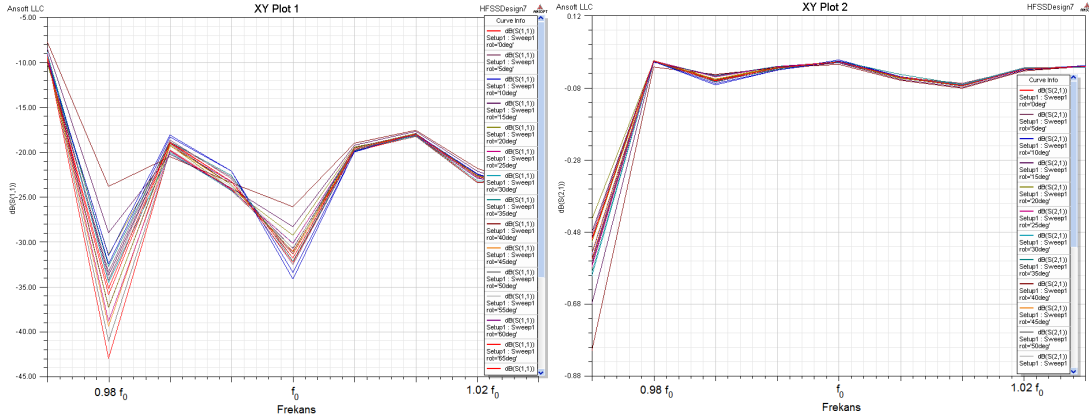


Şekil 2. “Choke” yapısı

Dikdörtgen dalga kılavuzundan dairese dalga kılavuzuna geçiş ve “choke” yapıları ayrı ayrı tasarlandıktan sonra tüm yapı oluşturularak döner eklemin 0° - 90° arasında farklı pozisyonları için (5 derece aralıkla) HFSS yazılımı ile analizi yapılmıştır (Bkz. Şekil 3). Sonuçlara göre S_{11} parametresi istenen çalışma frekans bandı boyunca -18 dB'nin altında, S_{21} parametresi ise -0.08 dB'nin üstündedir (Bkz. Şekil 4).



Şekil 3. Döner eklemin HFSS modeli

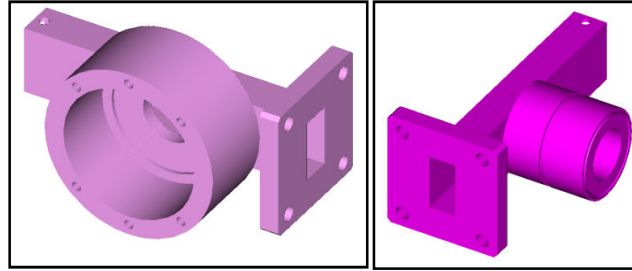


Şekil 4. Farklı dönüş açılarında döner eklem S_{11} (solda) ve S_{21} (sağda) parametresi (Benzetim)

2.2. Mekanik Tasarım

Elektronik tasarımı tamamlanan döner eklem mekanik tasarımı yapıp, tasarımı yapılan döner eklem üretilmiştir. Döner eklem yapısı gereği stator ve rotator olmak üzere iki parçadan üretilmesi gerekmektedir.

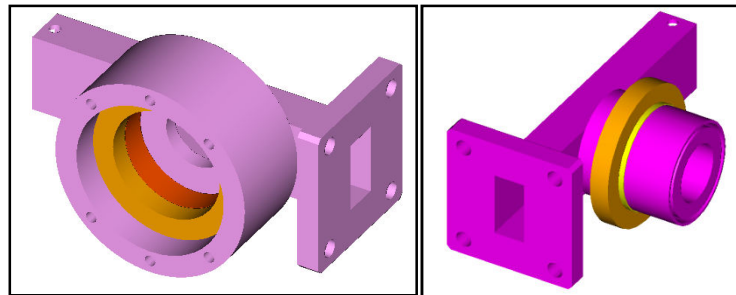
Stator, standart WR62 boyutlarında bir dikdörtgen kesit ve bu kesite 90° dik dairesel bir kesite sahiptir. Stator, vakumlu sert lehimleme yöntemi ile üretilcek şekilde tasarlanmıştır. İlk aşamada sert lehim öncesi mekanik tasarım yapılmış ve üretilmiştir. Üretilen parçalar vakumlu sert lehimleme işlemiyle birleştirilip, talaşlı imalata hazır hale getirilmiştir. Döner eklem mekanik tasarımında iki adet rulman kullanılmıştır. Bu rulmanlardan bir tanesi statorunda bulunmaktadır. Seçilen rulmanın en önemli özelliği ince kesitli olmasıdır. Sert lehim sonrası mekanik tasarımında seçilen ince kesitli rulmanın montajı, choke yapısının kontaktsız olması gibi kriterler göz önünde bulundurularak tasarım yapılmıştır.



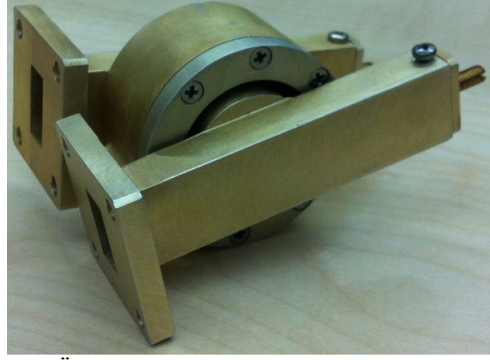
Şekil 5. Stator (solda) ve rotator (sağda) sert lehim sonrası CAD modelleri

Rotatorun dairesel ve dikdörtgen kesitleri statorun kesitleriyle aynı olduğundan dolayı rotatorun sert lehim öncesi tasarımı statorun tasarımıyla aynıdır. Rotatorun sert lehim sonrası tasarımında da statorunda kullanılan ince kesitli rulmanın aynısı ve rulmanların eksenel yönde hareketini engellemek amacıyla bir adet segman kullanılmıştır. Stator ve rotatorun sert lehim sonrası tasarımı Şekil 5'te verilmiştir.

Stator ve rotatorun üretilmesinden sonra döner eklem montajı yapılmıştır. Stator montajında bir adet ince kesitli rulman, bir adet choke yapısının kontaktsızlığını sağlama amaçlı aralayıcı parça ve statorun kendisi bulunmaktadır. Rotator montajında ise bir adet ince kesitli rulman, bir adet segman ve rotatorun kendisi bulunmaktadır. Stator ve rotatorun montajı Şekil 6'da verilmiştir.



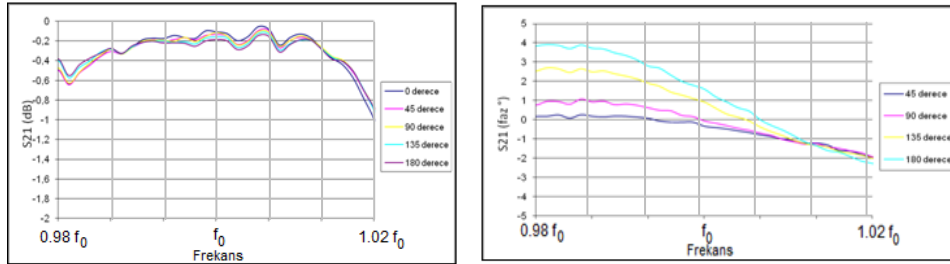
Şekil 6. Stator montajı (solda) ve rotator montajı (sağda) CAD modeli



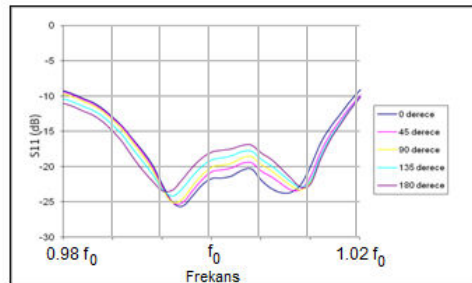
Şekil 7. Üretimi ve montajı tamamlanan döner eklem

3. Ölçüm Sonuçları

Elektromanyetik ve mekanik tasarımı tamamlanan döner eklem üretilmiştir (Bkz. Şekil 7). Döner eklem S parametreleri farklı dönüş açıları için (0° , 45° , 90° , 135° , 180°) HP 8722D Network Analizör cihazı kullanılarak ölçülmüştür. Ölçüm sonuçları Şekil 8 ve 9’da verilmiştir.



Şekil 8. Döner eklem farklı dönüş açılarındaki S21 genlik parametresi (solda) ve 0 derece dönüş açısına göre normalize faz parametresi (sağda)



Şekil 9. Döner eklem farklı dönüş açılarındaki S11 parametresi

4. Sonuç

Ku bantta % 2.5 bant genişliğine sahip dalga kılavuzu U tipi bir döner eklem geliştirilmiştir. Üretilen döner eklem % 2.5 bantta en yüksek -15 dB S_{11} , 0.3dB kayıp, $\pm 2.5^\circ$ faz değişimi performansı göstermiştir. Döner eklem kayıp seviyesinin benzetime göre 0.2 dB daha fazla olduğu görülmüştür. Bunun sebebi benzetimde iletken kayıplarının dikkate alınmamış olması ve mekanik uyumsuzluklardan dolayı istenmeyen modlarda da bir miktar gücün harcanması olarak değerlendirilmektedir.

5. Kaynaklar

- [1] G.L.Ragan (Ed.), Microwave Transmission Circuits, RAGAN G, L. McGraw-Hill Book Company, First Edition, 1948.
- [2] D.A. McNamara and L.T. Hildebrand, “Fullwave analysis of non-contacting rotary joint choke sections using the generalised scattering matrix (GSM) approach,” *IEE Proc-Micro. Antennas Propag.*, Vol. 150, No. 1, February 2003.
- [3] V.I.Abromov, Hun-Joong, Dong-Hyun Kim, Tace-Hyung Lee, “U-style Rotary Joint with mode for Millimeter Waves”, 2004 *IEEE MIT-S Digest*, Vol.1, pp.1879-1882. January 2004.