

Uydu Sistemlerindeki Telemetri/Telekomut Uygulamaları İçin Çift Bantlı Dairesel TM_{01} Mod Dönüştürücü ve Eş Değer Devre Modellemesi

Esra Alkın, Eda Nur Öner, Ceyhan Türkmen, Mustafa Seçmen
Yaşar Üniversitesi

Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü
İzmir

esra088@gmail.com, edanuroner98@gmail.com, ceyhan.turkmen@yasar.edu.tr, mustafa.secmen@yasar.edu.tr

Özet: Bu çalışmada, dikdörtgen dalga kılavuzundan dairesel dalga kılavuzuna geçişi sağlayan ve telemetri/telekomut (TT&C) frekanslarında aynı anda çalışabilen çift bantlı bir mod dönüştürücü tasarımı ve eş değer devre modellemesi sunulmuştur. Uydu haberleşmesindeki TT&C antenlerinin eş genlikli olarak TM_{01} modu ile beslenmesi için tasarlanan bu çift bantlı dönüştürücü, tek bir dikdörtgen dalga kılavuzu girişi içermesinden dolayı alıcı-verici olarak çalışabilmektedir. Ku bant uygulaması olarak çıkışında dairesel TM_{01} modu veren bir mod dönüştürücü yapısı tasarlanmış olup 11.75 GHz/telemetri ve 13.75 GHz/telekomut merkez frekanslarında 500 MHz bant genişliği elde edilmiştir. Tasarlanan yapı için toplu bileşenli elemanlar kullanılarak yaklaşık eş değer devre modeli de çıkarılmıştır.

Abstract: In this study, a dual-band mode converter design, which provides transition from rectangular waveguide to circular waveguide and operates simultaneously in TT&C frequencies, and equivalent circuit model are presented. This dual-band converter designed for feed of TT&C antennas in satellite communication uniformly with symmetrical TM_{01} mode works as transceiver due to having one input rectangular waveguide. As a Ku-band application, a converter giving circular TM_{01} mode at output is designed, and 500 MHz bandwidth is obtained for 11.75 GHz/telemetry and 13.75 GHz/telecommand center frequencies. An approximate equivalent circuit model is also extracted by using lumped elements for designed structure.

1. Giriş

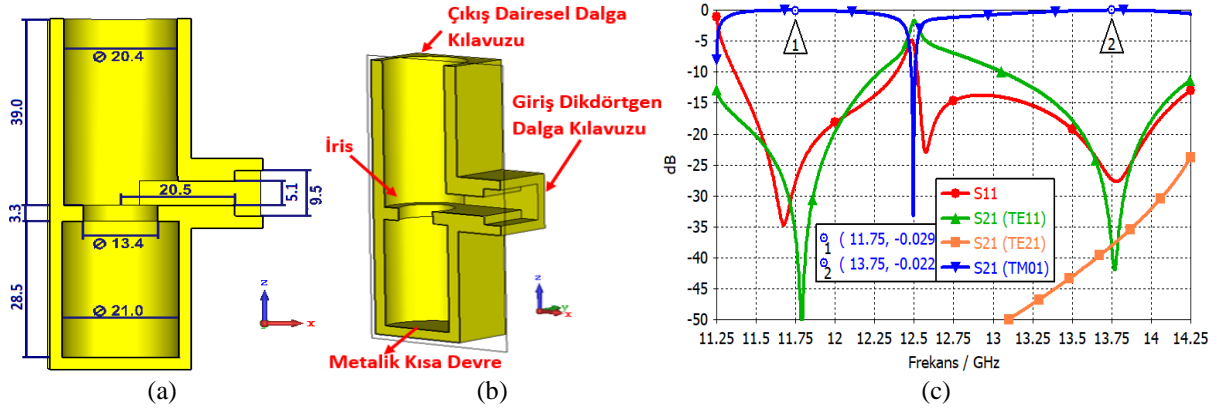
Günümüzde dairesel dalga kılavuzları, sıklıkla yüksek RF güç taşınan ve çevresel etkilere karşı yüksek dayanıklılık gerektiren sistemlerde kullanılmaktadır. Dairesel dalga kılavuzlarının kullanıldıkları uygulamalara bağlı olarak farklı yayılma modlarıyla uyarılmaları gerekebilir [1, 2]. Örnek olarak, bu çalışmada incelenen dairesel simetrik TM_{01} modu, uydu haberleşme sistemlerinde kullanılan dairesel dalga kılavuzu oluk anten dizilerini eş genlikli olarak beslenmesi için kullanılmaktadır [2]. Uydu haberleşmesinde kullanılan TT&C antenleri, uzay ve yer istasyonları arasında alıcı-verici veri iletimi kesintisiz sağlamak için mümkün olduğunca tümyönlü (omnidirectional) olarak seçilmelidir. Işıma olarak hem verici hem alıcı frekanslarında tümyönlülüğü sağlamak için genellikle bu antenler, simetrik TM_{01} dairesel dalga kılavuzu modu ile beslenir. TM_{01} modu hariç diğer tüm yayılma modları ışımadaki simetriyi/düzgünlüğü bozmaktadır ve bu yüzden bastırılmalıdır [2].

Literatürde Ku bandı ve farklı frekans bantları için tek bantta dikdörtgen dalga kılavuzu TE_{10} modundan dairesel dalga kılavuzu TM_{01} moduna dönüştürücüler bulunmaktadır [3]. Çift bantlı olarak dikdörtgen TE_{10} modundan dairesel TE_{11} moduna dönüştürücü ile ilgili çalışma [4] olsa da çift bantlı dikdörtgen TE_{10} – dairesel TM_{01} mod dönüştürücüye ve eş değer devre modellemesine literatürde rastlanılmamıştır.

Bu çalışmada, verici ve alıcı antenlerin aynı anda TM_{01} modu ile beslenebilmesi amacıyla giriş dikdörtgen dalga kılavuzu TE_{10} modunu dairesel dalga kılavuzu içerisinde simetrik TM_{01} moduna dönüştüren bir mod dönüştürücü tasarlanmıştır. 11.75 GHz telemetri ve 13.75 GHz telekomut merkez frekansları etrafında çift bant olarak çalışan bu mod dönüştürücüye ait yaklaşık bir eş değer devre modeli de gösterilmiştir.

2. Çift bantlı mod dönüştürücü tasarımı

Şekil 1a’da görülen önerilen yapı, dikdörtgen dalga kılavuzu TE_{10} modundan dairesel dalga kılavuzu TM_{01} moduna geçişi sağlamak amacıyla tasarlanmıştır. Ku bantta 11.75 GHz telemetri (TX), 13.75 GHz telekomut (RX) merkez frekanslarında çift bant çalışan tasarımda, Şekil 1b’de görülen dikdörtgen dalga kılavuzu tarafı standart WR75’tir ($a = 19.05$ mm, $b = 9.525$ mm). Tasarımdaki çıkış dairesel dalga kılavuzunun çapı olarak seçilen 20.4 mm, TM_{01} modunun iletimini ve dairesel TE_{21} modu ile daha üst mertebeli modların kesim frekanslarını 14 GHz’in üstünde tutup bu modların iletilmemesini sağlamaktadır. Dairesel dalga kılavuzlarında temel (dominant) TE_{11} modunun bastırılması ve TM_{01} modunun iletimi için alttaki metalik kısa devre sonlandırma ile dikdörtgen dalga kılavuzunun arasındaki mesafe $0.75\lambda_{g,TE_{11}}$ ve alttaki dairesel dalga kılavuzunun çapı $0.5\lambda_{g,TM_{01}}$ olmalıdır [2]. Tasarımda verilen 28.5 mm ve 21 mm boyutlar, TX frekanslarında bu elektriksel uzunlukları verse de RX için biraz uzak kalıp yapıya kalınlığı 3.3 mm ve çapı 13.4 mm olan bir iris eklenmiştir. Ayrıca S_{11} değerini iyileştiren bir dikdörtgen dalga kılavuzu E-düzlem basamak yapısı da eklenmiştir.

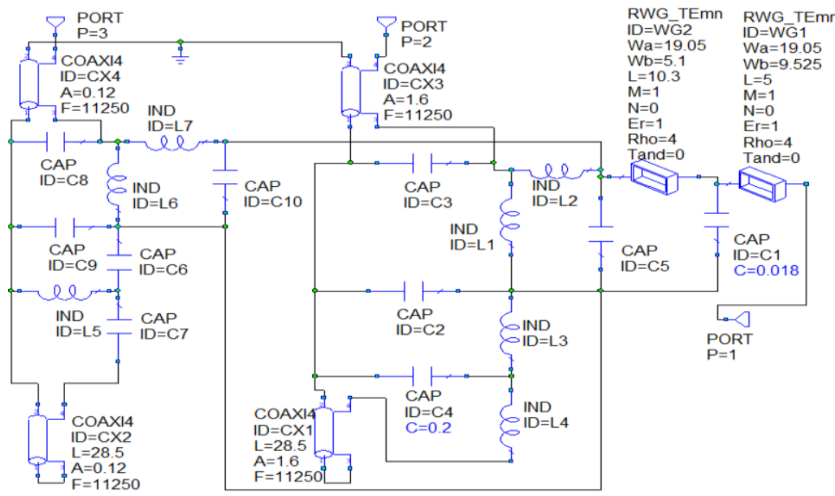


Şekil 1. Tasarlanan çift bant mod dönüştürücü (a) boyutları (mm cinsinden) (b) kesit perspektif görünümü, S parametreleri; (c) S_{11} , $S_{21}(TE_{11})$, $S_{21}(TE_{21})$, $S_{21}(TM_{01})$.

Şekil 1a'daki boyutların CST Microwave Studio'da optimize edildiği yapının Şekil 1c'de verilen benzetim S parametreleri ile verici (11.5-12 GHz) ve alıcı (13.5-14 GHz) frekans bantlarında geri dönüş kaybı (S_{11}) ile TE_{11} modunun bastırılma değerleri 17.5 dB'den fazla; TM_{01} modunun iletim kaybı ise 0.16 dB'den az bulunmuştur.

3. Tasarlanan çift bantlı mod dönüştürücü eş değer devre modellemesi

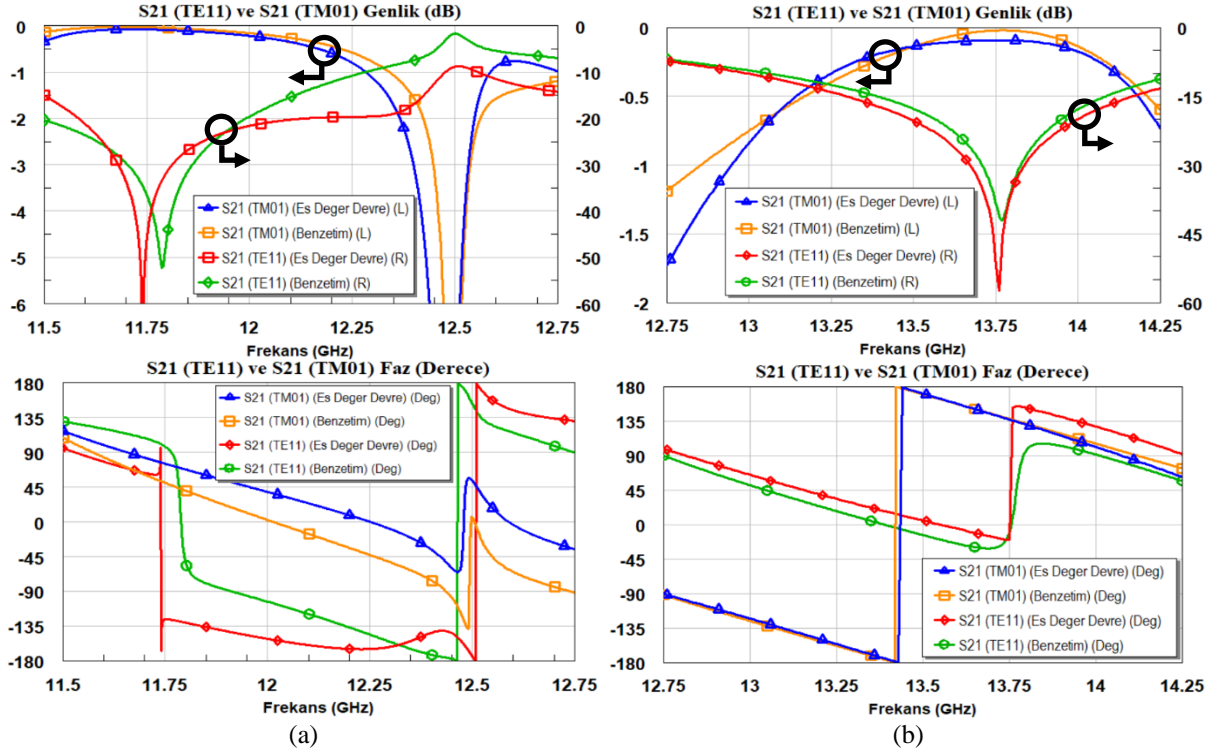
Yukarıda tasarım parametreleri ve benzetim sonuçları elde edilen çift bantlı mod dönüştürücü yapısı için 11.75 GHz verici ve 13.75 GHz alıcı merkez frekansları etrafında toplu bileşenli (lumped) elemanlar kullanılarak yaklaşık bir eş değer devre modellenmiştir. Tasarlanan mod dönüştürücü yapısı, yan kollardaki alanların ana koldaki dikdörtgen dalga kılavuzunda TE_{10} modunun elektrik alanına paralel yönde bölündüğü bir yapı olmasından ötürü E-düzlem T olarak tanımlanan dikdörtgen dalga kılavuzu yapısına benzetilmiştir. Bu sebeple eş değer devre yapısı modellenirken yan kol devre elemanları, dikdörtgen dalga kılavuzuna seri olarak bağlanmıştır [5].



Şekil 2. Tasarlanan çift bantlı mod dönüştürücü yapısına ait (a) eş değer devre modeli ve verici ve alıcı frekans bantlarındaki kapasitör (pF) ve indüktör (nH) değerleri.

Yapının AWR Microwave Office programı ile tasarlanması ve Şekil 2'de verilen eş değer devre modellemesinde dikdörtgen dalga kılavuzundaki basamak, kalın iris, dairesel dalga kılavuzları ve dikdörtgen dalga kılavuzundaki farklı modlar ve dalga empedanslarının bulunması gereklidir. Şekil 2'de verilen frekansa ve moda bağlı olarak değerleri değişen devre elemanları ile tasarlanan devre şemasında, port 1, giriş dikdörtgen dalga kılavuzu portunu; port 2 ve port 3 ise dairesel dalga kılavuzu çıkışındaki TM_{01} ve TE_{11} modlarını temsil etmektedir. Eş değer devre modelinde yapı, her iki dalga kılavuzu modu için bir ana kol ve ona seri iki yan kola ayrılacak şekilde modellenmiştir. Her bir modun fc kesim frekansları ile empedans değerleri $377/\sqrt{(1-fc/f)^2}$ ohm olarak Şekil 2'de verilen TE_{10} modu giriş, port 1 (ana kol) ve TM_{01} ve TE_{11} modları için 20.4 mm çaplı çıkış portu empedansları için hesaplanmıştır. Dairesel dalga kılavuzunun dalga empedansı ve etkin dielektrik sabiti de iletim hattı modeline eklenmiştir. Port 1'den sonraki dikdörtgen dalga kılavuzu boyutları, 2.2 mm'li basamak yapısına kadar 5 mm

uzunluğa sahip bir dalga kılavuzu (WG1) ile, basamak yapısı paralel bir kapasitör (C1) ile ve basamaktan sonra kollara ayrımına (kesişim noktasına) kadar olan dalga kılavuzu (WG2) uzunluğu ise 10.3 mm ve boyu 5.1 mm olarak modellenmiştir. Dikdörtgen dalga kılavuzundan sonra yan kollara ayrımı modellemek amacıyla 2 adet indüktör ve onlara paralel olacak şekilde bir kapasitör (Şekil 2’de TM_{01} modu için L1, L2 ve C5, TE_{11} modu için L6, L7 ve C10) ve yan kollara ayrılan dalga kılavuzunda, üst ve alt kol için iki adet paralel kapasitör (Şekil 2’de TM_{01} modu için C2 ve C3, TE_{11} modu için C8 ve C9) eklenmiştir. Dairesel dalga kılavuzu içerisinde alt kolda bulunan iris yapısı, TM_{01} modu için seri iki adet indüktör (L3 ve L4) ve paralel bir kapasitör (C4), TE_{11} modu için ise iki seri özdeş kapasitör (C6 ve C7) ve paralel bir indüktör (L5) ile verilmiştir. İrisin alt tarafındaki metalik kısa devre ile sonlandırılmış 10.5 mm yarıçaplı dairese dalga kılavuzu da fiziksel uzunluğu 28.5 mm olan ve yine $377/\sqrt{(1-fc/f)^2}$ empedanslı bir koaksiyel hat ile modellenmiştir.



Şekil 3. Tasarlanan çift bantlı mod dönüştürücü ve eş değer devre modelinin $S_{21}(TM_{01})$, $S_{21}(TE_{11})$ parametreleri (a) 11.75 GHz bandında genlik ve faz (b) 13.75 GHz bandında genlik ve faz.

11.75 GHz ve 13.75 GHz merkez frekansları etrafında modellenen eş değer devre modeline ait Şekil 3’teki TM_{01} ve TE_{11} genlik ve faz değerleri sonuçları ile CST’den elde edilen sonuçlar birbirine oldukça yakındır. Böylece burada verilen toplu elemanlı devre modelinin mod dönüştürücü yapısının eş değer devre modeli olabileceği gösterilmiştir.

Teşekkür

Bu çalışma, TÜBİTAK tarafından 119E265 no’lu proje kapsamında desteklenmektedir.

Kaynaklar

- [1]. Yu, C. F., ve Chang, T. H., “High-performance circular TE_{01} mode converter”, IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques, cilt.53 no.12, s.3794-3798, 2005.
- [2]. Turkmen, C. ve Secmen, M., “Omnidirectional and circularly polarized slotted antenna array with increased bandwidth performance by using nonidentical waveguide slots”, Radio Science, cilt.53 no.11, s.1406-1418, 2018.
- [3]. Cui, X. vd., “High-Efficiency, Broadband Converter From A Rectangular Waveguide TE_{10} Mode to A Circular Waveguide TM_{01} Mode for Overmoded Device Measurement”, IEEE Access, cilt.6 s.14996-15003, 2018.
- [4]. Wang, K. vd., “A Compact Dual-Band Mode Converter for High-Power Microwave Applications”, IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, cilt.68 no.8, s. 3287-3297, 2020.
- [5]. Debnath, P. ve Roy, S., “An Analysis of Wave Guide E-Plane Tee as 3dB splitter at X Band Using HFSS Software”, International Journal of Soft Computing and Engineering (IJSCE), cilt.2, 2013.