



T.C.
İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
BİLİMSEL ARAŞTIRMA PROJELERİ KOORDİNASYON BİRİMİ

**TEK HELİSLİ YAVAS DALGALI YAPILAR (YDY)'DA Pİ FREKANSI
ANALİZLERİ İÇİN YENİ YÖNTEM GELİSTİRİLMESİ VE YENİ YDY
TASARIMLARI**

Proje No: MGA-2018-41347

Genel Araştırma Projesi

SONUÇ RAPORU

Proje Yürütücüsü:

Doç. Dr. Serkan Şimşek
Elektrik-Elektronik Fakültesi/ Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü

Doktora Öğrencisi Ağâh Oktay Ertay
Fen Bilimleri Enstitüsü/Telekomünikasyon Mühendisliği Programı

Haziran 2019
İSTANBUL

ÖNSÖZ

Uydu haberleşmesinde kullanılan önemli ara elemanlardan biri olan Yürüyen Dalgalı Tüp (YDT) Kuvvetlendiricilerinde yer alan yavaş dalgalı yapı (YDY)'lerin seçimi arzu edilen işaret kuvvetlendirmesinin gerçekleştirilmesi açısından oldukça önemlidir. Özellikle genişbandda çalışmanın arzu edildiği uygulamalarda helis tipi yavaş dalgalı yapılar kullanılmaktadır. Bu yapıların yer aldığı YDT'lerdeki en önemli sorunlardan biri ilgili helisli YDY'lerin asimetrik yerleşimi sonucu π -noktası frekansında meydana gelen durdurma bandıdır. Bu durum neticesinde YDT güç performansı ciddi ölçüde etkilenmektedir. Helisli YDY'lerin π -noktası frekansının belirlenmesi ve durdurma bandının tespiti için literatürden farklı ve hızlı bir yöntem önerme ihtiyacı bu projenin ortaya çıkmasına zemin hazırlamıştır. Bu projenin tamamlanmasında emeği geçen herkese proje çalışanları teşekkür etmektedir.

Haziran 2019

Doç. Dr. Serkan Şimşek
Doktora Öğrencisi Agah Oktay Ertay

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	3
İÇİNDEKİLER.....	4
TABLO LİSTESİ	5
ŞEKİL LİSTESİ.....	6
ÖZET.....	7
ABSTRACT	8
1. GİRİŞ	9
2. KUPLE MOD TEORİSİ	10
3. KESİN FLOQUET YAKLAŞIMI	10
4. FARKLI HELİSLİ YDY MODELLERİNE AİT Π -FREKANSI ANALİZLERİ....	12
5. ÖNERİLEN HELİSLİ YDY MODELİ	14
6. SONUÇ.....	16
BİLGİLENDİRME	17
REFERANSLAR.....	17

TABLO LİSTESİ

Çizelge 1 Ele alınan helisli YDY'lere ait yapı parametreleri.....	12
Çizelge 2 Önerilen helisli YDY'ye ait yapı parametreleri	14

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 3.1 Bir periyodik yapının birim hücre gösterimi.....	11
Şekil 4.1 İncelenen helisli YDY modellerine ait kesit görünümleri.	12
Şekil 4.3 YDY-I'e ilişkin dispersiyon karakteristiği ve π -noktası frekansının incelenmesi ...	13
Şekil 4.4 YDY-II'ye ilişkin dispersiyon karakteristiği ve π -noktası frekansının incelenmesi	13
Şekil 4.5 YDY-III'e ilişkin dispersiyon karakteristiği ve π -noktası frekansının incelenmesi.	13
Şekil 5.1 Ele alınan helisli YDY modelleri.....	14
Şekil 5.2 Dairesel dielektrik yüklü helisli YDY'ye ilişkin faz hızı frekans karakteristiği.....	14
Şekil 5.3 Dairesel dielektrik ve kama metal segment yüklü helisli YDY'ye ilişkin faz hızı frekans karakteristiği	15
Şekil 5.4 Dairesel dielektrik ve kama metal segment yüklü helisli YDY'ye ilişkin π -noktası frekans analizi	15
Şekil 5.5 Önerilen Helisli YDY ve eşdeğer devre modeli	15
Şekil 5.6 Önerilen helisli YDY'ye ait faz hızı dispersiyon karakteristiğinin KFY ile elde edilmesi	16
Şekil 5.7 Önerilen helisli YDY'ye ilişkin dispersiyon karakteristiği ve π -noktası frekansının KFY ile bulunması	16

ÖZET

Bu projenin amacı, Yürüyen Dalgalı Tüp (YDT) kuvvetlendiricilerindeki önemli sorunlardan biri olan π -noktası frekansı durdurma bandı analizlerinin yapılması için Kesin Floquet Yaklaşımı (KFY) isimli alternatif bir yöntem önerilmesidir. Öncelikle literatürde sıkça kullanılan helisli YDY'ler için Kupl Mod Teorisi (KMT) ve üç boyutlu elektromagnetik benzetim programı (CST) ile π -noktası frekansı analizleri yapılmıştır. KFY ile de aynı örnekler test edilmiş ve diğer yöntemler ile karşılaştırmalar yapılmıştır. Yapılan değerlendirmeler, helisli YDY'lerde π -noktası frekansı analizi için önerilen KFY yönteminin KMT ve CST'ye alternatif ve hızlı bir yöntem olduğunu ortaya koymaktadır. Ayrıca, genişbandda çalışmanın mümkün olması açısından görece düz bir dispersiyon karakteristiği elde edebilmek için yeni helisli YDY tasarımı önerilmiştir. Önerilen tasarım, öncelikle CST ortamında modellenmiş ve faz hızı frekans karakteristiği elde edilmiştir. Ek olarak yeni modelin π -noktası frekansı da CST ortamında incelenmiştir. Önerilen yeni helisli YDY modelinin eşdeğer devre modeli kullanılarak KFY yöntemi ile ilgili yapının dispersiyon karakteristiği ve π -noktası frekansı analizleri yapılmıştır. Önerilen helisli YDY'nin sağladığı görece düz dispersiyon karakteristiği ilgili yapının genişbandlı YDT'ler için aday bir YDY olabileceği öngörülmektedir. Ayrıca önerilen helisli YDY'nin dispersiyon karakteristiği ile π -noktası frekansı analizleri için kullanılan KFY yönteminin CST ile uyumlu sonuçlar verdiği belirtilmelidir. Ek olarak KFY yönteminin çalışma süresinin CST'den 10 kat hızlı olduğu ayrıca vurgulanmalıdır.

ABSTRACT

The purpose of this project is to suggest an alternative method called Exact Floquet Approach (EFA) in order to perform analyzing of stopband of π –point frequency which is one of important issue in Travelling Wave Tube (TWT) amplifiers. Firstly,

Analysis of π -point frequencies of widely used helix slow-wave structures (SWSs) is taken into consideration by using Coupled Mode Theory and 3D electromagnetic simulation program (CST). The same examples are tested with EFA and comparisons are carried out. Considerations are revealed by that proposed EFA method is an alternative and fast method to CMT and CST for analysis of π -point frequency in helix SWSs. Besides, a novel helix SWS design is suggested for obtaining relatively flat dispersion characteristic in terms of possibility of wideband operation. Proposed design is modelled in CST design environment and phase velocity-frequency characteristic is obtained. Dispersion characteristic and analysis of π -point frequency of the proposed novel helix SWS are performed by EFA using equivalent circuit model of the proposed novel helix. It is predicted that related helix SWS may be a candidate for broadband TWTs with its relatively flat dispersion characteristics. Moreover, it is expressed that EFA method gives consistent results with CST for dispersion characteristics and analysis of π -point frequency results of the proposed helix SWS. Additionally, it is also emphasized that computation time of EFA is faster than CST with a factor of 10.

1. GİRİŞ

Haberleşme sistemlerinde uygun düzeyde gücün oluşturulması önemli bir problemdir. Bu noktada, güç kuvvetlendirme süreçlerini sağlayan Katı Hal ve Yürüyen Dalgalı Tüp (YDT) kuvvetlendiricileri birçok haberleşme sisteminde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Uzun ömürlü ve genişbandda çalışma performansından ötürü YDT kuvvetlendiricileri özellikle haberleşme uydularında geniş ölçüde kullanım olanağı bulmuştur. YDT kuvvetlendiricileri temelde beş ana bileşenden oluşmaktadır. İlk olarak, elektron demetinin uygun biçimde ve istenen demet akımı ve geriliminde oluşturan bir elektron tabancası düzeni yer almaktadır. Elektron tabancasından gelen elektron demeti, içinde RF elektromagnetik dalga ilerleyen bir Yavaş Dalgalı Yapı (YDY)'da ilerlemektedir. Bu düzen içerisinde RF elektromagnetik dalganın ilerlediği ve belirli bir dispersiyon karakteristiğine sahip yavaş dalga devresi ve bu devrenin dispersiyon karakteristiğinin amaca uygun şekillendirilmesini sağlayan dielektrik destek çubukları ve metal zarf yer almaktadır. RF elektromagnetik dalga ile elektron demeti YDY içerisinde etkileşim halinde olmaktadır ve bu durum sonucunda kuvvetlendirme işlemi meydana gelebilmektedir. Elektron demetinin YDY içerisinde düzgün bir biçimde hareketini sağlayan ve yavaş dalga devresine çarpmasını engelleyen zayıflatıcı sistemi bir diğer ana mekanizmalardan biridir. Ayrıca RF giriş işaretinin yavaş dalga devresine uygun empedans ile verilmesini ve RF çıkış işaretinin yavaş dalga devresinden uygun bir şekilde alınmasını sağlayan RF giriş çıkış kuplörleri de önemli bir düzeni oluşturmaktadır. Son olarak ise, demet-dalga etkileşimi sonucu enerjisi azalmış elektronların toplanmasını sağlayan ve ek olarak verimliliğin artmasına yönelik önemli bir role sahip olan toplayıcı düzeni bulunmaktadır. Hiç kuşkusuz YDT sistemi içerisindeki en önemli alt düzen demet-dalga etkileşiminin meydana gelmesinden dolayı Yavaş Dalgalı Yapı bölümüdür.

YDT kuvvetlendiricilerinde kullanılan yavaş dalgalı yapılar içerisinde, sağladığı genişbandda çalışma performansından dolayı helis tipi yavaş dalgalı yapılar oldukça yaygın bir şekilde kullanılmaktadır [1-2]. YDT'nin ana bileşenlerinden biri olan elektron tabancasının arzu edilen çalışma isteklerine göre çıktı verdiği elektron demetine ait demet akımı, gerilimi ve yayılım sabiti özellikleri, tasarlanması gereken helisli yavaş dalgalı yapının dispersiyon karakteristiklerinin belirlenmesinde önemli rol oynamaktadır. Bu durum YDT'nin ne ölçüde ve hangi koşullarda senkron çalışabileceğinin ölçüsünü belirleyebilmektedir. Ek olarak, helis tipi YDY'lerde çalışma isteklerine göre dispersiyon karakteristiğinin iyileştirilmesi için, dielektrik destek çubukları ve metal segment gibi YDT'de sıklıkla kullanılan temel malzemeler ile yükleme işlemi yapılabilir [1-2]. Bu nedenle helis tipi yavaş dalgalı yapıların amaca uygun tasarımı açısından uygun yüklemelerin yapılması çok önemlidir. Helis tipi yavaş dalgalı yapılarda dielektrik ve metal yükleme yapılması ilgili yapının dispersiyon karakteristiğinin amaca uygun şekillendirilmesinde ciddi öneme sahiptir. Bununla beraber yapılan yüklemelerde meydana gelen asimetrik yerleşimler helisli YDY'nin π -noktası frekansında durdurma bandının oluşmasına sebep olmaktadır. Bu durum YDT'de band içi güç boşluklarının oluşmasına ve band ucu osilasyonlarının meydana gelmesine yol açmaktadır. Kuplör Mod Teorisi (KMT) ile helisli YDY'lerin π -noktası frekansında meydana gelen bu değişimler analiz edilebilmektedir. KMT'de ilgili yapının yayılım faz sabitinin bulunmasında silindirik dalga fonksiyonların çözümü gerekmektedir ve bu durum hesaplama süresini uzatmaktadır. Bu projede önerilen Kesin Floquet Yaklaşımı (KFY)'nda ise ilgili helisli YDY'nin eşdeğer devre modeli kullanıldığında ilgili periyodik yapının birim hücrene ait saçılma parametrelerinin bulunması sonucunda Floquet modunun yayılım faz sabitleri kolay ve hızlı bir şekilde bulunabilmektedir. Bu durumda ise ilgili yapının dispersiyon karakteristiği ve π -noktası frekansı oldukça hızlı ve etkin bir şekilde yapılabilir.

2. KUPLE MOD TEORİSİ

Helis tipi YDY'lerde bilindiği üzere alan analizi yapılarak dalga tipi çözümlerden elde edilen uzay harmonik ileri ve geri dalga çözümleri bulunmaktadır [3-6]. Bu çözümlere ilişkin yayılım faz sabitleri, helis ve etrafına yerleştirilen dielektrik ve metal segmentler simetrik bir şekilde yerleştirilmiş ise $\theta = \beta p = \pi$ faz noktasında kesişmektedirler. Verilen ifadede yer alan θ , β ve p ifadeleri sırasıyla helisli YDY'nin faz farkı, Floquet modu ve periyodunu göstermektedir. Bu noktaya π -noktası frekansı denilmektedir ve bu frekansta meydana gelen durumlar YDT'nin çalışma performansını ciddi derecede etkilemektedir. Helisli YDY içindeki dielektrik destek çubuklarının açısız olarak, çubuk genişliklerinin farklılığında kaynaklanabilen, malzeme dielektrik parametresinin ilgili destek çubuklarındaki farklı değerlerinden kaynaklanabilen asimetrik yerleşimi sonucu veya yüklenebilen metal segmentin açısız olarak, ilgili metal segment genişliğinin, metal segment ile helis arasındaki genişliğini asimetrik yerleşiminden kaynaklanan asimetri problemi temel ileri ve geri uzay harmonik dalgaların birbirleri ile etkileşime girmesine neden olmaktadır. Bu durumun sonucunda ilgili modlar birbirine girmektedir ve yeni hibrit modlar oluşmaktadır [7-10]. Konunun anlaşılması açısından (1) no'lu denklemin incelenmesinde fayda görülmektedir.

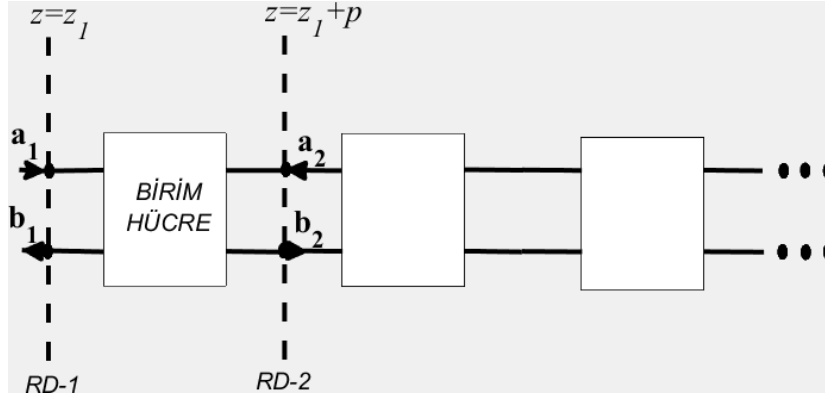
$$\beta_{h_{1,2}} = \left(\frac{\beta_0 + \beta_{-1}}{2} \right) \pm \left\{ \left(\frac{\beta_0 + \beta_{-1}}{2} \right)^2 - K_c^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

(1)'de verilen ifadede yer alan $\beta_{h_{1,2}}$ ve β_0 , $\beta_{-1} = \left(\frac{2\pi}{p} \right) - \beta_0$ ifadeleri sırasıyla ileri ve geri dalgaların kuple olduğu durumda oluşan yayılım faz sabitleri ve kuple olmadığı durumda oluşan ilk ileri ve geri dalga yayılım faz sabitleridir. β_0 , alan analizleri sonucu veya üç boyutlu elektromagnetik benzetim ortamlarında ilgili yapılar modellenerek elde edilebilmektedir. β_0 'ın elde edilmesi sonucunda ilgilenilen helisli YDY'ye ilişkin faz hızı frekans karakteristiği de belirlenebilmektedir. Ayrıca (1)'de yer alan K_c ise hibrit modları karakterize eden kuplaj katsayısıdır. K_c , YDY'nin π -noktası frekasındaki eşdeğer devresinde oluşturduğu toplam yansıma katsayısını içinde barındırmaktadır. K_c , yani kuplaj katsayısının 0 olması durumunda helisli YDY simetrik bir yerleşime sahiptir, ileri ve geri dalgalara ilişkin yayılım faz sabitlerinin birbirine kuple olmadığını ifade etmektedir. $K_c \neq 0$ durumunda ise helisli YDY'de herhangi bir sebeple asimetrik durum oluşmuştur, ileri ve geri dalgalar π -noktası frekansında birbirine girmiştir, yeni yayılım faz sabitleri ortaya çıkmıştır. (1)'de verilen formülasyon yardımıyla ve ele alınan helisli YDY'nin π -noktası frekansındaki eşdeğer devre modeli kullanılarak ilgili helisli YDY'nin π -noktası frekansı ve bu frekans civarında oluşan durdurma bandları analiz edilebilmektedir.

3. KESİN FLOQUET YAKLAŞIMI

Bir periyodik yapının birim hücresi kapalı bir blok ile gösterilerek Genelleştirilmiş Saçılma Matrisi (GSM) yazılabilmektedir. Bu durum Şekil 3.1'de verilmektedir. Şekil 3.1'de verilen RD-1 ve RD-2 sırasıyla 1. ve 2. Kapılardaki referans düzlemlerini göstermektedir. Helisli YDY'nin tek bir sarımı bir birim hücre olmaktadır. Bu durumda bu tek sarımlı model (2) no'lu formda bir GSM gösterimine sahiptir [11-14].

$$\begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \end{bmatrix} \quad (2)$$



Şekil 3.1 Bir periyodik yapının birim hücre gösterimi

(2)'de yer alan a ve b ifadeleri ile $S_{11}, S_{12}, S_{21}, S_{22}$ ifadeleri sırasıyla giriş ve çıkış kapılarındaki kompleks modal genlikler ile ilgili helisli YDY'nin birim hücresine ait saçılma parametrelerini göstermektedir. (3) no'lu denklemde verilen Floquet koşulu (2)'de yerine konarak (4)'te verilen karakteristik denklem yazılabilmektedir [11-14].

$$\begin{bmatrix} a_2 \\ b_2 \end{bmatrix} = \lambda \begin{bmatrix} a_1 \\ b_1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$\lambda^2 + \lambda \left(\frac{S_{11}S_{22} - S_{12}S_{21} - 1}{S_{21}} \right) + 1 = 0 \quad (4)$$

(3) ve (4)no'lu denklemde yer alan λ (5)'te verilmektedir [11-14].

$$\lambda_{1,2} = e^{\pm j\beta p}, \beta p \in [0, \pi] \quad (5)$$

$e^{j\omega t}$ zaman bağımlılığı kabulü altında (5)'te verilen $-j\beta p$ ve $+j\beta p$ büyüklükleri sırasıyla pozitif ve negatif z-yönünde ilerleyen dalga çözümlerine karşı düşmektedir. Tek Floquet modu yayılımı dikkate alınır ve (5) no'lu denklem (4)'te yerine konursa (6)'da verilen dispersiyon denklemi elde edilmektedir [11-14].

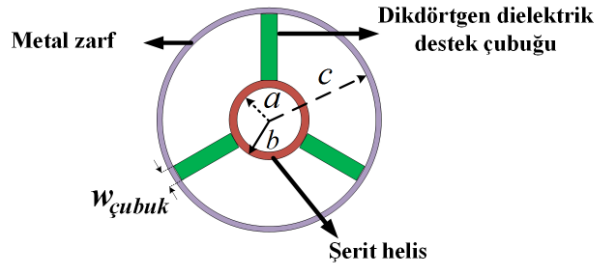
$$\cos \beta p = \frac{1 - S_{11}S_{22} + S_{12}S_{21}}{2S_{21}} \quad (6)$$

Helisli YDY'nin dönme yönünde dik yönde dış yarıçap dikkate alınarak sökülüp düzleştirilmesiyle, eşdeğer bir devre modeli oluşturulabilmektedir. Oluşan eşdeğer devre modelindeki her bir bölgeye ilişkin karakteristik empedans ve yayılım faz sabiti ifadeleri mikrşerit hat modelinde kullanılan formülasyonlar yoluyla hesaplanabilmektedir. Çünkü helisli YDY'de bir helis ve bir metal zarf yer aldığından potansiyel oluşturabilecek bir durum söz konusudur ve bu durumda TEM varsayımı mümkün olabilmekte ve mikrşerit hat devre modeli oluşturulabilmektedir. Helisli YDY'nin birim hücresine ait eşdeğer devre modelinden yararlanarak birim hücrenin tüm saçılma parametreleri bulunabilmektedir. Bu durumda ilgili periyodik yapının yayılım faz sabiti bulunarak ilgili modele ilişkin faz hızı frekans karakteristiği belirlenebilmektedir. Ayrıca π -noktası frekansının belirlenmesinde de (6) no'lu denklem kullanılabilmektedir. Simetrik helisli YDY için $\cos \beta p = -1'$ e karşı düşen frekans

π -noktası frekansı olarak isimlendirilmektedir. Ek olarak, asimetrik yüklü helisli YDY'lerde de (6) no'lu denklem etkin bir şekilde kullanılabilir [11-14].

4. FARKLI HELİSLİ YDY MODELLERİNE AİT π -FREKANSI ANALİZLERİ

Bu bölümde önceki bölümlerde ele alınan Kuple Mod Analizi ve yeni önerilen Kesin Floquet Yaklaşımı kullanılarak öncelikle literatürde yer alan farklı tipteki helisli YDY'ler incelenmiştir. Ek olarak, üç boyutlu elektromagnetik benzetim programı CST kullanılarak ele alınan problemler modellenmiştir. Her bir yöntem ile ilgili modellere ilişkin dispersiyon karakteristikleri ile π -noktası frekansları analiz edilmiştir. Ele alınan helisli YDY modellerine ilişkin kesit geometrileri **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.**'de verilmektedir. Her bir helisli YDY için KMT yöntemi ile alan analizinden elde edilen yayılım faz sabitlerinden yararlanarak dispersiyon karakteristiği ve π -noktası frekansları incelenmiştir. Ayrıca her bir helisli YDY için eşdeğer devre modeli kullanılarak KFY yöntemi ile dispersiyon karakteristiği ve π -noktası frekansları incelenmiştir. Ek olarak, üç boyutlu elektromagnetik benzetim ortamı CST kullanılarak her bir helisli YDY modellenmiş ve dispersiyon karakteristikleri ile π -noktası frekansları elde edilmiştir.



Şekil 4.1 İncelenen helisli YDY modellerine ait kesit görünümü.

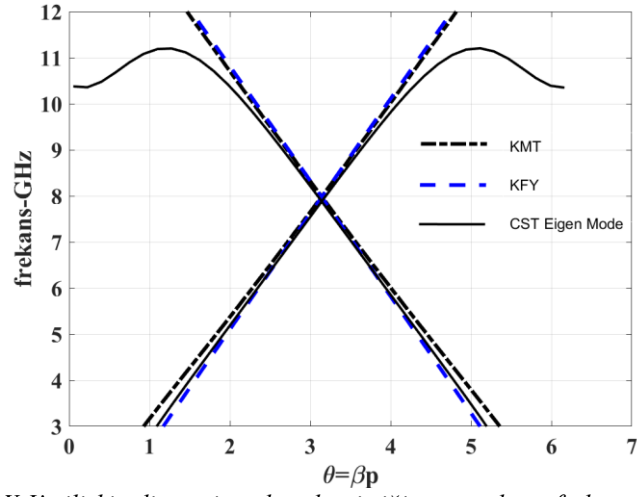
Hata! Yer işareti başvurusu geçersiz.'de ele alınan helisli YDY'lere ilişkin yapı parametreleri yer almaktadır. **Hata! Yer işareti başvurusu geçersiz.**'de verilen ϵ_r , h , ψ ve $w_{\text{şerit}}$ ifadeleri sırasıyla destek çubuklarının bağıl dielektrik sabitini, helis hatvesini, helis hatve açısını ve helisin şerit genişliğini göstermektedir.

Çizelge 1 Ele alınan helisli YDY'lere ait yapı parametreleri.

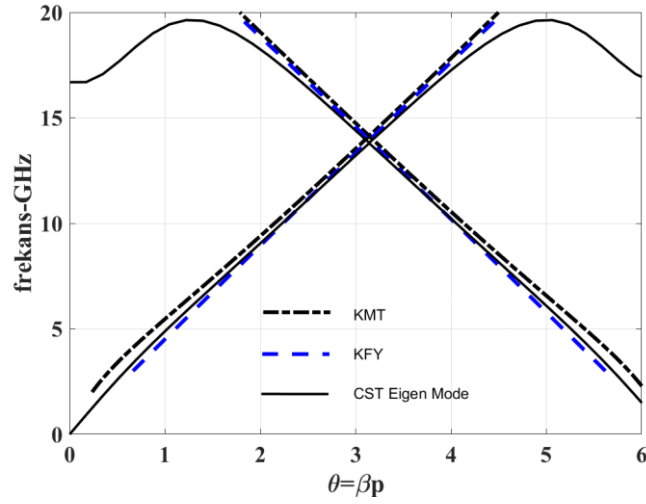
İncelenen Yapılar	ϵ_r	N	ζT^1	h (mm)	a (mm)	b (mm)	c (mm)	$\phi(^{\circ})$	$w_{\text{şerit}}$ (mm)	$c-b$ (mm)
YDY-I [6] ve [15]	6.3	3	DI	3.18	2.73	2.87	5.2	10.5	0.9	0.64
YDY-II [16]	5.3	3	DI	1.54	1.465	1.59	2.9	9.5	0.89	0.68
YDY-III [17] ve [18]	5.1	3	DI	1.74	1.524	1.651	2.64	10.3	0.89	0.508

¹ÇT:Çubuk Tipi, DI: Dikdörtgen,

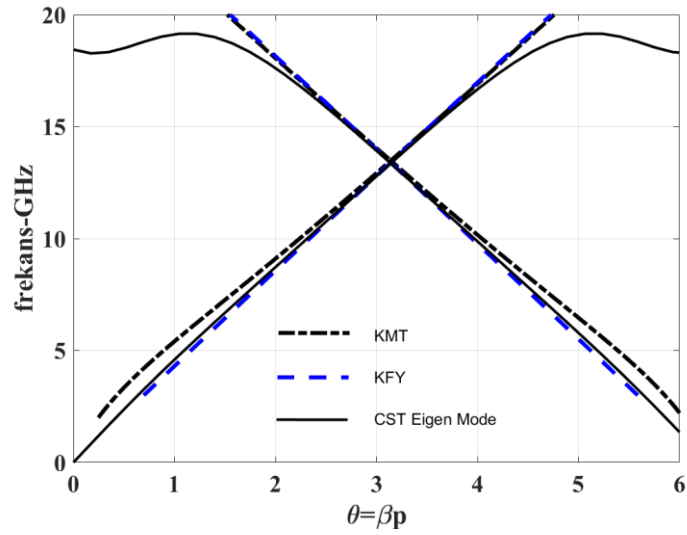
Ele alınan helisli YDY-I modellerinin KMT, KFY yöntemleri ve CST ortamındaki benzetimi ile modellenmesi sonucunda Şekil 4.2-4.4'te verilen sonuçlar elde edilmektedir. Önerilen KFY yönteminin literatürde mevcut KMT ve CST benzetim programları ile uyumlu sonuçlar verdiği görülmektedir.



Şekil 4.2 YDY-I'e ilişkin dispersiyon karakteristiği ve π -noktası frekansının incelenmesi



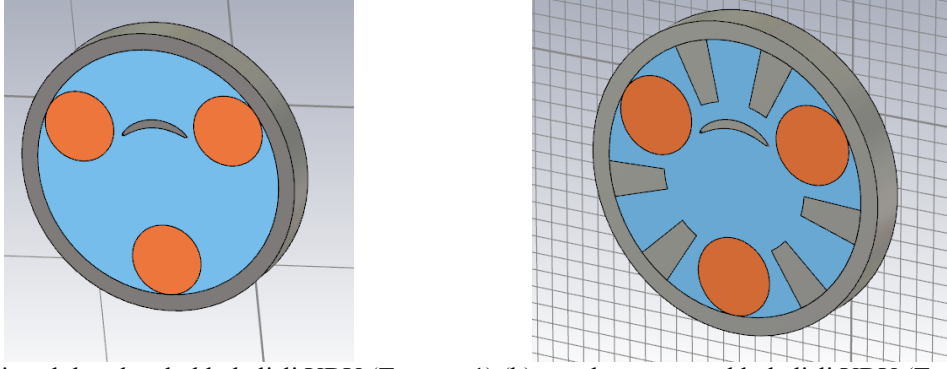
Şekil 4.3 YDY-II'ye ilişkin dispersiyon karakteristiği ve π -noktası frekansının incelenmesi



Şekil 4.4 YDY-III'e ilişkin dispersiyon karakteristiği ve π -noktası frekansının incelenmesi

5. ÖNERİLEN HELİSLİ YDY MODELİ

Metal segment yüklü helis modelinin daha düz bir dispersiyon karakteristiği elde edilmesini sağladığı belirtilmelidir. Bu noktada bu bölümde görece düz bir dispersiyon karakteristiğinin sağlanması için önerilen yeni helisli YDY modeli ele alınacaktır. Öncelikle dairesel dielektrik yüklü helisli YDY modeli referans alınarak bir tasarım başlangıcı yapılmıştır. Elde edilen faz hızı frekans karakteristiğine göre görece düz dispersiyon karakteristiğinin elde edilmesi için metal segment yüklemeleri yapılmıştır. Tasarımlara ilişkin kesit görüntüleri Şekil 5.1’de verilmektedir. Çizelge 2’de önerilen helisli YDY’ye ait yapı parametreleri yer almaktadır. Çizelge 2’de belirtilen θ_m , d ve r_{rod} ifadeleri sırasıyla segment açısı, segment yarıçapı ve dielektrik destek çubuk yarıçapını göstermektedir.



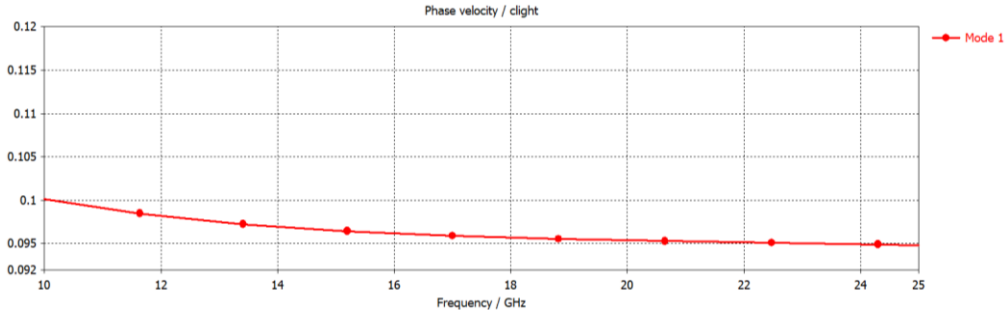
(a) Dairesel destek çubuklu helisli YDY (Tasarım 1) (b) metal segment yüklü helisli YDY (Tasarım 2)
Şekil 5.1 Ele alınan helisli YDY modelleri

Çizelge 2 Önerilen helisli YDY’ye ait yapı parametreleri

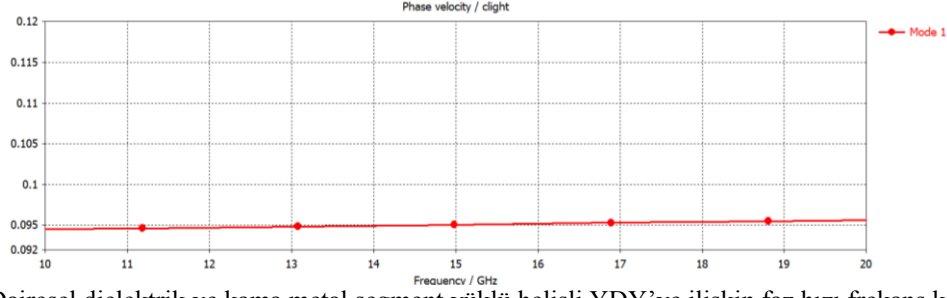
İncelenen Yapılar	ϵ_r	N	ζT^l	SS	h (mm)	a (mm)	b, θ_m (mm)	c, d (mm)	$\varphi(^{\circ})$	$w_{serit},$ r_{rod} (mm)	$c-b$ (mm)
Önerilen Helisli YDY	5.12	3	DA	6	0.423	0.6	$0.65, \frac{\pi}{24}$	1.512, 0.84	6.4	0.9, 0.431	0.64

N: Dielektrik destek çubuk sayısı, ζT^l : Çubuk tipi, SS: Segment sayısı

Dairesel dielektrik yüklü helisli YDY’ye ilişkin faz hızı frekans karakteristiği Şekil 5.2’de verilmektedir. Şekil 5.2’den açıkça görülmektedir ki daha geniş frekans bandında çalışma imkanına sahip olmak için görece daha düz bir dispersiyon karakteristiğine ihtiyaç vardır. Bu noktada Şekil 5.1 (b)’de verilen tasarım modellenmiştir. İlgili modele ait dispersiyon karakteristiği Şekil 5.3’te verilmektedir. Daha düz bir dispersiyon karakteristiği elde edilmiştir.

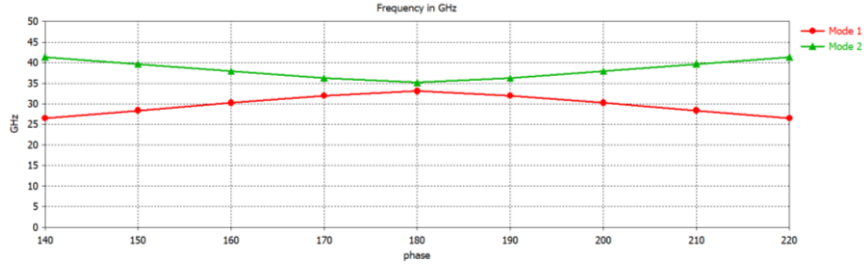


Şekil 5.2 Dairesel dielektrik yüklü helisli YDY’ye ilişkin faz hızı frekans karakteristiği



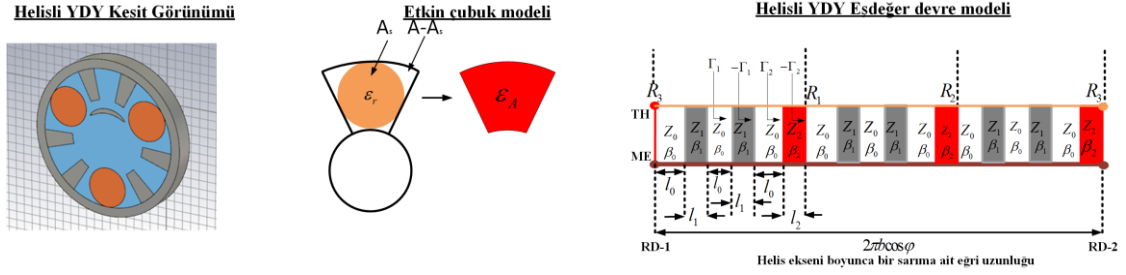
Şekil 5.3 Dairesel dielektrik ve kama metal segment yüklü helisli YDY'ye ilişkin faz hızı frekans karakteristiği

Aynı modele ait π -noktası frekansı analizi CST'de yapılmıştır ve sonuçlar Şekil 5.4'de verilmektedir.



Şekil 5.4 Dairesel dielektrik ve kama metal segment yüklü helisli YDY'ye ilişkin π -noktası frekansı analizi

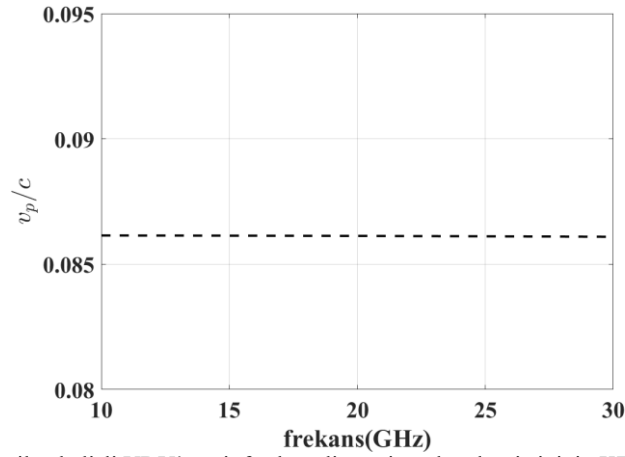
Şekil 5.1 (b)'de verilen tasarımın π -noktası frekansının KFY ile analizinin yapılması için öncelikle yapının eşdeğer devre modeli oluşturulmuştur. Eşdeğer devre modelinin görünümü Şekil 5.5'te gösterilmektedir. Önerilen helisli YDY modelinin eşdeğer devre modeli oluşturulurken dairesel çubuk kasma biçimli etkin bir dielektrik sabitine sahip bir model olarak alınmıştır. Etkin dielektrik sabitinin hesaplanması için (7)'no'lu denklemden yararlanılmıştır.



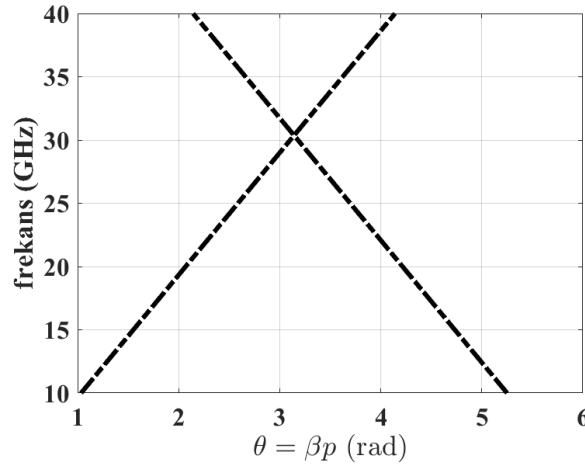
Şekil 5.5 Önerilen Helisli YDY ve eşdeğer devre modeli

$$\epsilon_A = 1 + (\epsilon_r - 1) \frac{A_s}{A} \quad (7)$$

Şekil 5.5'te verilen her bir bölgedeki karakteristik empedanslar ve yayılım faz sabitlerinin bulunması için ilgili bölgeye ilişkin mikroşerit hat formülleri kullanılmıştır. Eşdeğer devre modeli üzerinden önerilen helisli YDY'nin birim hücresine ait saçılma parametrelerinin bulunmasıyla Şekil 5.6'da ve 5.7'de verilen dispersiyon karakteristiği ve π -noktası frekansı sonuçları KFY ile elde edilmektedir.



Şekil 5.6 Önerilen helisli YDY'ye ait faz hızı dispersiyon karakteristiğinin KFY ile elde edilmesi



Şekil 5.7 Önerilen helisli YDY'ye ilişkin dispersiyon karakteristiği ve π -noktası frekansının KFY ile bulunması

CST ve KFY ile elde edilen sonuçların oldukça uyumlu olduğu sonucuna varılmıştır. Ek olarak, KFY yöntemi devre modeli kullandığından dolayı yaklaşık hesaplamalar yaptığından CST kadar hassas bir çözüm yapmamaktadır. Buna karşın CST benzetimlerinden yaklaşık 10 kat daha hızlı sonuç verdiği görülmüştür.

6. SONUÇ

Bu projede YDT'lerde kullanılan tek helisli yapıların π -noktası frekanslarının belirlenmesine yönelik özgün bir yöntem önerilmiştir. Kesin Floquet Yaklaşımı olarak isimlendirilen bu yöntemin doğruluğunun test edilmesi için literatürdeki mevcut helisli YDY'ler üzerinde uygulamalar yapılmıştır. Aynı örneklere ait π noktası frekansı analizleri literatürde sıkça kullanılan Kupl Mod Teorisi ve CST yazılımı kullanılarak ta yapılmıştır. Elde edilen sonuçların oldukça uyumlu olduğu sonucuna varılmıştır. Ek olarak Genişbandlı YDT'ler için görece düz bir dipersiyon karakteristiğine sahip tek helisli YDY önerilmiştir. Önerilen helisli YDY'ye ilişkin faz hızı dispersiyon karakteristikleri ve π -noktası frekansı analizleri CST ve KFY kullanılarak analiz edilmiştir. Analizler, Kesin Floquet Yaklaşımının hızlı ve basit bir çözüm açısından alternatif bir yöntem olduğunu ortaya koymuştur. Sonuç olarak proje çalışma takviminde belirtilen tüm iş paketleri başarı ile gerçekleştirilmiş olup elde edilen

sonuçların Scopus indeksi kapsamında yer alan Q1 veya Q2 dergilerde tam metin makale olarak yayınlanması hedeflenmektedir.

BİLGİLENDİRME

“Bu çalışma İstanbul Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimince Desteklenmiştir. Proje Numarası: MGA-2018-41347”

REFERANSLAR

- [1] Basu, BN. Electromagnetic theory and applications in beam-wave electronics (Vol. 1). World scientific. 1996.
- [2] Gilmour, A. S. Klystrons, traveling wave tubes, magnetrons, crossed-field amplifiers, and gyrotrons. Artech House, 2011.
- [3] Pierce, JR. Coupling of modes of propagation. Journal of Applied Physics 25.2 (1954): 179-183.
- [4] Watkins, DA. Topics in electromagnetic theory. Wiley, 1958.
- [5] Datta, S. K., Lalit Kumar, B. N. Basu. Analysis of π -mode stopband in an asymmetric millimeter-wave helical slow-wave structure." International Journal of Infrared and Millimeter Waves 29.11 (2008): 1048-1059.
- [6] Datta, SK, Naidu, VB, Rao, PRR, Kumar, L, Basu, BN. Simple Formulas for Stopband Attenuation Characteristics of Asymmetric Helical Slow-Wave Structures of Traveling-Wave Tubes. IEEE Transactions on Electron Devices, 2010; 57(6), 1447-1454.
- [7] Kesari, V., Basu, B. N. Analysis of some periodic structures of microwave tubes: part I: analysis of helical slow-wave structures of traveling-wave tubes. Journal of Electromagnetic Waves and Applications, (2017), 31(1), 1-37.
- [8] Hinson, DP. An Investigation of Power Suck-out in Helix Traveling-wave Tubes. Varian Associates Inc. Palo Alto CA. 1978.
- [9] Lien, EL. Stopbands produced by asymmetrical support rod system in helix structures. In: Electron Devices Meeting, 1979 International. IEEE, 1979. p. 412-415.
- [10] Onodera, T. An analysis of the pi-mode stopband caused by asymmetries of a metal-segment-loaded helix as used in broad-band traveling-wave tubes. IEEE Transactions on Electron Devices, 1988, 35.10: 1758-1759.
- [11] Simsek, S, Topuz, E. Some properties of generalized scattering matrix representations for metallic waveguides with periodic dielectric loading. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. 2007; 55(11), 2336-2344.
- [12] Şimşek, S. (2013). A novel method for designing one dimensional photonic crystals with given bandgap characteristics. *AEU-International Journal of Electronics and Communications*, 67(10), 827-832.
- [13] Ertay, A. O., Şimşek, S. (2018). A comprehensive Auxiliary Functions of Generalized Scattering Matrix (AFGSM) method to determine bandgap characteristics of periodic structures. *AEU-International Journal of Electronics and Communications*, 94, 139-144.
- [14] Ertay, A. O., & Şimşek, S. (2018). Determination of stopband characteristics of asymmetrically loaded helix slow wave structures with Auxiliary Functions of Generalized Scattering Matrix (AFGSM) method. *AEU-International Journal of Electronics and Communications*, 95, 271-278.
- [15] Hobrecht C., Resonant loss for helix traveling wave tubes," in: Electron Devices meeting, 1977 International, IEEE,, 348{350, Washington, D.C., USA, 1977.
- [16] D'Agostino S., Emma F., Paoloni C., Accurate analysis of helix slow-wave structures, IEEE Transactions on Electron Devices, Vol. 45, No 7, 1605-1613, 1998.

- [17] Putz J., Cascone M., Effective use of dispersion shaping in broadband helix twt circuits, in: Electron Devices Meeting, 1979 International, IEEE, 422-424, Washington, D.C., USA, 1979.
- [18] Ghosh S., Jain P., Basu B., Rigorous tape analysis of inhomogeneously-loaded helical slow-wave structures," *IEEE Transactions on Electron Devices*, Vol. 44, No. 7, 1158-1168, 1997.