

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DRUDE MATERYALI İLE DOLU PARALEL LEVHALI
DÜZLEM DALGA KILAVUZLARININ İNCELENMESİ

728671

Müh. Olikay GÖKÇE

TC YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMENTASYON MERKEZİ

F.B.E Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı Haberleşme Programında
Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ



Prof. Dr. Taner ŞENGÖR

Tez Danışmanı

: Prof. Dr. Taner ŞENGÖR (YTÜ)



Prof. Dr. Selim Şeker



İSTANBUL, 2002

Prof. Dr. A. Fahri Bursalı

128611

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ	iv
ŞEKİL LİSTESİ	vii
ÖNSÖZ	ix
ÖZET	x
ABSTRACT	xi
1. GİRİŞ	1
1.1 Konunun Tanıtılması	1
1.2 Konunun Gelişimi	2
1.3 Tezin Amacı	2
2. PROBLEMİN FORMÜLASYONU	3
2.1 Problemin Tanımlanması	3
2.2 Problemin Formülasyonu	4
2.3 Sınır Koşullarının Uygulanması	8
2.4 Drude Dispersiyonu	11
2.5 Levhalar Üzerindeki Akım Yoğunluğu	13
2.6 Kritik Frekans	14
3. ALANIN HESABI	15
3.1 Mod Analizi	15
3.1.1 TEMz Modları	15
3.1.2 TEz Modları	15
3.1.3 TMz Modları	16
3.2 Ayrık Alan Formülasyonu	16
3.2.1 1. Bölgede Gelen Alan	16
3.2.2 1. Bölgede Yansıyan Alan	18
3.2.3 2. Bölgede Kırılan Alan	19
3.3. Malzemeler Arasındaki Alanda Sınır Koşulu	21
3.4. Propagasyon Sabitinin Seri Açılımı	22
4. SINIR KOŞULLARININ ZAMAN DOMENİNDE UYGULANMASI	25
4.1 Gelen Alana İlişkin Sabitler	25
4.2 Gelen ve Yansıyan Alan Arasındaki İlişkiler	26
4.3 Yansıyan Alan Propagasyon Sabiti	26
4.4 Kırılan Alana İlişkin Sabitler	27
4.5 Kırılan Alan Propagasyon Sabiti	29
5. SAYISAL SONUÇLAR VE GRAFİKLER	31
5.1 Özel Hal: Dispersiyonun Olmaması Durumu	144

6. SONUÇLAR.....	148
KAYNAKLAR.....	150
EKLER.....	151
Ek 1 Grafiklerin çiziminde kullanılan parametre değerleri	152
ÖZGEÇMİŞ	153



SİMGE LİSTESİ

ω_q	Radyan plazma frekansı
v_c	Kolasyon frekansı
ϵ_∞	Ortamın sonsuz frekansında permitivitesi
ϵ_s	Ortamın sıfır frekansında permitivitesi
t_0	Sn. olarak rölaksasyon süresi
ϵ	Bağıl dielektrik sabiti
μ_0	Uzayın (boşluğun) magnetik geçirgenliği
ϵ_0	Uzayın (boşluğun) dielektrik sabiti
ϵ'	Bağıl dielektrik sabitinin reel kısmı
ϵ''	Bağıl dielektrik sabitinin sanal kısmı
δ	Kayıp açısı
K	Seperasyon sabiti
b	Levhalar arası uzaklık
n	Mod sayısı
A_x, A_y, A_z	Elektrik alanın seperasyon yöntemi ile çözümünde ortaya çıkan sabitler
B_x, B_y, B_z	Elektrik alanın seperasyon yöntemi ile çözümünde ortaya çıkan sabitler
C_x, C_y, C_z	Magnetik alanın seperasyon yöntemi ile çözümünde ortaya çıkan sabitler
D_x, D_y, D_z	Magnetik alanın seperasyon yöntemi ile çözümünde ortaya çıkan sabitler
ρ	Yük yoğunluğu
J	Elektrik akım yoğunluğu
$\vec{E}$	Elektrik alan vektörü
$\vec{H}$	Magnetik alan vektörü
Γ	Propagasyon sabitinin modülü
J_{sy}	Levhalar üzerindeki akım yoğunluğunun y bileşeni
J_{sz}	Levhalar üzerindeki akım yoğunluğunun z bileşeni
ω_c	Kritik frekans
c_0	Boşluktaki ışık hızı
k_1	Birinci bölgedeki dalga sayısı
k_2	İkinci bölgedeki dalga sayısı
γ'_1	Yansıyan alanın propagasyon sabiti
γ_1	Birinci bölgedeki alanın propagasyon sabiti
γ_2	İkinci bölgedeki alanın propagasyon sabiti
B_{1r}	Birinci bölgedeki elektrik alan genlik değerinin reel kısmı
B_{2r}	İkinci bölgedeki elektrik alan genlik değerinin reel kısmı
B_{1s}	Birinci bölgedeki elektrik alan genlik değerinin sanal kısmı
B_{2s}	İkinci bölgedeki elektrik alan genlik değerinin sanal kısmı
B'_{1r}	Yansıyan elektrik alan genlik değerinin reel kısmı
B'_{2r}	Yansıyan elektrik alan genlik değerinin sanal kısmı
D_{1r}	Birinci bölgedeki magnetik alan genlik değerinin reel kısmı
D_{2r}	İkinci bölgedeki magnetik alan genlik değerinin reel kısmı
D_{1s}	Birinci bölgedeki magnetik alan genlik değerinin sanal kısmı

D_{2s}	İkinci bölgedeki magnetik alan genlik değerinin sanal kısmı
D'_{1r}	Yansıyan magnetik alan genlik değerinin reel kısmı
D'_{2r}	Yansıyan magnetik alan genlik değerinin sanal kısmı
γ_r	Propagasyon sabitinin seri açılımının reel kısmı
γ_s	Propagasyon sabitinin seri açılımının sanal kısmı
γ_{1r}	Birinci bölgedeki propagasyon sabitinin reel kısmı
γ_{1s}	İkinci bölgedeki propagasyon sabitinin sanal kısmı
γ_{21r}	İkinci bölgedeki propagasyon sabitinin reel kısmı
γ_{2s}	Birinci bölgedeki propagasyon sabitinin sanal kısmı
γ'_{1r}	Yansıyan alanın propagasyon sabitinin reel kısmı
γ'_{1s}	Yansıyan alanın propagasyon sabitinin sanal kısmı
ϵ'_1	Birinci bölgedeki bağıl dielektrik sabitinin reel kısmı
ϵ''_1	Birinci bölgedeki bağıl dielektrik sabitinin sanal kısmı
ϵ'_2	İkinci bölgedeki bağıl dielektrik sabitinin reel kısmı
ϵ''_2	İkinci bölgedeki bağıl dielektrik sabitinin sanal kısmı
ω_{q1}	Birinci bölgedeki radyan plasma frekansı
ν_{c1}	Birinci bölgedeki kolisyon frekansı
ω_{q2}	İkinci bölgedeki radyan plasma frekansı
ν_{c2}	İkinci bölgedeki kolisyon frekansı
σ_1	Birinci bölgedeki iletkenlik
σ_2	İkinci bölgedeki iletkenlik
λ_1	Birinci bölgedeki dalga boyu
λ_2	İkinci bölgedeki dalga boyu
E_{xn}	n modundaki elektrik alanın x bileşeni
E_{yn}	n modundaki elektrik alanın y bileşeni
E_{zn}	n modundaki elektrik alanın z bileşeni
H_{xn}	n modundaki magnetik alanın x bileşeni
H_{yn}	n modundaki magnetik alanın y bileşeni
H_{zn}	n modundaki magnetik alanın z bileşeni
E_{x1n}	Birinci bölgede n modundaki elektrik alanın x bileşeni
E_{y1n}	Birinci bölgede n modundaki elektrik alanın y bileşeni
E_{z1n}	Birinci bölgede n modundaki elektrik alanın z bileşeni
H_{x1n}	Birinci bölgede n modundaki magnetik alanın x bileşeni
H_{y1n}	Birinci bölgede n modundaki magnetik alanın y bileşeni
H_{z1n}	Birinci bölgede n modundaki magnetik alanın z bileşeni
E'_{x1n}	n modundaki yansıyan elektrik alanın x bileşeni
E'_{y1n}	n modundaki yansıyan elektrik alanın y bileşeni
E'_{z1n}	n modundaki yansıyan elektrik alanın z bileşeni
H'_{x1n}	n modundaki yansıyan magnetik alanın x bileşeni
H'_{y1n}	n modundaki yansıyan magnetik alanın y bileşeni
H'_{z1n}	n modundaki yansıyan magnetik alanın z bileşeni
E_{x2n}	İkinci bölgede n modundaki elektrik alanın x bileşeni

E_{y2n}	İkinci bölgede n modundaki elektrik alanın y bileşeni
E_{z2n}	İkinci bölgede n modundaki elektrik alanın z bileşeni
H_{x2n}	İkinci bölgede n modundaki magnetik alanın x bileşeni
H_{y2n}	İkinci bölgede n modundaki magnetik alanın y bileşeni
H_{z2n}	İkinci bölgede n modundaki magnetik alanın z bileşeni



ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1	İki farklı dispersif malzeme ile dolu dalga kılavuzu.....	3
Şekil 3.1.	Dispersif malzemeler arasında kalan bölge.....	21
Şekil 5.1	1. Bölgedeki elektrik alan x bileşenin 40 GHz için levhalar arasındaki uzaklık ile değişimleri	33
Şekil 5.2	2. Bölgedeki elektrik alanın x bileşenin 40 GHz için levhalar arasındaki uzaklık ile değişimleri	36
Şekil 5.3	1. Bölgedeki elektrik alanın y bileşenin 40 GHz için levhalar arasındaki uzaklık ile değişimleri	39
Şekil 5.4	2. Bölgedeki elektrik alanın y bileşenin 40 GHz için levhalar arasındaki uzaklık ile değişimleri	42
Şekil 5.5	1. Bölgedeki elektrik alanın z bileşenin 40 GHz için levhalar arasındaki uzaklık ile değişimleri	45
Şekil 5.6	2. Bölgedeki elektrik alanın z bileşenin 40 GHz için levhalar arasındaki uzaklık ile değişimleri	48
Şekil 5.7	1. Bölgedeki magnetik alanın x bileşenin 40 GHz için levhalar arasındaki uzaklık ile değişimleri.....	51
Şekil 5.8	2. Bölgedeki magnetik alanın x bileşenin 40 GHz için levhalar arasındaki uzaklık ile değişimleri.....	54
Şekil 5.9	1. Bölgedeki magnetik alanın y bileşenin 40 GHz için levhalar arasındaki uzaklık ile değişimleri.....	57
Şekil 5.10	2. Bölgedeki magnetik alanın y bileşenin 40 GHz için levhalar arasındaki uzaklık ile değişimleri.....	60
Şekil 5.11	1. Bölgedeki magnetik alanın z bileşenin 40 GHz için levhalar arasındaki uzaklık ile değişimleri.....	63
Şekil 5.12	2. Bölgedeki magnetik alanın z bileşenin 40 GHz için levhalar arasındaki uzaklık ile değişimleri.....	66
Şekil 5.13	1. Bölgedeki elektrik alanın x bileşenin 45 GHz için levhalar arasındaki uzaklık ile değişimleri	69
Şekil 5.14	2. Bölgedeki elektrik alanın x bileşenin 45 GHz için levhalar arasındaki uzaklık ile değişimleri	72
Şekil 5.15	1. Bölgedeki elektrik alanın y bileşenin 45 GHz için levhalar arasındaki uzaklık ile değişimleri	75
Şekil 5.16	2. Bölgedeki elektrik alanın y bileşenin 45 GHz için levhalar arasındaki uzaklık ile değişimleri	78
Şekil 5.17	1. Bölgedeki elektrik alanın z bileşenin 45 GHz için levhalar arasındaki uzaklık ile değişimleri	81
Şekil 5.18	2. Bölgedeki elektrik alanın z bileşenin 45 GHz için levhalar arasındaki uzaklık ile değişimleri	84
Şekil 5.19	1. Bölgedeki magnetik alanın x bileşenin 45 GHz için levhalar arasındaki uzaklık ile değişimleri.....	87
Şekil 5.20	2. Bölgedeki magnetik alanın x bileşenin 45 GHz için levhalar arasındaki uzaklık ile değişimleri.....	90
Şekil 5.21	1. Bölgedeki magnetik alanın y bileşenin 45 GHz için levhalar arasındaki uzaklık ile değişimleri.....	93
Şekil 5.22	2. Bölgedeki magnetik alanın y bileşenin 45 GHz için levhalar arasındaki uzaklık ile değişimleri.....	96
Şekil 5.23	1. Bölgedeki magnetik alanın z bileşenin 45 GHz için levhalar arasındaki uzaklık ile değişimleri.....	99
Şekil 5.24	2. Bölgedeki magnetik alanın z bileşenin 45 GHz için levhalar arasındaki uzaklık ile değişimleri.....	102

Şekil 5.25	1. Bölgedeki elektrik alanın x bileşenin 50 GHz için levhalar arasındaki uzaklık ile değişimleri	105
Şekil 5.26	2. Bölgedeki elektrik alanın x bileşenin 50 GHz için levhalar arasındaki uzaklık ile değişimleri	108
Şekil 5.27	1. Bölgedeki elektrik alanın y bileşenin 45 GHz için levhalar arasındaki uzaklık ile değişimleri	111
Şekil 5.28	2. Bölgedeki elektrik alanın y bileşenin 50 GHz için levhalar arasındaki uzaklık ile değişimleri	114
Şekil 5.29	1. Bölgedeki elektrik alanın z bileşenin 50 GHz için levhalar arasındaki uzaklık ile değişimleri	117
Şekil 5.30	2. Bölgedeki elektrik alanın z bileşenin 50 GHz için levhalar arasındaki uzaklık ile değişimleri	120
Şekil 5.31	1. Bölgedeki magnetik alanın x bileşenin 50 GHz için levhalar arasındaki uzaklık ile değişimleri	123
Şekil 5.32	2. Bölgedeki magnetik alanın x bileşenin 50 GHz için levhalar arasındaki uzaklık ile değişimleri	126
Şekil 5.33	1. Bölgedeki magnetik alanın y bileşenin 50 GHz için levhalar arasındaki uzaklık ile değişimleri	129
Şekil 5.34	2. Bölgedeki magnetik alanın y bileşenin 50 GHz için levhalar arasındaki uzaklık ile değişimleri	132
Şekil 5.35	1. Bölgedeki magnetik alanın z bileşenin 50 GHz için levhalar arasındaki uzaklık ile değişimleri	135
Şekil 5.36	2. Bölgedeki magnetik alanın z bileşenin 50 GHz için levhalar arasındaki uzaklık ile değişimleri	138
Şekil 5.37	1. ve 2. Bölgedeki $x=0$ levhası üzerindeki akım yoğunluğunun 40 GHz için levhalar arasındaki uzaklık ile değişimle	142
Şekil 5.38	1. Bölgedeki elektrik alanın x bileşenin frekans ile değişimi	144
Şekil 5.39	TE_z modu için özel halde alan grafikleri	146
Şekil 5.40	TM_z modu için özel halde alan grafikleri	147

ÖNSÖZ*

Tez çalışmalarım sırasında,

Yardımlarını esirgemeyen Sayın Prof.Dr.Taner ŞENGÖR'e;

Her zaman yanımda olan anneme, babama ve sonsuz desteği için eşime teşekkürü bir borç bilirim.

Olıkay GÖKÇE

İstanbul,2002

*Bu çalışma Yıldız Teknik Üniversitesi Araştırma Fonu'na desteklenmiştir. Proje No : 99-04-03-02

ÖZET

Bu tezde iki adet düzlemsel sonsuz uzun ve mükemmel elektrik iletken paralel levha arasına yerleştirilmiş ve özellikleri frekansa bağlı olarak değişen farklı malzemelerin oluşturdukları jonksiyon süreksizliklerinin ve malzemelerin dispersif özelliklerinin levhalar arasında yayılan elektromagnetik dalgaların propagasyonu üzerindeki etkileri konusunda çalışılmıştır. Söz konusu düzlemde levhalar $x=0$ düzlemine paraleldirler. Dielektrik malzemenin frekansa bağlı değişiminin 1. Dereceden Drude dispersiyonu yapısında olduğu varsayılmıştır. Farklı karakteristikteki iki Drude materyali $z>0$ ve $z<0$ yarı bölgelerine aralarındaki jonksiyon levhalara dik olacak şekilde yerleştirilmiştir. Pozitif z ekseni yönünde yayılan monokromatik düzlemsel dalganın sonsuzdaki bir kaynak tarafından uyarıldığı varsayılmıştır. Elektrik ve magnetik alanlar sınır koşulları sağlatılarak elde edilmiştir. TEM_z , TE_z , ve TM_z modları incelenmiştir. Elde edilen sayısal sonuçlar grafikler halinde verilmiştir. Erişilen sonuçların uygulama açısından yararları tartışılmıştır.



ABSTRACT

Wave propagation is studied in frequency dependent materials placed between two infinitely long and perfectly electrical conducting parallel plates. The plates are parallel to $x=0$ plane. The frequency dependence of dielectric materials is taken as 1st order drude dispersion. The half-planes $z>0$ and $z<0$ are filled with drude materials of different characteristics. The wave propagation along positive z -axis is considered. The electric and magnetic fields are obtained by satisfying the boundary conditions. The modes TEM_z , TE_z , and TM_z are studied. Some numerical examples are gives.



1. GİRİŞ

Bu çalışmada dispersif malzemelerle dolu dalga kılavuzlarında elektromagnetik dalgaların yayılımı ile ilgilenilmektedir. Bu amaçla Drude dispersiyonu ve paralel levhali dalga kılavuzları gözönüne alınmıştır.

1.1 Konunun Tanıtılması

Dispersif malzemelerin çeşitli öneme sahip olduğu uygulamalar günümüzde gittikçe artan gelişmeye ve öneme sahiptir.

Ortamları karakteristik parametrelerinin özelliklerine göre sınıflandırmak mümkündür. Bu parametrelerin başlıcaları ϵ dielektrik sabiti, μ magnetik geçirgenlik ve σ iletkenliktir. Herhangi bir ortamın dielektrik sabitinden bahsedildiğinde uzayın (boşluğun) dielektrik sabiti ile ortamın bağıl dielektrik sabitinin çarpımı anlaşılır ($\epsilon_0 \epsilon_r$). Aynı şekilde magnetik geçirgenlik de ortamın bağıl magnetik geçirgenliği ile uzayın magnetik geçirgenliği çarpımı olarak ifade edilir ($\mu_0 \mu_r$).

Serbest uzayda dielektrik sabiti ve magnetik geçirgenlik en basit halledir ($\epsilon=\epsilon_0, \mu=\mu_0$) ve tüm frekans, alan büyüklükleri için aynı değerdedir.

Ortam, içinde ϵ_r ve μ_r konumdan bağımsız ise **homojen**, ϵ_r yönden bağımsız ise **izotropik**, ϵ_r yöne bağlı ise **anizotropik** olarak isimlendirilir. Hem lineer hem homojen hem de izotropik ise **basit ortam** adı verilir.

Dispersif bir ortamda ϵ_r frekansın bir fonksiyonudur (örn : iyonize plazma, insan dokusu). ϵ_r nin frekansa bağımlılık fonksiyonları literatürde üç tanedir : Debye, Drude ve Lorentz.

Bu çalışmada Drude materyali, kaynaksız, lineer, magnetik olmayan ve iletkenlik kaybının olmadığı durumda incelenmiştir.

Önce Maxwell denklemlerinden yola çıkılarak alan büyüklüklerini bulmak için gerekli olan ortamın karakteristik denklemleri ortamın dispersif özelliklerini uygun bir biçimde ortaya koyacak formda ifade edilmiştir. Lineer bir ortam için, kompleks karakteristik denklemler zamanla sinüsoidal değişen durumda $\exp(i\omega t)$ çarpanı kullanılmıştır (Harrington,1961). Sonra Drude dispersionuna sahip paralel levhali dalga kılavuzu içinde elektromagnetik alan büyüklüklerine ait temel denklemler yazılmıştır. Çalışmada incelenen Drude dispersiyonu ile birlikte alan büyüklükleri Binom ve Taylor seri açılımları yardımıyla yazılarak sınır koşulları

uygulanmış ve bilinmeyen katsayılar arasındaki ilişkiler elde edilmiştir. Elde edilen eşitliklere ilişkin değişimler grafiklerle gösterilmiştir.

1.2 Konunun Gelişimi

Literatürde yapılan çalışmaların çoğunda içi dielektrik sabitinin frekans ile değişmediği dielektrik malzeme ile dolu veya içi boş dalga kılavuzları ele alınmıştır. İnsan dokusu gibi frekans ile değişen yapılar üzerindeki çalışmalar büyük önem taşımaktadır. Günümüzde yaygın şekilde tıpta kullanılan MR kabini bir dalga kılavuzu olarak gözönüne alınabilir. MR kabinin içinde bulunan insan bu anlamda dispersif bir ortamdır. Bu nedenle dispersif malzeme ile dolu paralel levhalı düzlem dalga kılavuzlarında elektromagnetik alan değişimlerini incelemek böyle problemlere katkı sağlar (Ramiz ve Şengör, 2000).

Mikrodalga devreleri açısından pratikte önem taşıyan bir diğer durum 3-kapılı dalga kılavuzu güç bölücü elemanlarının tasarımıdır. Belirli bir frekansta, özel bir yapı için tanımlanan güç bölücü devrelerinin yanında jonksiyon bölgesi dispersif dielektrik malzeme ile dolu dalga kılavuzu T-jonksiyonu, dispersif malzemenin özelliğinden dolayı uygulama açısından yararlar sağlayabilir (Ramiz ve Şengör, 2000).

Açık yazında, silindirik ya da dikdörtgen dalga kılavuzu yapılar kullanılarak çeşitli mikrodalga devre elemanı tasarımları öngörülmektedir. Bir çoğunda içi boş dalga kılavuzlarında çeşitli yapı değişiklikleriyle mikrodalga transformator, filtre, uydurma devresi,...vb. tasarımı üzerinde durulmaktadır. Günümüzde ise gittikçe artan bir önemle dispersif malzemeler üzerine yapılan çalışmalara ilgi vardır. (Ramiz ve Şengör, 1999), (Şengör, 2000), (Costa ve Şengör, 2001). Buradan hareketle, Drude dispersiyonuna sahip farklı iki malzeme ile dolu paralel levhalı düzlem dalga kılavuzu incelenmiştir.

1.3 Tezin Amacı

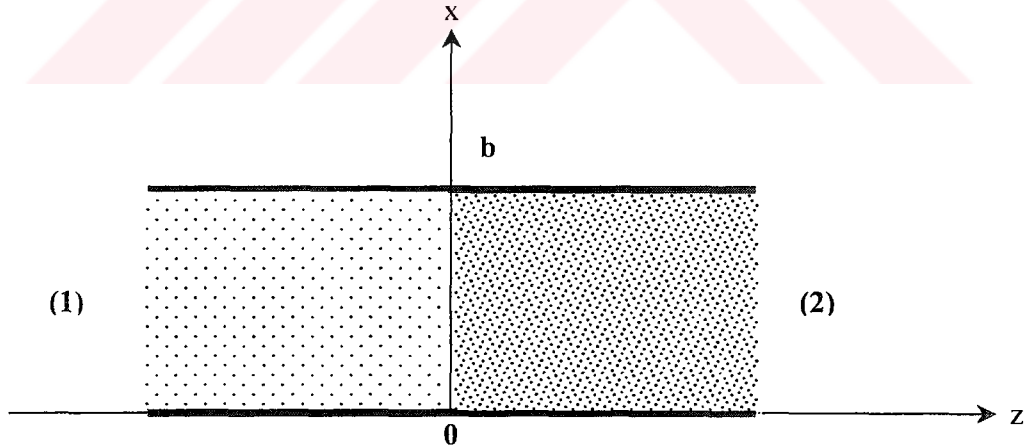
Yapılan çalışma ile drude materyali ile dolu paralel levhalı dalga kılavuzunun dalga yayılımına etkisi ortaya çıkarılmak istenmiştir.

2. PROBLEMİN FORMÜLASYONU

Bu çalışmada Drude dispersiyonuna sahip farklı dielektrik malzemelerin oluşturduğu ve iki adet mükemmel elektrik iletken ve sonsuz geniş düzlemsel levha arasına ve levhalara dik olarak yerleştirilmiş jonksiyon süreksizliklerinin etkileri incelenmiştir. Drude dispersiyonuna sahip malzemelerin dalga kılavuzları içinde kullanım olanakları ve bu yolla gösterebilecekleri bazı özellikler açıklığa kavuşturulmak istenmiştir. Bu amaçla iki adet mükemmel elektrik iletken ve sonsuz geniş düzlemsel levhanın oluşturduğu bir paralel levhalı dalga kılavuzu seçilmiştir. İki farklı karakteristikteki Drude malzemesi aralarındaki jonksiyon levhalara dik olacak şekilde levhalar arasına yerleştirilmiştir. Bu şekilde oluşturulan jonksiyon süreksizliklerinin etkileri incelenmiştir.

2.1 Problemin Tanımlanması

$x=0$ ve $x=b$ düzlemlerine birer elektriksel mükemmel iletken levha konmak suretiyle oluşturulan paralel levhalı dalga kılavuzunun levhaları arasındaki $z<0$ ve $z>0$ bölgeleri Drude tipinde dispersiyon karakteristiğine sahip, iletkenliği bulunmayan ve magnetik olmayan iki farklı malzeme ile doludur. Zamana bağlılık $e^{i\omega t}$ şeklinde olmak üzere 1. bölgede pozitif z ler yönünde yayılan ve kaynağı $z \rightarrow -\infty$ da bulunan bir elektromagnetik dalga mevcuttur (Şekil 1.1). Her iki dielektriğin de iletkenliğinin bulunmadığı, iletim özelliklerinin yalnızca Drude materyaline ilişkin $\mathcal{E}$ tanımından kaynaklandığı varsayılmıştır.



Şekil 2.1 İki farklı dispersif malzeme ile dolu dalga kılavuzu: 1.Bölge : $z<0$, ϵ_1, μ_0 (non-magnetik), $\sigma_1=0$ ortamda iletkenliğin neden olduğu kayıp yok. 2.Bölge: $z>0$, ϵ_2, μ_0 (non-magnetik), $\sigma_2=0$ ortamda iletkenliğin neden olduğu kayıp yok

2.2 Problemin Formülasyonu

+z yönünde yayılan ve bu yönde γ propagasyon sabiti ile zayıflayan kompleks elektrik alanı genel halde aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$\vec{E}(x, y, z; t) = \text{Re} \{ \vec{E}(x, y) e^{-\gamma z} e^{i\omega t} \} \quad (2.1)$$

Burada, $\alpha > 0$ ve $\beta > 0$ olmak üzere $\gamma = \alpha + i\beta$ propagasyon sabiti olarak ifade edilir.

Mükemmel iletken levha düzlemleri y yönünde sonsuz uzunluktadır ve alanlar bu yönde bir değişim göstermezler; dolayısı ile ,

$$\vec{E}(x, y, z; t) = \vec{E}(x, z; t) = \text{Re} \{ \vec{E}(x) e^{-\gamma z} e^{i\omega t} \} \quad (2.2a)$$

yazabiliriz. Burada ,

$$\vec{E}(x) = E_x(x) \vec{e}_x + E_y(x) \vec{e}_y + E_z(x) \vec{e}_z \quad (2.2b)$$

olarak ifade edilebilir.

Genel halde Maxwell Denklemleri ,

$$\text{rot} \vec{E} + \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} = 0 \quad (2.3a)$$

$$\text{rot} \vec{H} - \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} = \vec{J} \quad (2.3b)$$

$$\text{div} \vec{D} = \rho \quad (2.3c)$$

$$\text{div} \vec{B} = 0 \quad (2.3d)$$

eşitliklerinden ibarettir. Ortamın karakteristik denklemleri,

$$\vec{B} = \mu \vec{H} \text{ ve } \vec{D} = \epsilon \vec{E} \text{ dir.} \quad (2.4)$$

Elektrik akım yoğunluğu ise aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$\vec{J} = \vec{J}_v + \vec{J}_{\text{iletim}} = \rho \vec{v} + \sigma \vec{E} \quad (2.5)$$

(2.5) in sağ tarafındaki ilk bileşen $\vec{J}_v$, serbest yük hareketi ile oluşan elektrik akım

yoğunluğudur , ikinci bileşen $\mathcal{J}_{\text{iletim}}$ ise ortamın iletkenlik özelliği nedeni ile oluşur. $\vec{v}$ hareket eden yüklere ilişkin hız alanıdır.

Bilindiği gibi magnetik olmayan, homojen ve kaynakları içermeyen kayıpsız ortamda kompleks formda maxwell denklemleri (2.3a) ve (2.3b) denklemlerinde $\frac{\partial}{\partial t}$ yerine $i\omega$ yazılarak aşağıdaki şekilde elde edilir.

$$\text{rot } \vec{E} = -i\omega\mu \vec{H} \quad (2.6a)$$

$$\text{rot } \vec{H} = i\omega \vec{D} \quad (2.6b)$$

$$\text{div } \vec{E} = 0 \quad (2.6c)$$

$$\text{div } \vec{H} = 0 \quad (2.6d)$$

1 ve 2 Bölgeleri Drude tipinde birer dispersif dielektrikle dolu olduğundan burada ,

$$\epsilon(\omega) = 1 + \frac{\omega_q^2}{\omega(j\nu_c - \omega)} \quad (2.7a)$$

olmak üzere,

$$\vec{D} = \epsilon \vec{E} \quad (2.7b)$$

dir. Denklemler (2.6a) nin her iki tarafı rotasyonel ile işleme tabi tutulursa,

$$\text{rot rot } \vec{E} = -i\omega\mu_0 \text{rot } \vec{H} \quad (2.8a)$$

(2.6b) denklemi ve $\nabla \times \nabla \times \vec{E} = \nabla(\nabla \cdot \vec{E}) - \nabla^2 \vec{E}$ eşitliğinden faydalanılır ise,

$$\nabla(\nabla \cdot \vec{E}) - \nabla^2 \vec{E} = \omega^2 \epsilon \mu_0 \vec{E} \quad (2.8b)$$

yazılır. (2.6c) denklemi nedeniyle k dalga sayısı olmak üzere $k^2 = \omega^2 \epsilon \mu_0$ eşitliği yerine yazılır

ise Homojen Helmholtz denklemleri elde edilir.

$$\nabla^2 \vec{E} + k^2 \vec{E} = 0 \quad (2.9)$$

$$\nabla^2 \vec{H} + k^2 \vec{H} = 0 \quad (2.10)$$

Burada bilinen $\nabla^2 = (\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2})$ gösterilimi kullanılmıştır.(2.2a) ve (2.2b) nedeniyle, (2.9) ve (2.10),

$$\frac{\partial^2}{\partial x^2} \vec{E} + (\gamma^2 + k^2) \cdot \vec{E} = 0 \quad (2.11)$$

$$\frac{\partial^2}{\partial x^2} \vec{H} + (\gamma^2 + k^2) \cdot \vec{H} = 0 \quad (2.12)$$

halini alır.Alanların ifadeleri,

$$\vec{E}_x(x, z) = E_x(x) e^{-\gamma z} \quad \vec{H}_x(x, z) = H_x(x) e^{-\gamma z} \quad (2.13a)$$

$$\vec{E}_y(x, z) = E_y(x) e^{-\gamma z} \quad \vec{H}_y(x, z) = H_y(x) e^{-\gamma z} \quad (2.13b)$$

$$\vec{E}_z(x, z) = E_z(x) e^{-\gamma z} \quad \vec{H}_z(x, z) = H_z(x) e^{-\gamma z} \quad (2.13c)$$

olarak yazılabilir.Bu ifadeler yardımıyla (2.6a) denklemindeki vektörel çarpım işlemi yapılırsa,

$$\frac{\partial \vec{E}_z}{\partial y} - \frac{\partial \vec{E}_y}{\partial z} = -i\omega\mu_0 \vec{H}_x \quad (2.14)$$

$$\frac{\partial \vec{E}_x}{\partial z} - \frac{\partial \vec{E}_z}{\partial x} = -i\omega\mu_0 \vec{H}_y \quad (2.15)$$

$$\frac{\partial \vec{E}_y}{\partial x} - \frac{\partial \vec{E}_x}{\partial y} = -i\omega\mu_0 \vec{H}_z \quad (2.16)$$

elde edilirBuradan (2.13) yardımıyla aşağıdaki denklemler elde edilir.

$$\gamma E_y = -i\omega\mu_0 H_x \quad (2.17)$$

$$\gamma E_x - \frac{\partial E_z}{\partial x} = -i\omega\mu_0 H_y \quad (2.18)$$

$$\frac{\partial E_y}{\partial x} = -i\omega\mu_0 H_z \quad (2.19)$$

(2.6b) ve (2.13) den,

$$\frac{\partial \tilde{H}_z}{\partial y} - \frac{\partial \tilde{H}_y}{\partial z} = i\omega\epsilon \tilde{E}_x$$

$$\gamma H_y = i\omega\epsilon E_x \quad (2.20)$$

$$\frac{\partial \tilde{H}_x}{\partial z} - \frac{\partial \tilde{H}_z}{\partial x} = i\omega\epsilon \tilde{E}_y$$

$$-\gamma H_x - \frac{\partial H_z}{\partial x} = i\omega\epsilon E_y \quad (2.21)$$

$$\frac{\partial \tilde{H}_y}{\partial x} - \frac{\partial \tilde{H}_x}{\partial y} = i\omega\epsilon \tilde{E}_z$$

$$\frac{\partial H_y}{\partial x} = i\omega\epsilon E_z \quad (2.22)$$

yazılır.(2.17) ve (2.19) denklemlerinden aşağıdaki denklem elde edilir.

$$H_z = \frac{1}{\gamma} \frac{\partial H_x}{\partial x} \quad (2.23)$$

(2.18) ve (2.20) denklemlerinden ,

$$H_y = -\frac{i\omega\epsilon}{\gamma^2 + k^2} \frac{\partial E_z}{\partial x} \quad (2.24)$$

elde edilir.(2.18) ve (2.21) denklemlerinden ,

$$E_y = \frac{i\omega\mu}{\gamma^2 + k^2} \frac{\partial H_z}{\partial x} \quad (2.25)$$

elde edilir.(2.18) ve (2.20) denklemlerinden ,

$$E_x = -\frac{\gamma}{\gamma^2 + k^2} \frac{\partial E_z}{\partial x} \quad (2.26)$$

elde edilir.Şimdi bileşenler için Helmholtz denklemini ayrı ayrı yazalım ve çözelim.(2.9) denkleminin x bileşeni için açık hali aşağıdaki gibidir.

$$\frac{\partial^2 E_x}{\partial x^2} + (\gamma^2 + k^2) E_x = 0$$

$$E_x = A_x \cos(Kx) + B_x \sin(Kx) \quad (2.27)$$

Burada $K^2 = k^2 + \gamma^2$ olarak tanımlanmıştır.Diğer bileşenler de aşağıdaki gibidir.

$$E_y = A_y \cos(Kx) + B_y \sin(Kx) \quad (2.28)$$

$$E_z = A_z \cos(Kx) + B_z \sin(Kx) \quad (2.29)$$

(2.10) denkleminin x bileşeni için açık hali aşağıdaki gibidir.

$$\frac{\partial^2 H_x}{\partial x^2} + (\gamma^2 + k^2) H_x = 0$$

$$H_x = C_x \cos Kx + D_x \sin Kx \quad (2.30)$$

Burada $K^2 = k^2 + \gamma^2$ olarak tanımlanmıştır. Diğer bileşenler de aşağıdaki gibidir.

$$H_y = C_y \cos Kx + D_y \sin Kx \quad (2.31)$$

$$H_z = C_z \cos Kx + D_z \sin Kx \quad (2.32)$$

2.3 Sınır Koşullarının Uygulanması

$A_x, A_y, A_z, B_x, B_y, B_z$ bilinmeyen katsayıları $x=0$ ve $x=b$ 'deki mükemmel iletken düzlemler üzerindeki sınır koşulları ve $z=0$ daki geçiş koşulları ile $z \rightarrow \pm \infty$ daki radyasyon koşulları yardımıyla elde edileceklerdir.

1)Elektrik alan için yazılan sınır koşulu:

$$E_{1y}(b-0,z) = 0, z < 0$$

$$E_{1z}(b-0,z) = 0, z < 0$$

$$E_{2y}(b-0,z) = 0, z>0$$

$$E_{2z}(b-0,z) = 0, z>0$$

$$E_{1y}(+0,z) = 0, z<0$$

$$E_{1z}(+0,z) = 0, z<0$$

$$E_{2y}(+0,z) = 0, z>0$$

$$E_{2z}(+0,z) = 0, z>0$$

(2.29) dan, $x=0$ için,

$$E_z(0) = A_z \cos(K0) + B_z \sin(K0) = 0$$

olduğundan $A_z \equiv 0$ olur. $x=b$ için,

$E_z(b) = B_z \sin(Kb) = 0$ olacağından ve $B_z \neq 0$ olması gerektiğinden. $\sin(Kb)=0$ eşitliği sağlanmalıdır. Bu da,

$$K = \frac{n\pi}{b}, \quad n=1,2,3,\dots \text{ için her zaman sağlanır.}$$

Bu durumda (2.29) denklemin genel çözümü aşağıdaki gibi olur.

$$E_z(x) = B_z \sin\left(\frac{n\pi}{b} x\right) \quad (2.33)$$

(2.24) denkleminde (2.33) denklemi yerine yazılırsa,

$$H_y(x) = -\frac{i\omega\epsilon}{\gamma^2 + k^2} \frac{\partial E_z}{\partial x} = -\frac{i\omega\epsilon}{\gamma^2 + k^2} B_z \frac{n\pi}{b} \cos\left(\frac{n\pi}{b} x\right) \quad (2.34)$$

(2.26) denkleminde (2.33) denklemi yerine yazılırsa,

$$E_x(x) = -\frac{\gamma}{\gamma^2 + k^2} \frac{\partial E_z}{\partial x} = -\frac{\gamma}{\gamma^2 + k^2} B_z \frac{n\pi}{b} \cos\left(\frac{n\pi}{b} x\right) \quad (2.35)$$

elde edilir.

2) Magnetik alan için yazılan sınır koşulu:

$x=0$ ve $x=b$ için sağlanması gereken diğer sınır koşulları,

$$[[\vec{e}_x \wedge \vec{H}]] = \vec{J}_s \neq 0 \text{ yüzey akımı mükemmel iletken üzerinde sıfırdan farklıdır.}$$

$$[[\vec{n} \cdot \vec{D}]] = \rho_s \neq 0$$

$$[[\vec{e}_x \cdot \vec{H}]] = 0 \text{ dir.}$$

Aşağıdaki sınır koşulu yardımıyla bilinmeyen katsayılar elde edilmeye çalışılır.

$$H_{1y}(b-0, z) = 0, z < 0$$

$$H_{1z}(b-0, z) = 0, z < 0$$

$$H_{2y}(b-0, z) = 0, z > 0$$

$$H_{2z}(b-0, z) = 0, z > 0$$

$$H_{1y}(+0, z) = 0, z < 0$$

$$H_{1z}(+0, z) = 0, z < 0$$

$$H_{2y}(+0, z) = 0, z > 0$$

$$H_{2z}(+0, z) = 0, z > 0$$

$x=0$ için,

$$H_x(0) = C_x \cos(K0) + D_x \sin(K0) = 0$$

olduğundan $C_x = 0$ olur. $x=b$ için,

$H_x(b) = D_x \sin(Kb) = 0$ olacağından ve $D_x \neq 0$ olması gerektiğinden. $\sin(Kb)=0$ eşitliği sağlanmalıdır. Bu da,

$$K = \frac{n\pi}{b}, \quad n = 1, 2, 3, \dots \text{ için her zaman sağlanır.}$$

Bu durumda (2.30) denkleminin genel çözümü aşağıdaki şekilde olur.

$$H_x(x) = D_x \sin\left(\frac{n\pi}{b} x\right) \quad (2.36)$$

(2.23) numaralı denklemde (2.36) denklemi yerine yazılırsa,

$$H_z(x) = \frac{1}{\gamma} \frac{\partial H_x}{\partial x} = \frac{1}{\gamma} D_x \frac{n\pi}{b} \cos\left(\frac{n\pi}{b} x\right) \quad (2.37)$$

(2.25) numaralı denklemde (2.36) denklemi yerine yazılırsa,

$$E_y(x) = \frac{i\omega\mu}{\gamma^2 + k^2} \frac{\partial H_z}{\partial x} = -\frac{i\omega\mu}{\gamma^2 + k^2} \frac{D_x}{\gamma} \left(\frac{n\pi}{b}\right)^2 \sin\left(\frac{n\pi}{b} x\right) \quad (2.38)$$

$$\gamma^2 + k^2 = K^2 \text{ 'den}$$

$$\gamma = \sqrt{\left(\frac{n\pi}{b}\right)^2 - k^2} \quad (2.39)$$

$$\gamma = \sqrt{\left(\frac{n\pi}{b}\right)^2 - \omega^2 \mu \epsilon} \quad \text{propagasyon sabiti}$$

$$\epsilon = \epsilon' - j\epsilon'' = \epsilon' - j\frac{\sigma}{\omega}$$

$$\tan \delta = \frac{\epsilon'}{\epsilon''} \quad \text{Bu ifade ortamın iletkenliğe bağılı kaybını tanımlamak için kullanılır.}$$

2.4 Drude Dispersiyonu

Her iki bölge birinci dereceden drude dispersiyoununa sahip olsun. ω_q radyan plasma frekansı ve v_c kolisyon frekansı olmak üzere ;

$$\epsilon(\omega) = 1 + \frac{\omega_q^2}{\omega(jv_c - \omega)}$$

drude dispersiyon ifadesidir. Bu ifade $\epsilon = \epsilon' - j\epsilon''$ ye benzetilmeye çalışılırsa;

$$\epsilon(\omega) = 1 - \frac{\omega_q^2}{\omega^2 + v_c^2} - j \frac{\omega_q^2 v_c}{\omega(\omega^2 + v_c^2)}$$

elde edilir. Bu ifade yardımıyla dalga katsayısına ilişkin ifadeyi elde edilmeye çalışalım.

$$k^2 = \omega^2 \mu \epsilon = \omega^2 \mu_0 \epsilon_0 \left(1 - \frac{\omega_q^2}{\omega^2 + v_c^2} - j \frac{\omega_q^2 v_c}{\omega(\omega^2 + v_c^2)}\right)$$

$$k^2 = \omega^2 \mu_0 \epsilon_0 - \frac{\omega_q^2 \omega^2 \mu_0 \epsilon_0}{\omega^2 + v_c^2} - j \frac{\omega_q^2 v_c \omega^2 \mu_0 \epsilon_0}{\omega(\omega^2 + v_c^2)} = (k_l^2)_r + i(k_l^2)_s \quad (2.40)$$

$$\gamma = \sqrt{\left(\frac{n\pi}{b}\right)^2 - k^2}$$

$$\gamma = \sqrt{\left(\frac{n\pi}{b}\right)^2 - \omega^2 \mu_0 \epsilon_0 + \frac{\omega_q^2 \omega^2 \mu_0 \epsilon_0}{\omega^2 + v_c^2} + j \frac{\omega_q^2 v_c \omega^2 \mu_0 \epsilon_0}{\omega(\omega^2 + v_c^2)}}$$

$$u = \left(\frac{n\pi}{b}\right)^2 - \omega^2 \mu_0 \epsilon_0 + \frac{\omega_q^2 \omega^2 \mu_0 \epsilon_0}{\omega^2 + v_c^2}$$

$$v = \frac{\omega_q^2 v_c \omega^2 \mu_0 \epsilon_0}{\omega(\omega^2 + v_c^2)}$$

$$\gamma = \sqrt{u + jv} = \frac{1}{\sqrt{2}} [\sqrt{|\gamma| + u} + j\sqrt{|\gamma| - u}]$$

$$\Gamma = |\gamma| = \sqrt{u^2 + v^2}$$

$$\Gamma = \sqrt{\left[\left(\frac{n\pi}{b} \right)^2 - \omega^2 \mu_0 \epsilon_0 + \frac{\omega_q^2 \omega^2 \mu_0 \epsilon_0}{\omega^2 + v_c^2} \right]^2 + \left[\frac{\omega_q^2 v_c \omega^2 \mu_0 \epsilon_0}{\omega(\omega^2 + v_c^2)} \right]^2} \quad (2.41)$$

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{2}} \left[\sqrt{\Gamma + \left(\frac{n\pi}{b} \right)^2 - \omega^2 \mu_0 \epsilon_0 + \frac{\omega_q^2 \omega^2 \mu_0 \epsilon_0}{\omega^2 + v_c^2}} + j \sqrt{\Gamma - \left(\frac{n\pi}{b} \right)^2 + \omega^2 \mu_0 \epsilon_0 - \frac{\omega_q^2 \omega^2 \mu_0 \epsilon_0}{\omega^2 + v_c^2}} \right] \quad (2.42)$$

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{2}} [\sqrt{\xi_{11}} + j\sqrt{\xi_{12}}] = \gamma_{1r} + j\gamma_{1s} \quad (2.43)$$

Propagasyon sabitinin tanımındaki reel ve sanal kısımlarının pozitif olması kabulundan $\gamma_{1r} > 0$ yani $\xi_{11} > 0$ ve $\gamma_{1s} > 0$ yani $\xi_{12} > 0$ olmalıdır.

Debye dispersiyonu, ϵ_s statik dielektrik sabiti, ϵ_∞ yüksek frekans limiti τ_0 rölaksasyon süresi olmak üzere ,

$$\epsilon(\omega) = \epsilon_0 \epsilon_\infty + \epsilon_0 \frac{\epsilon_s - \epsilon_\infty}{1 + j\omega\tau_0}$$

şeklindedir. Debye dispersiyonunun sabitleri arasında,

$$\frac{\omega}{2\epsilon_\infty} \left| \tau_0 \cdot \left(\frac{\epsilon_s}{\epsilon_\infty} - 1 \right) \left[1 + (\omega\tau_0)^2 + \left(\frac{\epsilon_s}{\epsilon_\infty} - 1 \right) \right]^{-1} \right| \ll 1 \quad (2.44a)$$

eşitliği sağlandığı takdirde dielektrik ortamlar içinde ve arakesit yüzeyinde akımlar tutunamaz (Şengör, 2001), (Şengör, 2002). Drude modeli Debye modeli gibi ifade edilerek yazılan,

$$\frac{\omega_q^2}{\omega(jv_c - \omega)} = \frac{\epsilon_s - \epsilon_\infty}{1 + j\omega\tau_0} \quad (2.44b)$$

eşitliğinden belirlenecek ϵ_s , ϵ_x , τ_0 ve ω parametrelerinin (2.44a) eşitliğini sağlayan değerler için çözümler elde edilmiştir.

2.5 Levhalar Üzerindeki Akım Yoğunluğu

$x=0$ ve $x=b$ için sağlanması gereken sınır koşullarından biri,

$[[\vec{e}_x \wedge \vec{H}]] = \vec{J}_s$ yüzey akımı mükemmel iletken üzerinde sıfırdan farklı olmasıdır. Buradan hareketle, $x=0$ için ,

$$J_{sy} = -H_z(0, t) \quad (2.45a)$$

$$J_{sz} = H_y(0, t) \quad (2.45b)$$

ve $x=b$ için,

$$J_{sy} = H_z(b, t) \quad (2.46a)$$

$$J_{sz} = -H_y(b, t) \quad (2.46b)$$

elde edilir.

2.6 Kritik Frekans

$\gamma = 0$ için (2.43) denkleminde sanal ve reel kısım sıfır olmalıdır. Her iki denklem taraf tarafa toplandığında (2.41) denkleminin sıfır olması gerektiği yani $\Gamma = 0$ bulunur. (2.41) denkleminde karekök içindeki her iki kare toplamının sıfır olması sonucundan aşağıdaki iki denklem elde edilir.

$$\left(\frac{n\pi}{b}\right)^2 - \omega^2 \mu_0 \epsilon_0 + \frac{\omega_q^2 \omega^2 \mu_0 \epsilon_0}{\omega^2 + \nu_c^2} = 0 \quad (2.47a)$$

$$\frac{\omega_q^2 \nu_c \omega^2 \mu_0 \epsilon_0}{\omega(\omega^2 + \nu_c^2)} = 0 \quad (2.47b)$$

(2.47a) denklemini sıfır yapan kesim frekansları $\nu_c = 0$ ve c_0 boşlukta ışık hızı olmak üzere aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$(\omega_c)_1 = \sqrt{\left(\frac{n\pi c_0}{b}\right)^2 + \omega_q^2} \quad (2.48a)$$

$$(\omega_c)_2 = 0 \quad (2.48b)$$

(2.47b) denklemini sıfır yapan diğer koşul ise $\omega_q = 0$ dır ve bu durumda kesim frekansı ifadesi,

$$\omega_c = \frac{n\pi}{b\sqrt{c_0\mu_0}} \quad (2.49)$$

olarak elde edilir.

3. ALANIN HESABI

3.1 Mod Analizi

3.1.1 TEM_z Modları

$E_{zn}=0$ ve $H_{zn}=0$ olmalıdır. Bundan dolayı (2.24), (2.25) ve (2.26) numaralı denklemlerden aşağıdaki değerler elde edilir:

$$H_{yn} = 0$$

$$E_{yn} = 0$$

$$E_{xn} = 0$$

(2.23) numaralı denklemden,

$$H_z = \frac{1}{\gamma} \frac{\partial H_x}{\partial x} \quad \text{ifadesinden} \quad H_x = \gamma \int H_z dx = \text{sabit} + 0$$

elde edilir. (2.17) ve (2.21)'den,

$$H_{xn} = -\frac{\gamma}{\gamma^2 + k^2} \frac{\partial H_{zn}}{\partial x} \quad (3.1)$$

elde edilir. $H_{zn} = 0$ olduğundan (2.40) numaralı denklem de sıfıra eşittir. Buradan integral sabitinin sıfır olduğu anlaşılır.

3.1.2 TE_z Modları

$E_{zn} = 0$ olmalıdır.

(2.24) ve (2.26) numaralı denklemlerden elde edilen değerler.

$$H_{yn} = 0$$

$$E_{xn} = 0$$

-(2.38) numaralı denklemden,

$$E_{yn} = \frac{i\omega\mu}{\gamma^2 + k^2} \frac{\partial H_z}{\partial x} = -\frac{i\omega\mu}{\gamma^2 + k^2} \frac{D_x}{\gamma} \left(\frac{n\pi}{b}\right)^2 \sin\left(\frac{n\pi}{b}x\right) \quad n=1,2,3...$$

(2.36) numaralı denklemden.

$$H_{zn}(x) = D_n \sin\left(\frac{n\pi}{b}x\right) \quad n=1,2,3...$$

ve (2.37) numaralı denklemden de.

$$H_{zn}(x) = \frac{1}{\gamma} \frac{\partial H_n}{\partial x} = \frac{1}{\gamma} D_n \frac{n\pi}{b} \cos\left(\frac{n\pi}{b}x\right) \quad n=1,2,3...$$

elde edilir.

3.1.3 TM_z Modları

$H_{zn} = 0$ olmalıdır. Bu durumda (2.40) numaralı denklemden $H_{zn} = 0$ görülür. (2.34), (2.35), (2.30) ve (2.33) numaralı denklemlerden,

$$H_{yn}(x) = -\frac{i\omega\epsilon}{\gamma^2 + k^2} \frac{\partial E_{zn}}{\partial x} = -\frac{i\omega\epsilon}{\gamma^2 + k^2} B_z \frac{n\pi}{b} \cos\left(\frac{n\pi}{b}x\right) \quad n=1,2,3...$$

$$E_{xn}(x) = -\frac{\gamma}{\gamma^2 + k^2} \frac{\partial E_{zn}}{\partial x} = -\frac{\gamma}{\gamma^2 + k^2} B_z \frac{n\pi}{b} \cos\left(\frac{n\pi}{b}x\right) \quad n=1,2,3...$$

$$E_{yn} = 0$$

$$E_{zn}(x) = B_z \sin\left(\frac{n\pi}{b}x\right) \quad n=1,2,3...$$

yazılır.

3.2 Ayırık Alan Formülasyonu

Genel halde elde edilen denklemleri 1. bölgede gelen ve yansıyan dalgalar ile 2. Bölgede kırılan dalga için ayrı ayrı ifade etmek suretiyle yazalım.

3.2.1 1. Bölgede Gelen Alan

$$(e^{-\gamma_1 z} e^{i\omega t})$$

$$E_{x1n}(x) = -\frac{\gamma_1}{\gamma_1^2 + k_1^2} B_1 \frac{n\pi}{b} \cos\left(\frac{n\pi}{b}x\right) \quad (3.2)$$

$$E_{x1n}(x, z, t) = \text{Re} \left\{ -\frac{\gamma_l}{\gamma_l^2 + k_l^2} (B_{lr} + iB_{ls}) \frac{n\pi}{b} \cos\left(\frac{n\pi}{b}x\right) e^{-\gamma_{lr}z} e^{i\omega t} \right\}$$

$$E_{x1n}(x, z, t) = -\frac{b}{n\pi} \cos\left(\frac{n\pi}{b}x\right) \cdot \left\{ (\gamma_{lr}B_{lr} - \gamma_{ls}B_{ls}) \cos(\omega t - \gamma_{ls}z) e^{-\gamma_{lr}z} + (\gamma_{ls}B_{lr} + \gamma_{lr}B_{ls}) \sin(\omega t - \gamma_{ls}z) e^{-\gamma_{lr}z} \right\} \quad (3.3)$$

$$E_{y1n}(x) = -\frac{i\omega\mu_0}{\gamma_l^2 + k_l^2} \frac{D_l}{\gamma_l} \left(\frac{n\pi}{b}\right)^2 \sin\left(\frac{n\pi}{b}x\right) \quad (3.4)$$

$$\frac{1}{\gamma_l^2 + k_l^2} = \xi_l = \xi_{lr} + i\xi_{ls}$$

$$\xi_{lr} = \frac{\gamma_{lr}^2 - \gamma_{ls}^2 + (k_l^2)_r}{[\gamma_{lr}^2 - \gamma_{ls}^2 + (k_l^2)_r]^2 - [2\gamma_{lr}\gamma_{ls} + (k_l^2)_s]^2} \quad (3.5)$$

$$\xi_{ls} = \frac{-[2\gamma_{lr}\gamma_{ls} + (k_l^2)_s]}{[\gamma_{lr}^2 - \gamma_{ls}^2 + (k_l^2)_r]^2 - [2\gamma_{lr}\gamma_{ls} + (k_l^2)_s]^2} \quad (3.6)$$

$$E_{y1n}(x, z, t) = \omega\mu_0 \frac{1}{\gamma_{lr}^2 + \gamma_{ls}^2} \left(\frac{n\pi}{b}\right)^2 \sin\left(\frac{n\pi}{b}x\right) e^{-\gamma_{lr}z} \cdot \left\{ \cos(\omega t - \gamma_{ls}z) [\xi_{ls}(\gamma_{lr}D_{lr} + \gamma_{ls}D_{ls}) + \xi_{lr}(\gamma_{lr}D_{ls} - \gamma_{ls}D_{lr})] \right\} + \\ - \omega\mu_0 \frac{1}{\gamma_{lr}^2 + \gamma_{ls}^2} \left(\frac{n\pi}{b}\right)^2 \sin\left(\frac{n\pi}{b}x\right) e^{-\gamma_{lr}z} \cdot \left\{ \sin(\omega t - \gamma_{ls}z) [\xi_{ls}(\gamma_{lr}D_{ls} - \gamma_{ls}D_{lr}) - \xi_{lr}(\gamma_{lr}D_{lr} + \gamma_{ls}D_{ls})] \right\} \quad (3.7)$$

$$E_{z1n}(x) = B_l \sin\left(\frac{n\pi}{b}x\right) \quad (3.8)$$

$$E_{z1n}(x, z, t) = \sin\left(\frac{n\pi}{b}x\right) e^{-\gamma_{lr}z} \cdot \{B_{lr} \cos(\omega t - \gamma_{ls}z) - B_{ls} \sin(\omega t - \gamma_{ls}z)\} \quad (3.9)$$

$$H_{x1n}(x) = D_l \sin\left(\frac{n\pi}{b}x\right) \quad (3.10)$$

$$H_{x1n}(x, z, t) = \sin\left(\frac{n\pi}{b}x\right) e^{-\gamma_{lr}z} \cdot \{D_{lr} \cos(\omega t - \gamma_{ls}z) - D_{ls} \sin(\omega t - \gamma_{ls}z)\} \quad (3.11)$$

$$H_{y1n}(x) = -\frac{i\omega\epsilon_l}{\gamma_l^2 + k_l^2} B_l \frac{n\pi}{b} \cos\left(\frac{n\pi}{b}x\right) \quad (3.12)$$

$$H_{y1n}(x, z, t) = -\frac{b}{n\pi} \cos\left(\frac{n\pi}{b}x\right) e^{-\gamma_{1r}z} \cdot \left\{ [\omega \epsilon_1' B_{1r} - \omega \epsilon_1' B_{1s}] \cos(\omega t - \gamma_{1s}z) - [\omega \epsilon_1' B_{1s} + \omega \epsilon_1' B_{1r}] \sin(\omega t - \gamma_{1s}z) \right\} \quad (3.13)$$

$$H_{z1n}(x) = \frac{1}{\gamma_1} D_1 \frac{n\pi}{b} \cos\left(\frac{n\pi}{b}x\right) \quad (3.14)$$

$$H_{z1n}(x, z, t) = -\frac{n\pi}{b} \cos\left(\frac{n\pi}{b}x\right) e^{-\gamma_{1r}z} \frac{1}{\gamma_{1r}^2 + \gamma_{1s}^2} \cdot \left\{ \cos(\omega t - \gamma_{1s}z) (\gamma_{1r} D_{1r} + \gamma_{1s} D_{1s}) - \sin(\omega t - \gamma_{1s}z) (\gamma_{1r} D_{1s} - \gamma_{1s} D_{1r}) \right\} \quad (3.15)$$

$$\gamma_1 = \sqrt{\left(\frac{n\pi}{b}\right)^2 - \omega^2 \mu_0 \epsilon_1} \quad (3.16)$$

$$k_1^2 = \omega^2 \mu_0 \epsilon_1 \quad (3.17)$$

$D_1=0$, $B_1 \neq 0$ için TM_Z modü; $B_1=0$ ve $D_1 \neq 0$ için TE_Z modü elde edilir.

3.2.2 1. Bölgede Yansıyan Alan

$$(e^{+\gamma_1' z} e^{i\omega t})$$

$$E'_{x1n}(x) = -\frac{\gamma_1'}{\gamma_1'^2 + k_1^2} B_1' \frac{n\pi}{b} \cos\left(\frac{n\pi}{b}x\right) \quad (3.18)$$

$$E'_{x1n}(x, z, t) = -\frac{b}{n\pi} \cos\left(\frac{n\pi}{b}x\right) \cdot \left\{ (\gamma_{1r}' B_{1r}' - \gamma_{1s}' B_{1s}') \cos(\omega t - \gamma_{1s}' z) e^{\gamma_{1r}' z} + (\gamma_{1s}' B_{1r}' + \gamma_{1r}' B_{1s}') \sin(\omega t - \gamma_{1s}' z) e^{\gamma_{1r}' z} \right\} \quad (3.19)$$

$$E'_{y1n}(x) = -\frac{i\omega \mu_0}{\gamma_1'^2 + k_1^2} \frac{D_1'}{\gamma_1'} \left(\frac{n\pi}{b}\right)^2 \sin\left(\frac{n\pi}{b}x\right) \quad (3.20)$$

$$\frac{1}{\gamma_1'^2 + k_1^2} = \xi_1' = \xi_{1r}' + i\xi_{1s}'$$

$$\xi_{1r}' = \frac{\gamma_{1r}'^2 - \gamma_{1s}'^2 + (k_1^2)_r}{[\gamma_{1r}'^2 - \gamma_{1s}'^2 + (k_1^2)_r]^2 - [2\gamma_{1r}'\gamma_{1s}' + (k_1^2)_s]^2} \quad (3.21)$$

$$\xi_{1s}' = \frac{-[2\gamma_{1r}'\gamma_{1s}' + (k_1^2)_s]}{[\gamma_{1r}'^2 - \gamma_{1s}'^2 + (k_1^2)_r]^2 - [2\gamma_{1r}'\gamma_{1s}' + (k_1^2)_s]^2} \quad (3.22)$$

$$E'_{yin}(x, z, t) = \omega\mu_0 \frac{1}{\gamma'_{1r}{}^2 + \gamma'_{1s}{}^2} \left(\frac{n\pi}{b}\right)^2 \sin\left(\frac{n\pi}{b}x\right) e^{\gamma'_{1r}z} \cdot \left\{ \cos(\omega t - \gamma'_{1s}z) \left[\varepsilon'_{1s}(\gamma'_{1r}D'_{1r} + \gamma'_{1s}D'_{1s}) + \varepsilon'_{1r}(\gamma'_{1r}D'_{1s} - \gamma'_{1s}D'_{1r}) \right] \right\} +$$

$$- \omega\mu_0 \frac{1}{\gamma'_{1r}{}^2 + \gamma'_{1s}{}^2} \left(\frac{n\pi}{b}\right)^2 \sin\left(\frac{n\pi}{b}x\right) e^{\gamma'_{1r}z} \cdot \left\{ \sin(\omega t - \gamma'_{1s}z) \left[\varepsilon'_{1s}(\gamma'_{1r}D'_{1s} - \gamma'_{1s}D'_{1r}) - \varepsilon'_{1r}(\gamma'_{1r}D'_{1r} + \gamma'_{1s}D'_{1s}) \right] \right\} \quad (3.23)$$

$$E'_{zin}(x) = B'_1 \sin\left(\frac{n\pi}{b}x\right) \quad (3.24)$$

$$E'_{zin}(x, z, t) = \sin\left(\frac{n\pi}{b}x\right) e^{\gamma'_{1r}z} \cdot \{B'_{1r} \cos(\omega t - \gamma'_{1s}z) - B'_{1s} \sin(\omega t - \gamma'_{1s}z)\} \quad (3.25)$$

$$H'_{xin}(x) = D'_1 \sin\left(\frac{n\pi}{b}x\right) \quad (3.26)$$

$$H'_{xin}(x, z, t) = \sin\left(\frac{n\pi}{b}x\right) e^{\gamma'_{1r}z} \cdot \{D'_{1r} \cos(\omega t - \gamma'_{1s}z) - D'_{1s} \sin(\omega t - \gamma'_{1s}z)\} \quad (3.27)$$

$$H'_{yin}(x) = -\frac{i\omega\varepsilon_1}{\gamma_1'^2 + k_1^2} B'_1 \frac{n\pi}{b} \cos\left(\frac{n\pi}{b}x\right) \quad (3.28)$$

$$H'_{yin}(x, z, t) = -\frac{b}{n\pi} \cos\left(\frac{n\pi}{b}x\right) e^{\gamma'_{1r}z} \cdot \left\{ [\omega\varepsilon'_1 B'_{1r} - \omega\varepsilon'_1 B'_{1s}] \cos(\omega t - \gamma'_{1s}z) - [\omega\varepsilon'_1 B'_{1s} + \omega\varepsilon'_1 B'_{1r}] \sin(\omega t - \gamma'_{1s}z) \right\} \quad (3.29)$$

$$H'_{zin}(x) = \frac{1}{\gamma'_1} D'_1 \frac{n\pi}{b} \cos\left(\frac{n\pi}{b}x\right) \quad (3.30)$$

$$H'_{zin}(x, z, t) = -\frac{n\pi}{b} \cos\left(\frac{n\pi}{b}x\right) e^{\gamma'_{1r}z} \frac{1}{\gamma'_{1r}{}^2 + \gamma'_{1s}{}^2} \cdot \left\{ \cos(\omega t - \gamma'_{1s}z)(\gamma'_{1r}D'_{1r} + \gamma'_{1s}D'_{1s}) - \sin(\omega t - \gamma'_{1s}z)(\gamma'_{1r}D'_{1s} - \gamma'_{1s}D'_{1r}) \right\} \quad (3.31)$$

γ'_1 ifadesi henüz bilinmiyor.

k_1 , (3.17) numaralı denklemde belirtildiği gibidir.

3.2.3 2. Bölgede Kırılan Alan

$$(e^{-\gamma_2 z} e^{i\omega t})$$

$$E_{x2n}(x) = -\frac{\gamma_2}{\gamma_2^2 + k_2^2} B_2 \frac{n\pi}{b} \cos\left(\frac{n\pi}{b}x\right) \quad (3.32)$$

.

$$E_{x2n}(x, z, t) = \text{Re} \left\{ -\frac{\gamma_2}{\gamma_2^2 + k_2^2} (B_{2r} + iB_{2s}) \frac{n\pi}{b} \cos\left(\frac{n\pi}{b}x\right) e^{-\gamma_2 z} e^{i\omega t} \right\}$$

$$E_{x2n}(x, z, t) = -\frac{b}{n\pi} \cos\left(\frac{n\pi}{b}x\right) \cdot \left\{ (\gamma_{2r}B_{2r} - \gamma_{2s}B_{2s}) \cos(\omega t - \gamma_{2s}z) e^{-\gamma_{2r}z} + [(\gamma_{2s}B_{2r} + \gamma_{2r}B_{2s}) \sin(\omega t - \gamma_{2s}z) e^{-\gamma_{2r}z}] \right\} \quad (3.33)$$

$$E_{y2n}(x) = -\frac{i\omega\mu_0}{\gamma_2^2 + k_2^2} \frac{D_2}{\gamma_2} \left(\frac{n\pi}{b}\right)^2 \sin\left(\frac{n\pi}{b}x\right) \quad (3.34)$$

$$\frac{1}{\gamma_2^2 + k_2^2} = \xi_2 = \xi_{2r} + i\xi_{2s}$$

$$\xi_{2r} = \frac{\gamma_{2r}^2 - \gamma_{2s}^2 + (k_2^2)_r}{[\gamma_{2r}^2 - \gamma_{2s}^2 + (k_2^2)_r]^2 - [2\gamma_{2r}\gamma_{2s} + (k_2^2)_s]^2} \quad (3.35)$$

$$\xi_{2s} = \frac{-[2\gamma_{2r}\gamma_{2s} + (k_2^2)_s]}{[\gamma_{2r}^2 - \gamma_{2s}^2 + (k_2^2)_r]^2 - [2\gamma_{2r}\gamma_{2s} + (k_2^2)_s]^2} \quad (3.36)$$

$$E_{y2n}(x, z, t) = \omega\mu_0 \frac{1}{\gamma_{2r}^2 + \gamma_{2s}^2} \left(\frac{n\pi}{b}\right)^2 \sin\left(\frac{n\pi}{b}x\right) e^{-\gamma_{2r}z} \cdot \left\{ \cos(\omega t - \gamma_{2s}z) [\xi_{2s}(\gamma_{2r}D_{2r} + \gamma_{2s}D_{2s}) + \xi_{2r}(\gamma_{2r}D_{2s} - \gamma_{2s}D_{2r})] \right\} + \\ - \omega\mu_0 \frac{1}{\gamma_{2r}^2 + \gamma_{2s}^2} \left(\frac{n\pi}{b}\right)^2 \sin\left(\frac{n\pi}{b}x\right) e^{-\gamma_{2r}z} \cdot \left\{ \sin(\omega t - \gamma_{2s}z) [\xi_{2s}(\gamma_{2r}D_{2s} - \gamma_{2s}D_{2r}) - \xi_{2r}(\gamma_{2r}D_{2r} + \gamma_{2s}D_{2s})] \right\} \quad (3.37)$$

$$E_{z2n}(x) = B_2 \sin\left(\frac{n\pi}{b}x\right) \quad (3.38)$$

$$E_{z2n}(x, z, t) = \sin\left(\frac{n\pi}{b}x\right) e^{-\gamma_{2r}z} \cdot \{B_{2r} \cos(\omega t - \gamma_{2s}z) - B_{2s} \sin(\omega t - \gamma_{2s}z)\} \quad (3.39)$$

$$H_{x2n}(x) = D_2 \sin\left(\frac{n\pi}{b}x\right) \quad (3.40)$$

$$H_{x2n}(x, z, t) = \sin\left(\frac{n\pi}{b}x\right) e^{-\gamma_{2r}z} \cdot \{D_{2r} \cos(\omega t - \gamma_{2s}z) - D_{2s} \sin(\omega t - \gamma_{2s}z)\} \quad (3.41)$$

$$H_{y2n}(x) = -\frac{i\omega\epsilon_2}{\gamma_2^2 + k_2^2} B_2 \frac{n\pi}{b} \cos\left(\frac{n\pi}{b}x\right) \quad (3.42)$$

$$H_{y2n}(x, z, t) = -\frac{b}{n\pi} \cos\left(\frac{n\pi}{b}x\right) e^{-\gamma_{2r}z} \cdot \left\{ [\omega\epsilon_2''B_{2r} - \omega\epsilon_2'B_{2s}] \cos(\omega t - \gamma_{2s}z) - [\omega\epsilon_2''B_{2s} + \omega\epsilon_2'B_{2r}] \sin(\omega t - \gamma_{2s}z) \right\} \quad (3.43)$$

$$H_{z2n}(x) = \frac{1}{\gamma_2} D_2 \frac{n\pi}{b} \cos\left(\frac{n\pi}{b}x\right) \quad (3.44)$$

$$H_{z2n}(x, z, t) = -\frac{n\pi}{b} \cos\left(\frac{n\pi}{b}x\right) e^{-\gamma_{2r}z} \frac{1}{\gamma_{2r}^2 + \gamma_{2s}^2} \cdot \{\cos(\omega t - \gamma_{2s}z)(\gamma_{2r}D_{2r} + \gamma_{2s}D_{2s}) - \sin(\omega t - \gamma_{2s}z)(\gamma_{2r}D_{2s} - \gamma_{2s}D_{2r})\} \quad (3.45)$$

$$\gamma_2 = \sqrt{\left(\frac{n\pi}{b}\right)^2 - \omega^2 \mu_0 \epsilon_2} \quad (3.46)$$

$$k_2^2 = \omega^2 \mu_0 \epsilon_2 \quad (3.47)$$

3.3 Malzemeler Arasındaki Sınır Koşulu

$B_1, D_1, B'_1, D'_1, \gamma'_1, B_2, D_2$ bilinmeyen katsayıları bulmak için 1. ve 2. bölge arasında kalan sınır koşullarını uygulamak gerekir.

1.koşul $[[\vec{n} \wedge \vec{E}]] = 0 \quad \vec{n} = \vec{e}_z$

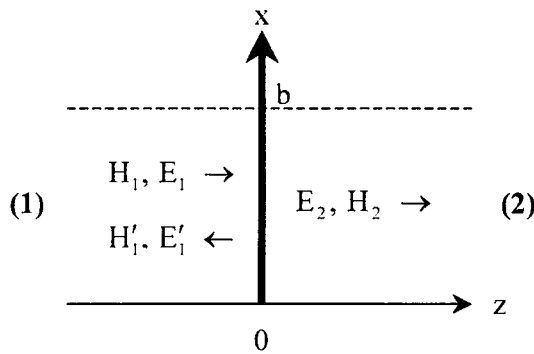
2.koşul $[[\vec{n} \wedge \vec{H}]] = \vec{J}_s^D$

3.koşul $[[\vec{n} \cdot \vec{D}]] = \rho_s$

4.koşul $[[\vec{n} \cdot \vec{B}]] = 0$

1.sınır koşulundan.

$$[[\vec{e}_z \wedge (E_x \vec{e}_x + E_y \vec{e}_y + E_z \vec{e}_z)]] = 0$$



Şekil 3.1 Dispersif malzemeler arasında kalan bölge

$$(E_{x1} + E'_{x1}) \Big|_{z=0} = E_{x2} \Big|_{z=0} \quad (3.48)$$

$$(E_{y1} + E'_{y1}) \Big|_{z=0} = E_{y2} \Big|_{z=0} \quad (3.49)$$

4. sınır koşulundan,

$$(H_{z1} + H'_{z1}) \Big|_{z=0} = H_{z2} \Big|_{z=0} \quad (3.50)$$

yazılır.2. sınır koşulundan,

$[[\vec{n} \wedge \vec{H}]] = \vec{J}_s^D$ d denklemi (2.44a) numaralı denklemdeki koşulu sağlayacak şekilde dispersif malzemeler seçildiğinde $\vec{J}_s^D \cong 0$ olur.Dolayısıyla.

$$(H_{x1} + H'_{x1}) \Big|_{z=0} = H_{x2} \Big|_{z=0} \quad (3.51)$$

$$(H_{y1} + H'_{y1}) \Big|_{z=0} = H_{y2} \Big|_{z=0} \quad (3.52)$$

yazılır.

3.4 Propagasyon Sabitinin Seri Açılımı

Koşullarda alan ifadeleri yazılırken kullanılmak üzere propogasyon sabitini ω ya bağlı polinom halinde yazalım.

(2.41) numaralı denklem düzenlenip aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\Gamma = \left(\frac{n\pi}{b}\right)^2 \sqrt{1 + \left(\frac{b}{n\pi}\right)^4 \left[-\omega^2 \epsilon_0 \mu_0 + \frac{\omega_q^2 \omega^2 \epsilon_0 \mu_0}{\omega^2 + v_c^2} \right]^2 + 2 \left(\frac{b}{n\pi}\right)^2 \left[-\omega^2 \epsilon_0 \mu_0 + \frac{\omega_q^2 \omega^2 \epsilon_0 \mu_0}{\omega^2 + v_c^2} \right] + \left(\frac{b}{n\pi}\right)^4 \left[\frac{\omega_q^2 v_c \omega \epsilon_0 \mu_0}{\omega^2 + v_c^2} \right]^2} \quad (3.53)$$

$$\Gamma = \left(\frac{n\pi}{b}\right)^2 \sqrt{1 + X} = \left(\frac{n\pi}{b}\right)^2 (1 + X) , |X| \ll 1 \text{ için binom serisi açılımından yazılabilir.}$$

Bu durumda propagasyon sabitinin reel kısmı aşağıdaki şekilde olur.

$$\gamma_r = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{2 \left(\frac{n\pi}{b} \right)^2 \left[1 + \left(\frac{b}{n\pi} \right)^2 \left(\omega^2 \epsilon_0 \mu_0 + \frac{\omega_q^2 \omega^2 \epsilon_0 \mu_0}{\omega^2 + v_c^2} \right) + \frac{1}{4} \left(\frac{b}{n\pi} \right)^4 \left(-\omega^2 \epsilon_0 \mu_0 + \frac{\omega_q^2 \omega^2 \epsilon_0 \mu_0}{\omega^2 + v_c^2} \right)^2 + \frac{1}{4} \left(\frac{b}{n\pi} \right)^4 \left(\frac{\omega_q^2 v_c \omega \epsilon_0 \mu_0}{\omega^2 + v_c^2} \right)^2 \right]}$$

$$\gamma_r = \left(\frac{n\pi}{b} \right)^2 \sqrt{1 + X_r} = \left(\frac{n\pi}{b} \right)^2 (1 + X_r) \quad , \quad |X_r| < 1$$

Bu durumda propagasyon sabitinin reel kısmı aşağıdaki şekilde yazılıp frekansın bir polinomu olarak düzenlenir.

$$\begin{aligned} \gamma_r = \frac{1}{\omega^2 + v_c^2} & \left\{ \frac{n\pi}{b} v_c^2 + \left(\frac{n\pi}{b} - \frac{1}{2} \frac{b}{n\pi} v_c^2 \mu_0 \epsilon_0 + \frac{1}{2} \frac{b}{n\pi} \omega_q^2 \mu_0 \epsilon_0 + \frac{1}{8} \left(\frac{b}{n\pi} \right)^3 \omega_q^4 \mu_0^2 \epsilon_0^2 \right) \omega^2 + \right. \\ & + \left(-\frac{1}{2} \frac{b}{n\pi} \mu_0 \epsilon_0 + \frac{1}{8} \left(\frac{b}{n\pi} \right)^3 v_c^2 \mu_0^2 \epsilon_0^2 - \frac{1}{4} \left(\frac{b}{n\pi} \right)^3 \omega_q^2 \mu_0^2 \epsilon_0^2 \right) \omega^4 \\ & \left. + \frac{1}{8} \left(\frac{b}{n\pi} \right)^3 \mu_0^2 \epsilon_0^2 \omega^6 \right\} \end{aligned} \quad (3.54)$$

$$\gamma_r = \frac{1}{\omega^2 + v_c^2} (a_r + b_r \omega^2 + c_r \omega^4 + d_r \omega^6) \quad (3.55a)$$

$$\gamma_{lr} = \frac{1}{\omega^2 + v_{lc}^2} (a_{lr} + b_{lr} \omega^2 + c_{lr} \omega^4 + d_{lr} \omega^6) \quad (3.55b)$$

$$\gamma_{2r} = \frac{1}{\omega^2 + v_{2c}^2} (a_{2r} + b_{2r} \omega^2 + c_{2r} \omega^4 + d_{2r} \omega^6) \quad (3.55c)$$

Propagasyon sabitinin sanal kısmı aynı şekilde yazılıp düzenlenir.

$$\gamma_s = \frac{1}{2} \frac{b}{n\pi} \sqrt{1 + \left[-1 + \left(-\omega^2 \mu_0 + \frac{\omega_q^2 \omega^2 \mu_0 \epsilon_0}{\omega^2 + v_c^2} \right)^2 + \left(\frac{\omega_q^2 \omega v_c \mu_0 \epsilon_0}{\omega^2 + v_c^2} \right)^2 \right]} \quad (3.56)$$

$$\gamma_s = \left(\frac{n\pi}{b} \right)^2 \sqrt{1 + X_s} = \left(\frac{n\pi}{b} \right)^2 (1 + X_s) \quad , \quad |X_s| < 1 \quad \text{için,}$$

$$\gamma_s = \frac{b/n\pi}{4(\omega^2 + v_c^2)} \left[v_c^2 + (1 + \omega_q^4 \mu_0^2 \epsilon_0^2) \omega^2 + (\mu_0^2 \epsilon_0^2 v_c^2 - 2\omega_q^2 \mu_0^2 \epsilon_0^2) \omega^4 + \mu_0^2 \epsilon_0^2 \omega^6 \right] \quad (3.57)$$

$$\gamma_s = \frac{b}{4n\pi} \frac{1}{\omega^2 + v_c^2} (a_s + b_s \omega^2 + c_s \omega^4 + d_s \omega^6) \quad (3.58a)$$

$$\gamma_{1s} = \frac{b}{4n\pi} \frac{1}{\omega^2 + v_{1c}^2} (a_{1s} + b_{1s} \omega^2 + c_{1s} \omega^4 + d_{1s} \omega^6) \quad (3.58b)$$

$$\gamma_{2s} = \frac{b}{4n\pi} \frac{1}{\omega^2 + v_{2c}^2} (a_{2s} + b_{2s} \omega^2 + c_{2s} \omega^4 + d_{2s} \omega^6) \quad (3.58c)$$



4. SINIR KOŞULLARININ ZAMAN DOMENİNDE UYGULANMASI

4.1 Gelen Alana İlişkin Sabitler

(3.48) numaralı denklem ile ifade edilen koşulda (3.3), (3.19), (3.33) numaralı denklemler yazılıp sadeleştirilirse,

$$\begin{aligned} &[(\gamma_{1r}B_{1r} - \gamma_{1s}B_{1s}) + (\gamma'_{1r}B'_{1r} - \gamma'_{1s}B'_{1s})]\cos(\omega t) - [(\gamma_{1s}B_{1r} + \gamma_{1r}B_{1s}) + (\gamma'_{1s}B'_{1r} + \gamma'_{1r}B'_{1s})]\sin(\omega t) = \\ &(\gamma_{2r}B_{2r} - \gamma_{2s}B_{1s})\cos(\omega t) - (\gamma_{2s}B_{2r} + \gamma_{2t}B_{1s})\sin(\omega t) \end{aligned} \quad (4.1)$$

elde edilir. Burada (3.55b) ve (3.58b) denklemleri yerlerine yazılıp, terimler taraf tarafa eşitlendiğinde on adet denklem elde edilir. $\cos(\omega t)$ teriminin katsayılarının eşitlenmesinden aşağıdaki denklem elde edilir:

$$\frac{n\pi}{b}B_{1r} - \frac{b}{4n\pi}B_{1s} + \gamma'_{1r}B'_{1r} - \gamma'_{1s}B'_{1s} = \frac{n\pi}{b}B_{2r} - \frac{b}{4n\pi}B_{2s} \quad (4.2)$$

$\omega^8 \cos(\omega t)$ ve $\omega^8 \sin(\omega t)$ katsayılarının eşitliğinden,

$$B_{1r} = B_{2r} \quad (4.3)$$

$\omega^8 \cos(\omega t)$ ve (4.3) denkleminde,

$$B_{1s} = B_{2s} \quad (4.4)$$

(4.2), (4.3) ve (4.4) denklemlerinden,

$$\gamma'_{1r}B'_{1r} - \gamma'_{1s}B'_{1s} = 0 \quad (4.5)$$

$\sin \omega t$ teriminin katsayılarının eşitliği ile (4.3) ve (4.4) denklemlerinden,

$$\gamma'_{1s}B'_{1r} + \gamma'_{1r}B'_{1s} = 0 \quad (4.6)$$

$\omega^2 \cos \omega t$ teriminin katsayılarının eşitliği ile (4.3), (4.4) ve (4.5) denklemlerinden.

$a_{1r} - a_{2r} + b_{2s}v_{c2}^2 - b_{2r}v_{c1}^2 \neq 0$ ise,

$$B_{1r} = B_{1s} \frac{b}{4n\pi} \left(\frac{a_{1s} - a_{2s} + b_{1s}v_{c2}^2 - b_{2s}v_{c1}^2}{a_{1r} - a_{2r} + b_{2s}v_{c2}^2 - b_{2r}v_{c1}^2} \right) \quad (4.7a)$$

$$\text{ve } \omega_{q1}^2 v_{c2}^2 \left[2 + \frac{1}{2} \left(\frac{b}{n\pi} \right)^2 \mu_0 \epsilon_0 \omega_{q1}^2 \right] - \omega_{q2}^2 v_{c1}^2 \left[2 + \frac{1}{2} \left(\frac{b}{n\pi} \right)^2 \mu_0 \epsilon_0 \omega_{q2}^2 \right] \neq 0 \text{ için}$$

$$B_{lr} = B_{ls} \cdot \frac{\mu_0 \epsilon_0 (\omega_{q1}^4 v_{c2}^2 - \omega_{q2}^4 v_{c1}^2)}{\omega_{q1}^2 v_{c2}^2 \left[2 + \frac{1}{2} \left(\frac{b}{n\pi} \right)^2 \mu_0 \epsilon_0 \omega_{q1}^2 \right] - \omega_{q2}^2 v_{c1}^2 \left[2 + \frac{1}{2} \left(\frac{b}{n\pi} \right)^2 \mu_0 \epsilon_0 \omega_{q2}^2 \right]} = B_{ls} \cdot T \quad (4.7b)$$

elde edilir.

4.2 Gelen ve Yansıyan Alan Arasındaki İlişkiler

(3.51) numaralı denklem ile ifade edilen koşulda (3.11), (3.27), (3.41) numaralı denklemler yazılıp sadeleştirilirse,

$$(D_{lr} + D'_{lr}) \cos(\omega t) - (D_{ls} + D'_{ls}) \sin(\omega t) = D_{2r} \cos(\omega t) - D_{2s} \sin(\omega t) \quad (4.8)$$

Taraf tarafa katsayılar eşitlendiğinde,

$$D_{lr} + D'_{lr} = D_{2r} \quad (4.9)$$

$$D_{ls} + D'_{ls} = D_{2s} \quad (4.10)$$

4.3 Yansıyan Alan Propagasyon Sabiti

(3.50) numaralı denklem ile ifade edilen koşulda (3.15), (3.31), (3.45) numaralı denklemler yazılıp sadeleştirilirse,

$$\begin{aligned} & \frac{1}{\gamma_{lr}^2 + \gamma_{ls}^2} [(\gamma_{lr} D_{lr} + \gamma_{ls} D_{ls}) \cos(\omega t) - (\gamma_{lr} D_{ls} - \gamma_{ls} D_{lr}) \sin(\omega t)] + \\ & \frac{1}{\gamma'_{lr}^2 + \gamma'_{ls}^2} [(\gamma'_{lr} D'_{lr} + \gamma'_{ls} D'_{ls}) \cos(\omega t) - (\gamma'_{lr} D'_{ls} - \gamma'_{ls} D'_{lr}) \sin(\omega t)] = \\ & \frac{1}{\gamma_{2r}^2 + \gamma_{2s}^2} [(\gamma_{2r} D_{2r} + \gamma_{2s} D_{2s}) \cos(\omega t) - (\gamma_{2r} D_{2s} - \gamma_{2s} D_{2r}) \sin(\omega t)] \end{aligned} \quad (4.11)$$

Taraf tarafa eşitlikler yazılarak toplam 26 denklem elde edilir. $\omega^{24} \cos(\omega t)$ teriminin katsayı eşitliğinden,

$$\gamma'_{lr} D'_{lr} + \gamma'_{ls} D'_{ls} = 0 \quad (4.12)$$

$\omega^{20} \cos(\omega t)$ teriminin katsayı eşitliği ve (4.12) denleminden,

$$\frac{1}{2} \left(\frac{b}{n\pi} \right)^2 D_{lr} + D_{ls} = \frac{1}{2} \left(\frac{b}{n\pi} \right)^2 D_{2r} + D_{2s} \quad (4.13)$$

$\cos(\omega t)$ teriminin katsayı eşitliği ve (4.12) denleminden,

$$v_{cl}^8 \left(\frac{n\pi}{b} D_{lr} + \frac{b}{4n\pi} D_{ls} \right) = v_{c2}^8 \left(\frac{n\pi}{b} D_{2r} + \frac{b}{4n\pi} D_{2s} \right) \quad (4.14)$$

$\omega^{24} \sin(\omega t)$ teriminin katsayı eşitliğinden,

$$\gamma'_{lr} D'_{ls} - \gamma'_{ls} D'_{lr} = 0 \quad (4.15)$$

(4.13) ve (4.14) denklemlerinden, $v_{c2} \neq v_{cl}$ için,

$$D_{2s} = \frac{v_{cl}^8 \left(\frac{n\pi}{b} - \frac{1}{8} \left(\frac{b}{n\pi} \right)^3 \right)}{\frac{b}{4n\pi} (v_{c2}^8 - v_{cl}^8)} \cdot D_{lr} + \frac{\frac{1}{8} \left(\frac{b}{n\pi} \right)^3 v_{cl}^8 - \frac{n\pi}{b} v_{c2}^8}{\frac{b}{4n\pi} (v_{c2}^8 - v_{cl}^8)} \cdot D_{2r} = A \cdot D_{lr} + B \cdot D_{2r} \quad (4.16)$$

(4.16), (4.13) de yerine yazıldığında,

$$D_{ls} = \frac{4 \left(\frac{n\pi}{b} \right)^2 v_{cl}^8 - \frac{1}{2} \left(\frac{b}{n\pi} \right)^2 v_{c2}^8}{(v_{c2}^8 - v_{cl}^8)} \cdot D_{lr} + \frac{-4 \left(\frac{n\pi}{b} \right)^2 v_{c2}^8 + \frac{1}{2} \left(\frac{b}{n\pi} \right)^2 v_{c2}^8}{(v_{c2}^8 - v_{cl}^8)} \cdot D_{2r} = K \cdot D_{lr} + L \cdot D_{2r} \quad (4.17)$$

4.4 Kırılan Alana İlişkin Sabitler

(3.52) numaralı denklem ile ifade edilen koşulda (3.13), (3.29), (3.43) numaralı denklemler yazılıp sadeleştirilirse,

$$\begin{aligned} & (\omega \epsilon_1'' B_{lr} - \omega \epsilon_1' B_{ls} + \omega \epsilon_1'' B'_{lr} - \omega \epsilon_1' B'_{ls}) \cos(\omega t) - (\omega \epsilon_1'' B_{ls} + \omega \epsilon_1' B_{lr} + \omega \epsilon_1'' B'_{ls} + \omega \epsilon_1' B'_{lr}) \sin(\omega t) = \\ & (\omega \epsilon_2'' B_{2r} - \omega \epsilon_2' B_{2s}) \cos(\omega t) - (\omega \epsilon_2'' B_{2s} + \omega \epsilon_2' B_{2r}) \sin(\omega t) \end{aligned}$$

Katsayı eşitliklerinden iki denklem elde edilir. $\omega \cos(\omega t)$ teriminin katsayı eşitliğinden,

$$B_{lr} (\epsilon_1'' - \epsilon_2'') + \epsilon_1'' B'_{lr} = B_{ls} (\epsilon_1' - \epsilon_2') + \epsilon_1' B'_{ls} \quad (4.18)$$

$\omega \sin \omega t$ teriminin katsayı eşitliğinden,

$$B_{lr}(\epsilon'_1 - \epsilon'_2) + \epsilon'_1 B'_{lr} = B_{ls}(\epsilon''_2 - \epsilon''_1) + \epsilon''_1 B'_{ls} \quad (4.19)$$

(4.16) den B'_{lr} yazılıp , (4.17) de yerine yazılır ve (4.7b) denklemi de kullanılırsa.

$$B'_{ls} = \left[T \cdot \frac{\epsilon'_2 \epsilon''_1 - \epsilon''_2 \epsilon'_1}{\epsilon'^2_1 + \epsilon''^2_1} + \frac{\epsilon'_2 \epsilon'_1 + \epsilon''_2 \epsilon''_1}{\epsilon'^2_1 + \epsilon''^2_1} - 1 \right] \cdot B_{ls} = N \cdot B_{ls} \quad (4.20)$$

(4.16) ve (4.18) den,

$$B'_{lr} = \left\{ T \cdot \left[\frac{\epsilon'_1 (\epsilon'_2 \epsilon''_1 - \epsilon''_2 \epsilon'_1)}{\epsilon''_1 (\epsilon'^2_1 + \epsilon''^2_1)} - \frac{\epsilon''_1 - \epsilon''_2}{\epsilon''_1} \right] + \frac{\epsilon'_1 (\epsilon'_2 \epsilon'_1 + \epsilon''_2 \epsilon''_1)}{\epsilon''_1 (\epsilon'^2_1 + \epsilon''^2_1)} - \frac{\epsilon'_2}{\epsilon''_1} \right\} \cdot B_{ls} = P \cdot B_{ls} \quad (4.21)$$

(4.5) ve (4.6) da (4.18) ve (4.19) eşitlikleri yazılıp , $B'_{ls} \neq 0$ koşulu kullanılırsa aşağıdaki iki denklem elde edilir.

$$P \cdot \gamma'_{lr} - N \cdot \gamma'_{ls} = 0$$

$$P \cdot \gamma'_{ls} + N \cdot \gamma'_{lr} = 0$$

İlk denklem P , ikinci denklem N ile çarpılarak taraf tarafa toplandığında,

$$(P^2 + N^2) \gamma'_{lr} = 0 \quad (4.22)$$

$$(P^2 + N^2) \gamma'_{ls} = 0 \quad (4.23)$$

yazılır. (4.22) $P^2 + N^2 = 0$ veya $\gamma'_{lr} = 0$ iken , (4.23) $P^2 + N^2 = 0$ veya $\gamma'_{ls} = 0$ iken gerçekleşir. Dolayısıyla , (4.22) ve (4.23) ün gerçekleşmesi aşağıdaki 3 farklı halden herhangi biri için olanaklıdır.

$$a) (P^2 + N^2) = 0 \text{ için } \gamma'_{lr} = 0 \text{ ve } \gamma'_{ls} = 0 ,$$

$$b) (P^2 + N^2) = 0 \text{ için } \gamma'_{lr} \neq 0 \text{ ve } \gamma'_{ls} \neq 0 ,$$

$$c) (P^2 + N^2) \neq 0 \text{ için } \gamma'_{lr} = 0 \text{ ve } \gamma'_{ls} = 0 .$$

(a) halinde $\gamma'_i = 0$ olduğunda yansıyan dalga yayılmaz. (b) halinde $\gamma'_i \neq 0$ olacağından bu haldeki $P^2 + N^2 = 0$ yansımaya ilişkin kurala karşı düşer. (2.44a) denkiemindeki koşul $P^2 + N^2 \neq 0$ için sağlanmaktadır. Dolayısıyla (c) hali , tezde incelenen malzemelere uyar. Bu

durumda ise $\gamma'_1 = 0$ olduğundan yansıyan alan 1 bölgesine doğru yayılmayacaktır. Böyle bir durum, dalganın $z=0$ da yansdıktan sonra $z=0$ düzlemini (yalayarak) x-ekseni doğrultusunda yayılmasına karşı düşer. γ'_1 nün sıfır olması (2.17) nedeniyle $H'_{x1} = 0$ olmasına neden olur ki bu da TM_z moduna karşı gelir.

4.5 Kırılan Alan Propagasyon Sabiti

(3.49) numaralı denklem ile ifade edilen koşulda (3.7), (3.20), (3.37) numaralı denklemler yazılıp sadeleştirilirse,

$$\begin{aligned} & \frac{1}{\gamma_{1r}^2 + \gamma_{1s}^2} \{ [\xi_{1s}(\gamma_{1r}D_{1r} + \gamma_{1s}D_{1s}) + \xi_{1r}(\gamma_{1r}D_{1s} - \gamma_{1s}D_{1r})] \cos \omega t - [\xi_{1s}(\gamma_{1r}D_{1s} - \gamma_{1s}D_{1r}) - \xi_{1r}(\gamma_{1r}D_{1r} + \gamma_{1s}D_{1s})] \sin \omega t \} + \\ & \frac{1}{\gamma'_{1r}^2 + \gamma'_{1s}^2} \{ [\xi'_{1s}(\gamma'_{1r}D'_{1r} + \gamma'_{1s}D'_{1s}) + \xi'_{1r}(\gamma'_{1r}D'_{1s} - \gamma'_{1s}D'_{1r})] \cos \omega t - [\xi'_{1s}(\gamma'_{1r}D'_{1s} - \gamma'_{1s}D'_{1r}) - \xi'_{1r}(\gamma'_{1r}D'_{1r} + \gamma'_{1s}D'_{1s})] \sin \omega t \} = \\ & \frac{1}{\gamma_{2r}^2 + \gamma_{2s}^2} \{ [\xi_{2s}(\gamma_{2r}D_{2r} + \gamma_{2s}D_{2s}) + \xi_{2r}(\gamma_{2r}D_{2s} - \gamma_{2s}D_{2r})] \cos \omega t - [\xi_{2s}(\gamma_{2r}D_{2s} - \gamma_{2s}D_{2r}) - \xi_{2r}(\gamma_{2r}D_{2r} + \gamma_{2s}D_{2s})] \sin \omega t \} \end{aligned}$$

$\omega^{2n} \cos(\omega t)$ ve $\omega^{2n} \sin(\omega t)$ ($n=0, \dots, 12$) terimlerinin katsayılarının eşitlenmesiyle toplam 26 denklem elde edilir. $\omega^{24} \cos(\omega t)$ teriminin katsayı eşitliğinden,

$$\xi'_{1s}(\gamma'_{1r}D'_{1r} + \gamma'_{1s}D'_{1s}) + \xi'_{1r}(\gamma'_{1r}D'_{1s} - \gamma'_{1s}D'_{1r}) = 0 \quad (4.24)$$

$\omega^{24} \sin(\omega t)$ teriminin katsayı eşitliğinden

$$\xi'_{1s}(\gamma'_{1r}D'_{1s} - \gamma'_{1s}D'_{1r}) - \xi'_{1r}(\gamma'_{1r}D'_{1r} + \gamma'_{1s}D'_{1s}) = 0 \quad (4.25)$$

$\cos(\omega t)$ teriminin katsayısının eşitliği ve (4.18) den,

$$D_{1r} \left(\frac{n\pi}{b} \xi_{1s} - \frac{b}{4n\pi} \xi_{1r} \right) v_{c1}^8 + D_{1s} \left(\frac{b}{4n\pi} \xi_{1s} + \frac{n\pi}{b} \xi_{1r} \right) v_{c1}^8 = D_{2r} \left(\frac{n\pi}{b} \xi_{2s} - \frac{b}{4n\pi} \xi_{2r} \right) v_{c2}^8 + D_{2s} \left(\frac{b}{4n\pi} \xi_{2s} + \frac{n\pi}{b} \xi_{2r} \right) v_{c2}^8 \quad (4.26)$$

$\sin(\omega t)$ teriminin katsayısının eşitliği ve (4.19) den,

$$-D_{1r} \left(\frac{n\pi}{b} \xi_{1r} + \frac{b}{4n\pi} \xi_{1s} \right) v_{c1}^8 + D_{1s} \left(-\frac{b}{4n\pi} \xi_{1r} + \frac{n\pi}{b} \xi_{1s} \right) v_{c1}^8 = -D_{2r} \left(\frac{n\pi}{b} \xi_{2r} + \frac{b}{4n\pi} \xi_{2s} \right) v_{c2}^8 + D_{2s} \left(-\frac{b}{4n\pi} \xi_{2r} + \frac{n\pi}{b} \xi_{2s} \right) v_{c2}^8 \quad (4.27)$$

(4.26) de (4.16) ve (4.17) yerine yazılırsa,

$$\xi_{2r} \frac{b^4 - 16(n\pi)^4}{4b^3 n\pi} v_{c2}^8 + (\xi_{1s} - \xi_{2s}) \frac{8(n\pi)^4 - b^4}{8b(n\pi)^3} v_{c2}^8 + \xi_{1r} \left(-\frac{3b}{4n\pi} v_{c2}^8 + \frac{b^4 + 16(n\pi)^4}{4b^3 n\pi} v_{cl}^8 \right) \neq 0 \text{ için,}$$

$$\begin{aligned} D_{1r} &= D_{2r} \cdot \frac{v_{c2}^8 \left[\xi_{1r} \frac{8(n\pi)^4 - b^4}{2b^4 (n\pi)^3} v_{cl}^8 + (\xi_{1s} - \xi_{2s}) \frac{8(n\pi)^4 - b^4}{8b(n\pi)^3} v_{cl}^8 + \xi_{2r} \left(\frac{3b}{4n\pi} v_{cl}^8 - \frac{b^4 + 16(n\pi)^4}{4b^3 n\pi} v_{c2}^8 \right) \right]}{v_{cl}^8 \left[\xi_{2r} \frac{b^4 - 16(n\pi)^4}{4b^3 n\pi} v_{c2}^8 + (\xi_{1s} - \xi_{2s}) \frac{8(n\pi)^4 - b^4}{8b(n\pi)^3} v_{c2}^8 + \xi_{1r} \left(-\frac{3b}{4n\pi} v_{c2}^8 + \frac{b^4 + 16(n\pi)^4}{4b^3 n\pi} v_{cl}^8 \right) \right]} \\ &= D_{2r} \cdot Z \end{aligned} \quad (4.28)$$

elde edilir. (4.24) ve (4.25) $(\xi'_{1s} D'_{1r} + \xi'_{1r} D'_{1s})$ ve $(-\xi'_{1s} D'_{1s} + \xi'_{1r} D'_{1r})$ ile çarpılıp taraf tarafa toplandığında, $\gamma'_{1s} \neq 0$ ve $\gamma'_{1r} \neq 0$ kabulü ile düzenlendiğinde,

$$\gamma'_{1s1} = \pm \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(k_l^2)_r + \frac{\sqrt{2}}{2} \left\{ [(k_l^2)_r]^2 + [(k_l^2)_s]^2 \right\}^{\frac{1}{4}}} \quad (4.29)$$

$$\gamma'_{1s2} = \pm \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(k_l^2)_r - \frac{\sqrt{2}}{2} \left\{ [(k_l^2)_r]^2 + [(k_l^2)_s]^2 \right\}^{\frac{1}{4}}} \quad (4.30)$$

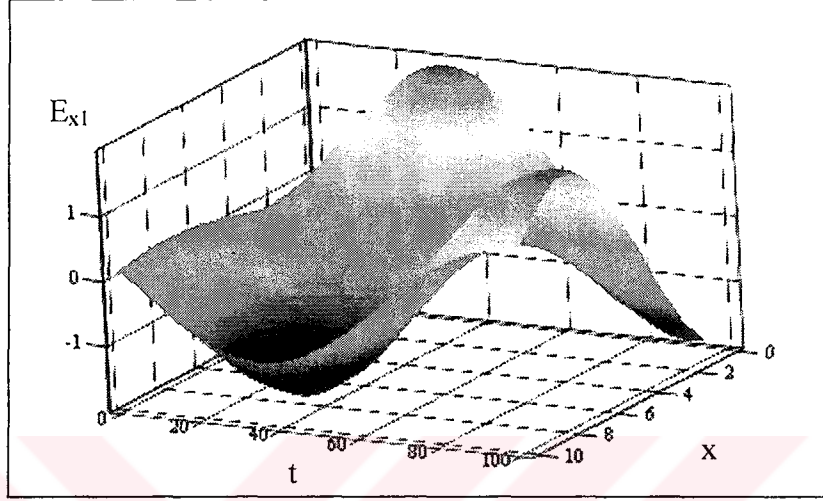
$$\gamma'_{1r1} = -\frac{(k_l^2)_s}{\gamma'_{1s1}} \quad (4.31)$$

$$\gamma'_{1r2} = -\frac{(k_l^2)_s}{\gamma'_{1s2}} \quad (4.32)$$

Yansıyan alanın $-z$ yönünde yayılması için $\gamma'_{1s} > 0$ olması gerektiğinden denklemlerin (+) işaretli olan bileşeleri geçerlidir.

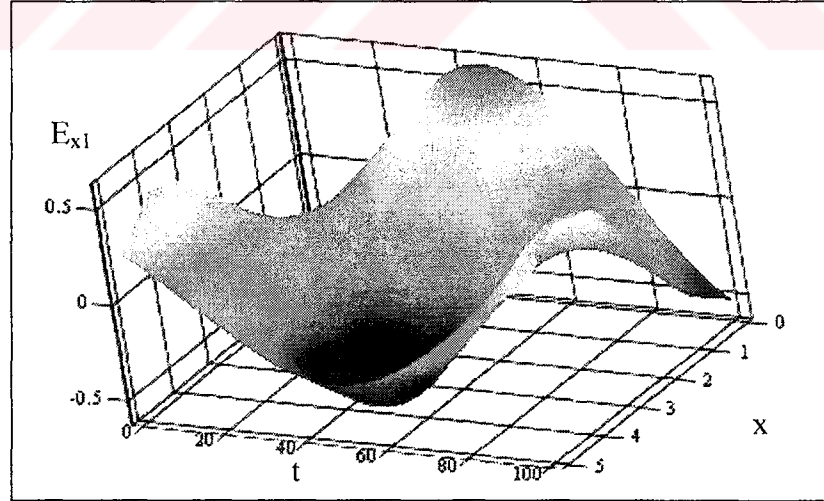
5. SAYISAL SONUÇLAR VE GRAFİKLER

Birinci bölgede 40Ghz için levhalar arasındaki uzaklık (b) 1. bölgedeki dalga boyu ve 2. bölgedeki dalga boyu alınarak ve katları alınarak $n=1$ için sayısal sonuçlar elde edilmiş ve aşağıda sayısal sonuçları irdelenmiştir.



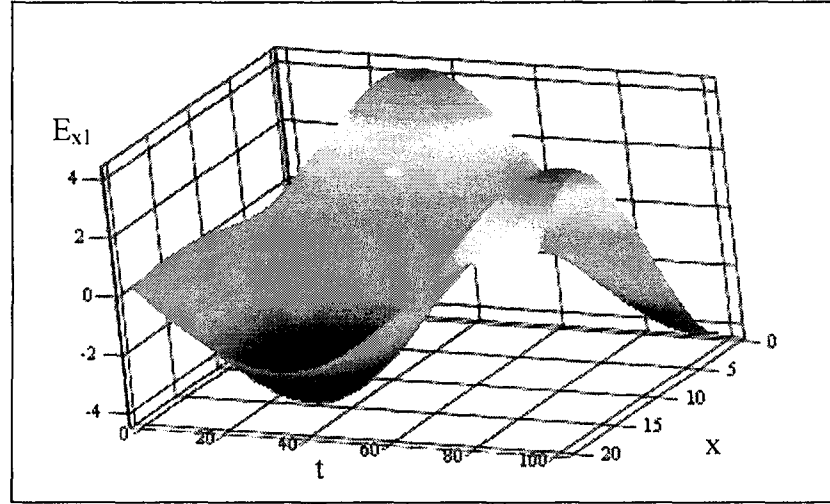
EX1

(a) $b=\lambda_1$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,1)$ saniye



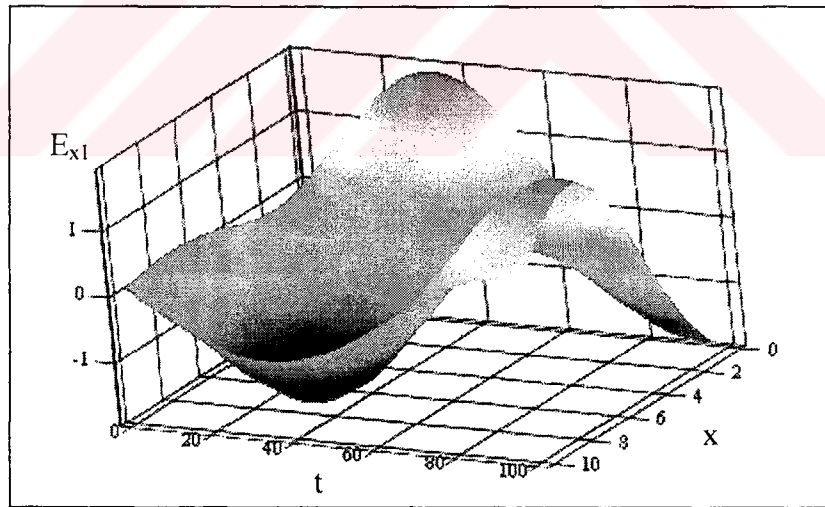
EX1

(b) $b=\lambda_1/2$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,1)$ saniye



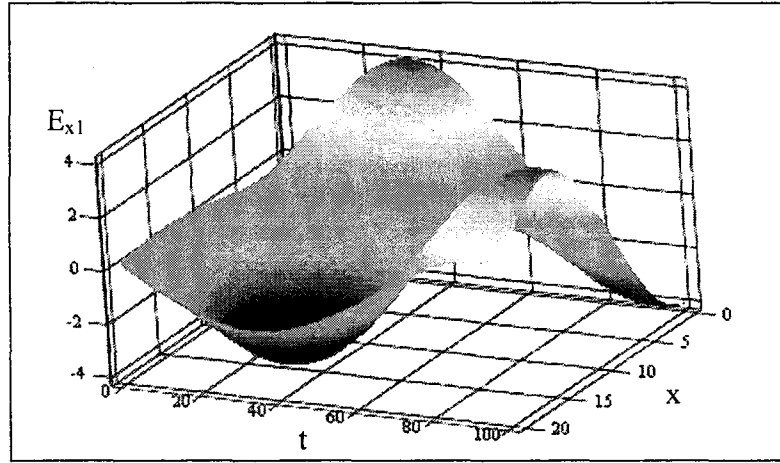
EX1

(c) $b=2\lambda_1$, $x \in (0, b)$ metre, $t \in (0, 1)$ saniye



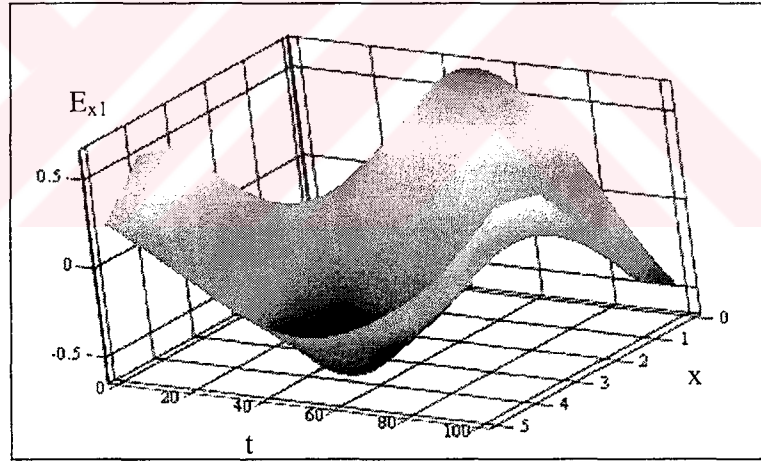
EX1

(d) $b=\lambda_2$, $x \in (0, b)$ metre, $t \in (0, 1)$ saniye



EX1

(e) $b=2\lambda_2$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,1)$ saniye

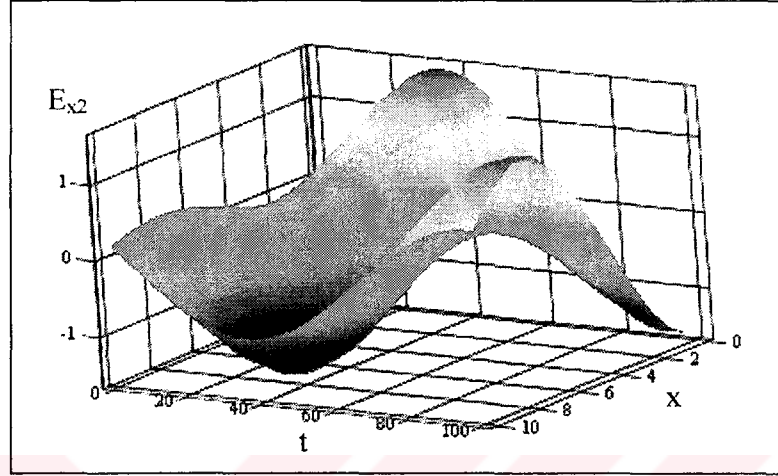


EX1

(f) $b=\lambda_2/2$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,1)$ saniye

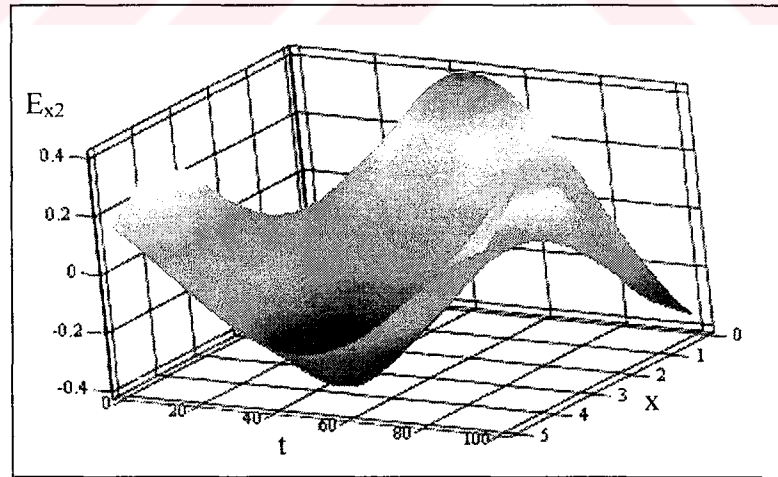
Şekil 5.1 1. Bölgedeki elektrik alan x bileşenin 40 GHz için levhalar arasındaki uzaklık ile değişimleri

Şekil 5.1 den görüleceği gibi levhalar arasındaki uzaklık birinci bölgedeki dalga boyu veya ikinci bölgedeki dalga boyu ve katları olarak alındığında elektrik alanının birinci bölgedeki x bileşeninde genlik değişimleri olmaktadır. Levhalar arasındaki uzaklığın birinci bölgedeki dalga boyu ve katları veya ikinci bölgedeki dalga boyu ve katları olarak alınması genlik ve faz açısından bir fark yaratmamaktadır. Dalga boyunun yarısı kadar alındığında ise genlik değişiminin yanı sıra faz kayması da gözlenmektedir.



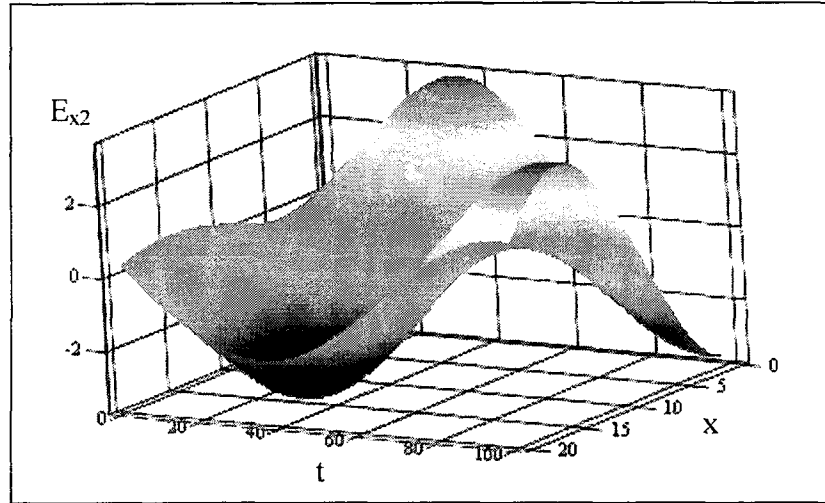
EX2

(a) $b=\lambda_1$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,1)$ saniye



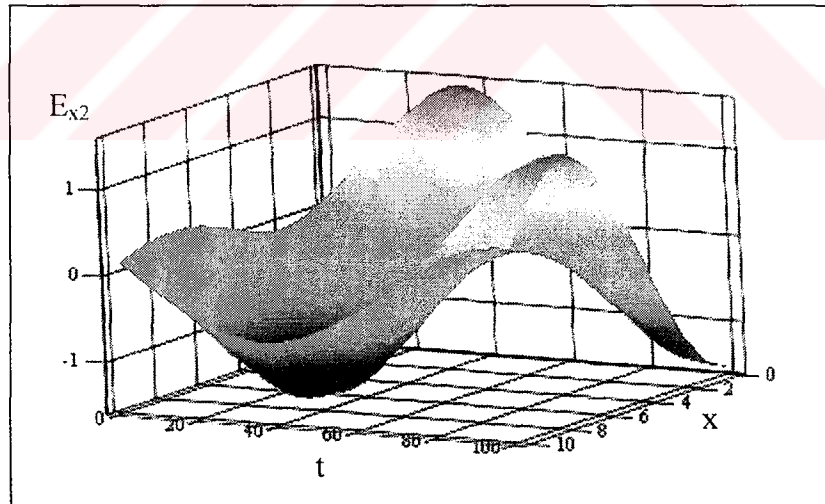
EX2

(b) $b=\lambda_1/2$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,1)$ saniye



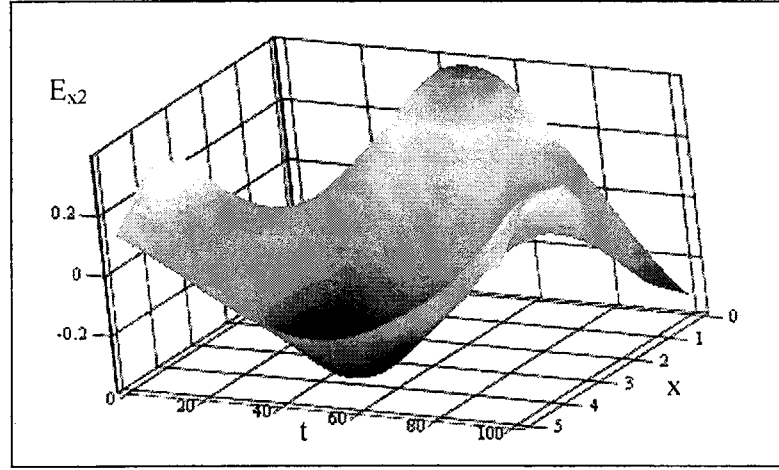
EX2

(c) $b=2\lambda_1$, $x \in (0, b)$ metre, $t \in (0, 1)$ saniye



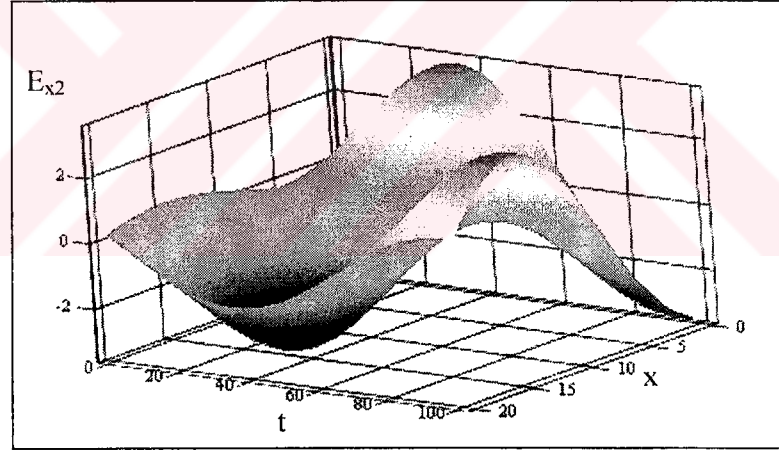
EX2

(d) $b=\lambda_2$, $x \in (0, b)$ metre, $t \in (0, 1)$ saniye



EX2

(e) $b=\lambda_2/2$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,1)$ saniye

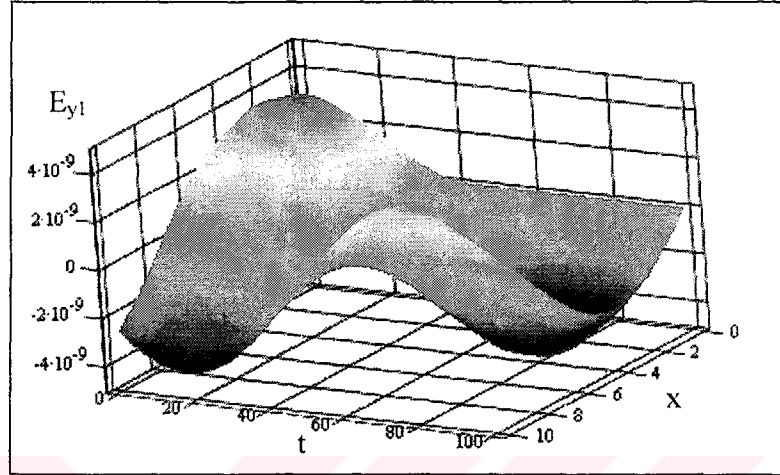


EX2

(f) $b=2\lambda_2$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,1)$ saniye

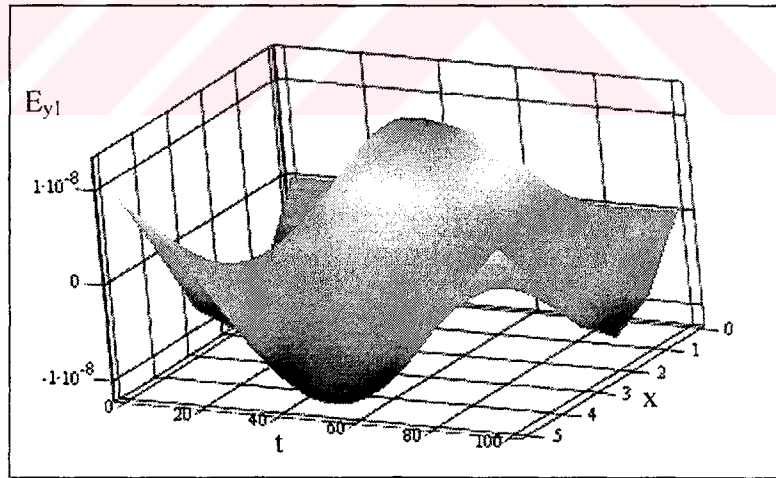
Şekil 5.2 2. Bölgedeki elektrik alanın x bileşenin 40 GHz için levhalar arasındaki uzaklık ile değişimleri

Şekil 5.2 den görüleceği gibi levhalar arasındaki uzaklık birinci bölgedeki dalga boyu veya ikinci bölgedeki dalga boyu ve katları olarak alındığında elektrik alanının ikinci bölgedeki x bileşeninde genlik değişimleri olmaktadır. Burada yine dalga boyunun birinci ve ikinci bölgedeki değerlerinin alınması genlik ve faz üzerinde etkili olmamaktadır. Birinci bölgede olduğu gibi dalga boyunun yarısı kadar alındığında ise genlik değişiminin yanı sıra faz kayması da gözlenmektedir.



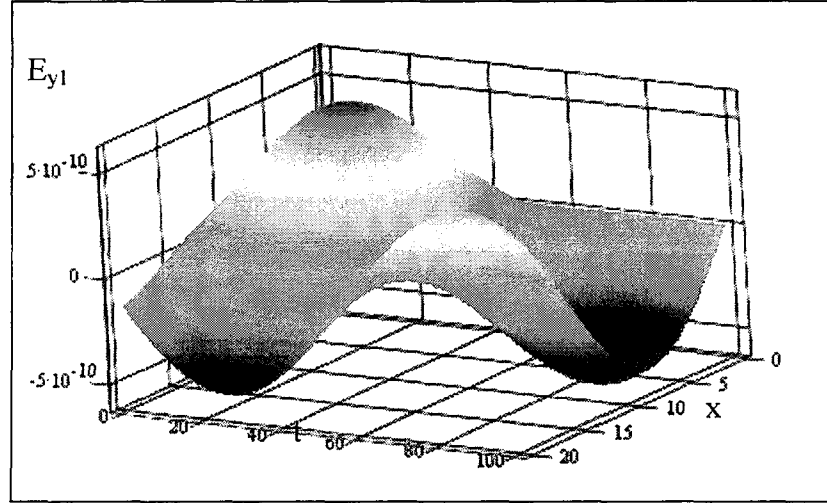
EY1

(a) $b=\lambda_1$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,1)$ saniye



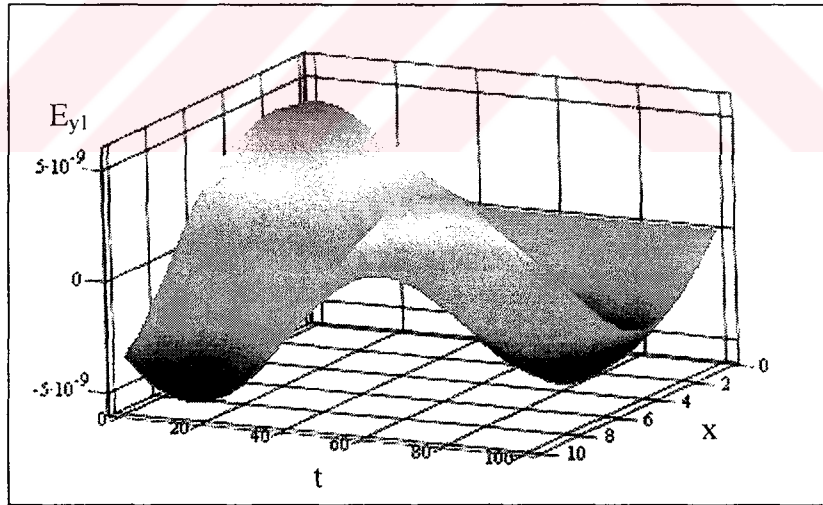
EY1

(b) $b=\lambda_1/2$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,1)$ saniye



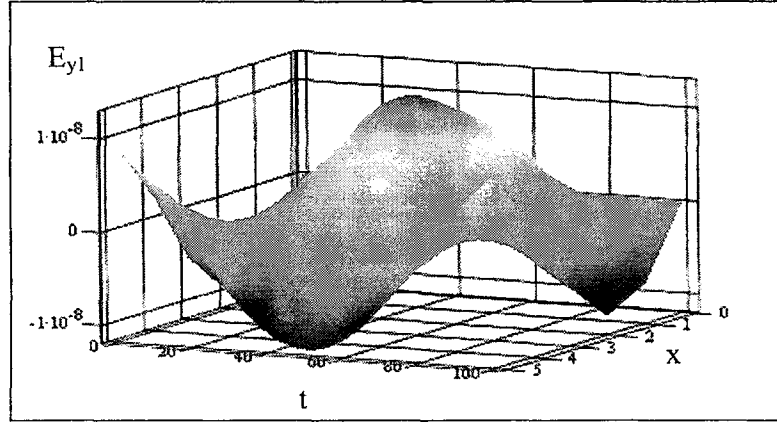
EY1

(c) $b=2\lambda_1$, $x \in (0, b)$ metre, $t \in (0, 1)$ saniye



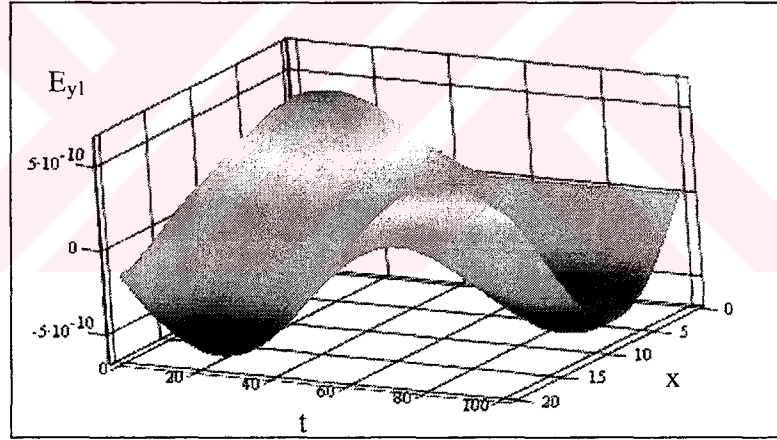
EY1

(d) $b=\lambda_2$, $x \in (0, b)$ metre, $t \in (0, 1)$ saniye



EY1

(e) $b=\lambda_2/2$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,1)$ saniye

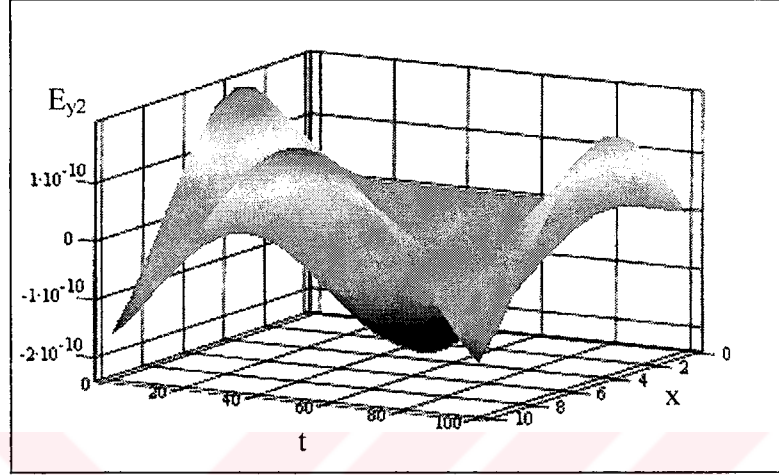


EY1

(f) $b=2\lambda_2$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,1)$ saniye

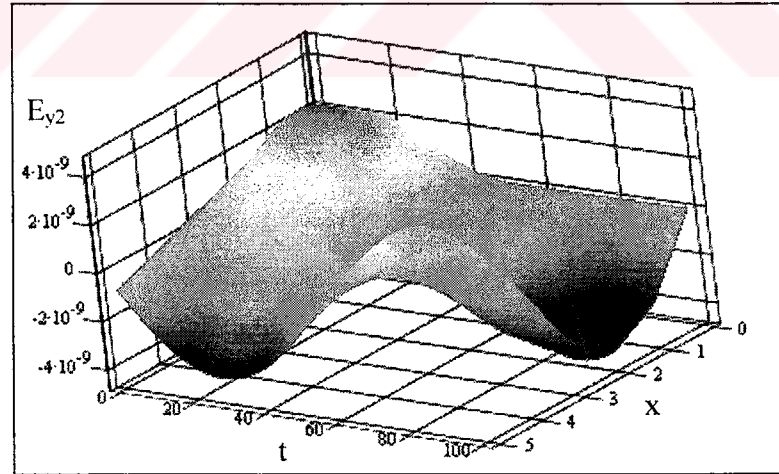
Şekil5.3 1. Bölgedeki elektrik alanın y bileşenin 40 GHz için levhalar arasındaki uzaklık ile değişimleri

Şekil 5.3 den görüleceği gibi levhalar arasındaki uzaklık birinci bölgedeki dalga boyu veya ikinci bölgedeki dalga boyu ve katları olarak alındığında elektrik alanının birinci bölgedeki y bileşeninde genlik değişimleri olmaktadır. x bileşenlerinden farklı olarak levhalar arasındaki uzaklık değişimi genlik üzerinde ters orantılı olarak etkili olmaktadır. Bunun yanında b değeri dalga boyunun yarısı kadar alındığında ise genlik değişiminin yanı sıra faz kayması da gözlenmektedir.



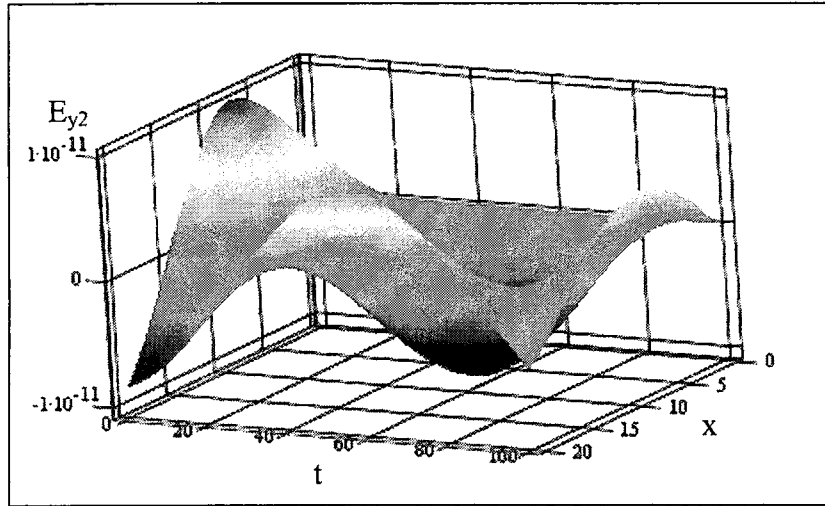
EY2

(a) $b=\lambda_1$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,1)$ saniye



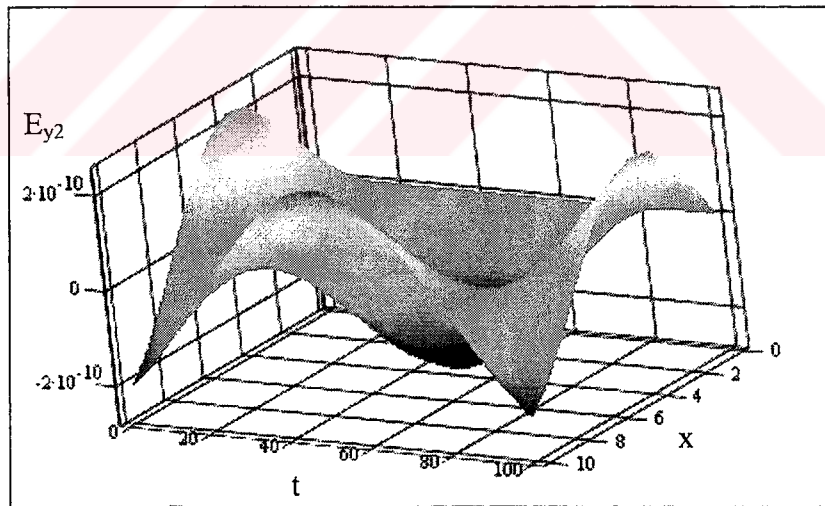
EY2

(b) $b=\lambda_1/2$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,1)$ saniye



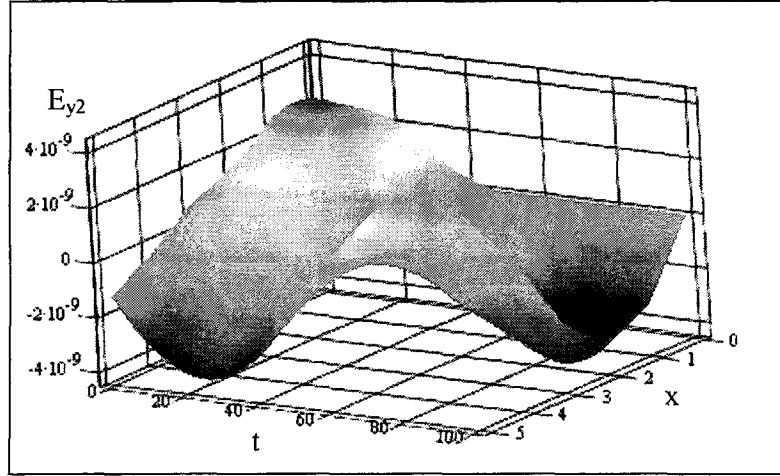
EY2

(c) $b=2\lambda_1$, $x \in (0, b)$ metre, $t \in (0, 1)$ saniye



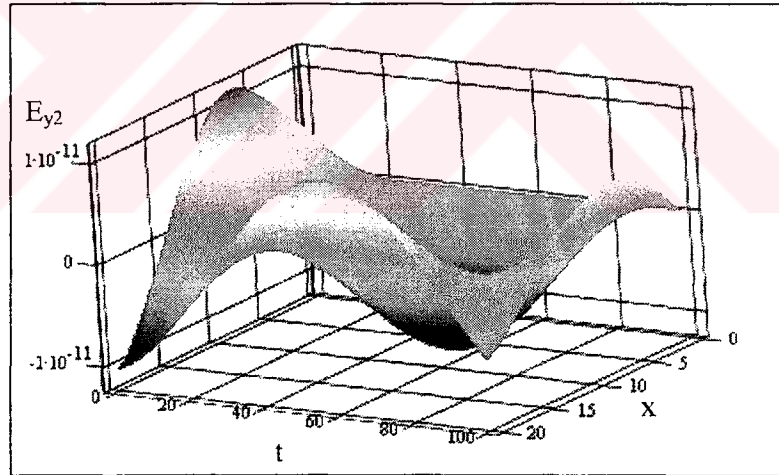
EY2

(d) $b=\lambda_2$, $x \in (0, b)$ metre, $t \in (0, 1)$ saniye



EY2

(e) $b=\lambda_2/2$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,1)$ saniye

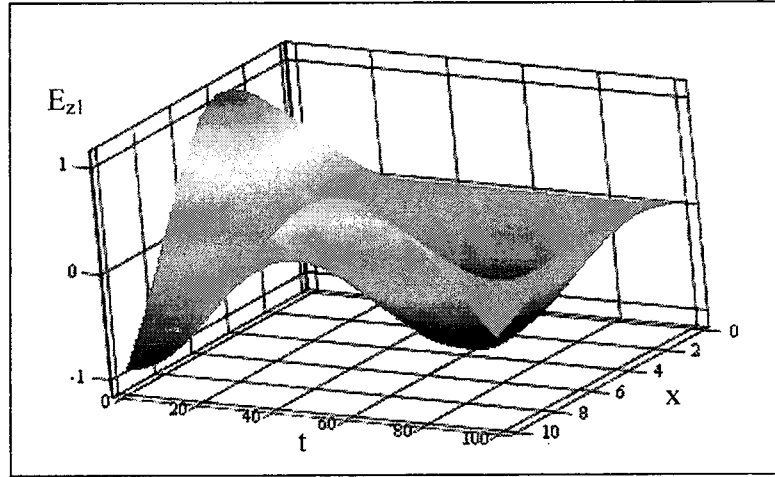


EY2

(f) $b=2\lambda_2$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,1)$ saniye

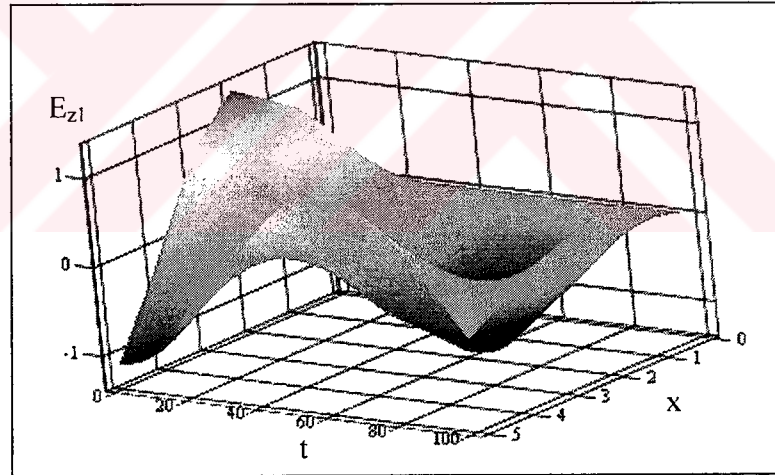
Şekil 5.4 2. Bölgedeki elektrik alanın y bileşenin 40 GHz için levhalar arasındaki uzaklık ile değişimleri

Şekil 5.3 ve Şekil 5.4 den birinci bölgedeki elektrik alanın y bileşeninin levhalar arası uzaklık ile değişimleri ikinci bölgedeki elektrik alan y bileşeni için de geçerlidir. Yine genlik ve dalga boyu arasında ters orantı ve dalga boyunun yarısında faz değişimi görülmektedir.



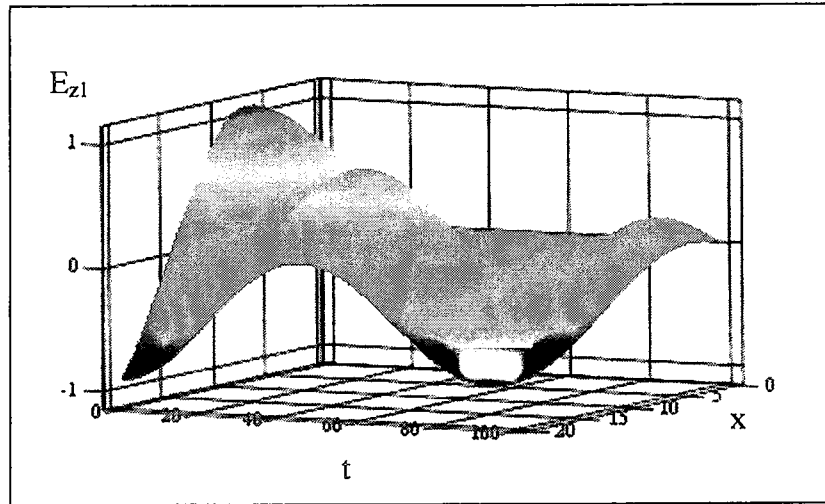
EZ1

(a) $b=\lambda_1$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,1)$ saniye



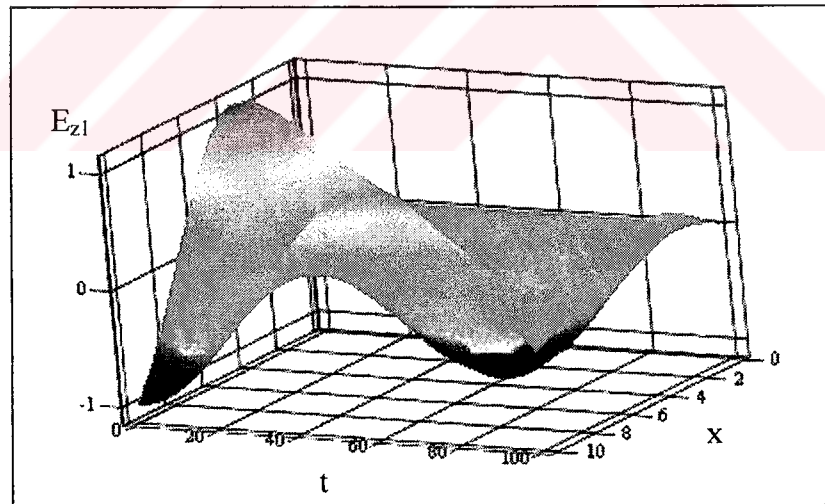
EZ1

(b) $b=\lambda_1/2$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,1)$ saniye



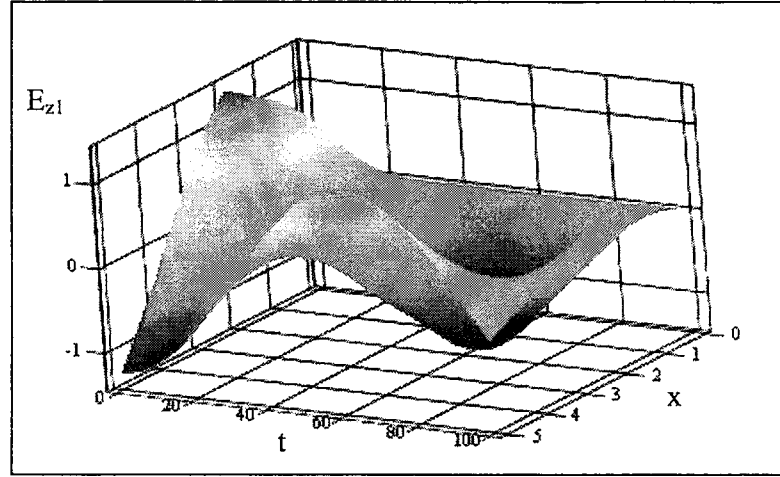
EZ1

(c) $b=2\lambda_1$, $x \in (0, b)$ metre, $t \in (0, 1)$ saniye



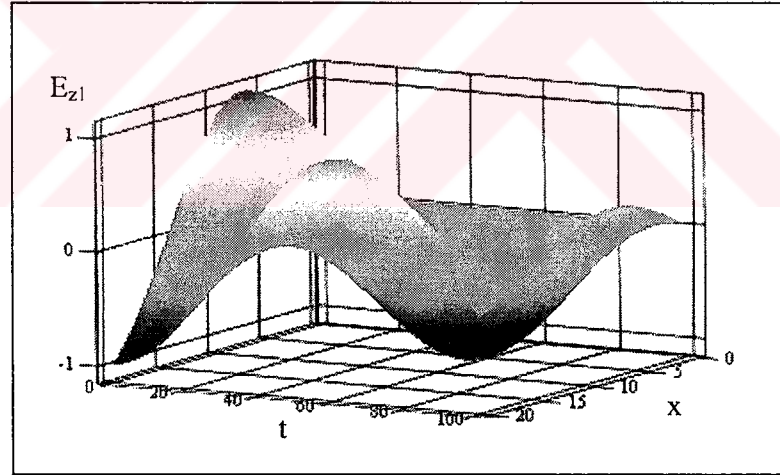
EZ1

(d) $b=\lambda_2$, $x \in (0, b)$ metre, $t \in (0, 1)$ saniye



EZ1

(e) $b=\lambda_2/2$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,1)$ saniye

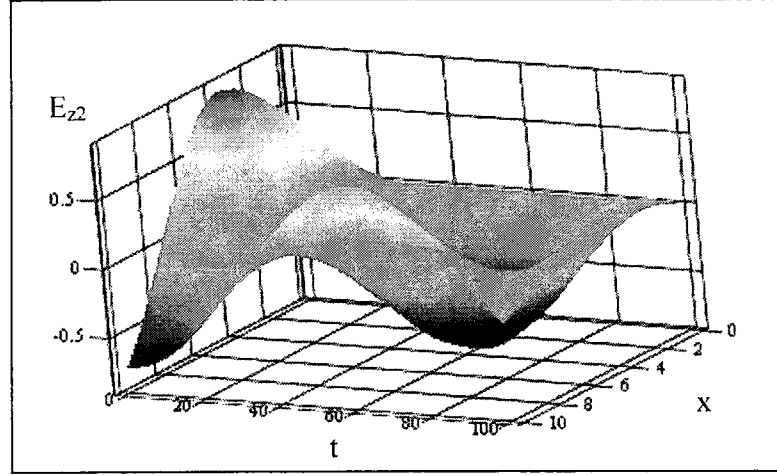


EZ1

(f) $b=2\lambda_2$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,1)$ saniye

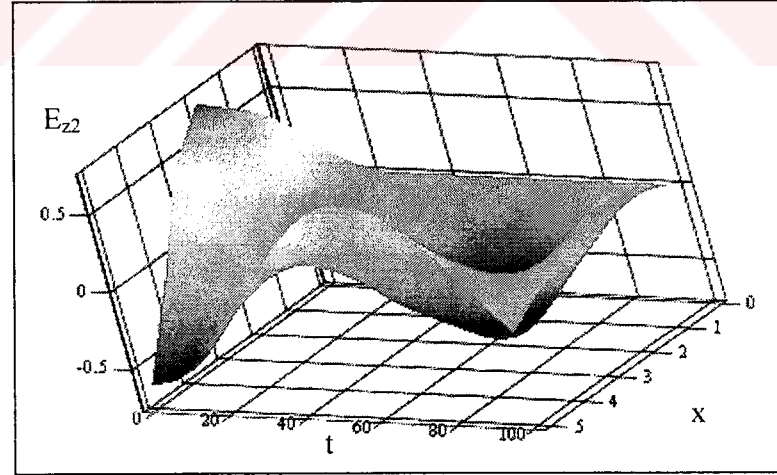
Şekil 5.5 1. Bölgedeki elektrik alanın z bileşenin 40 GHz için levhalar arasındaki uzaklık ile değişimleri

Şekil 5.5 den anlaşılacağı gibi birinci bölgedeki elektrik alanın z bileşeninin levhalar arası uzaklık ile genlik ve faz olarak bir değişim göstermemektedir.



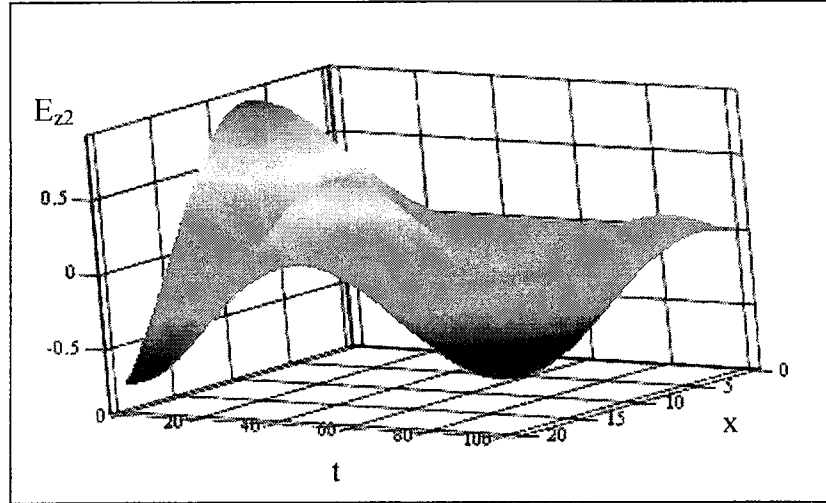
EZ2

(a) $b=\lambda_1$, $x\in(0,b)$ metre, $t\in(0,1)$ saniye



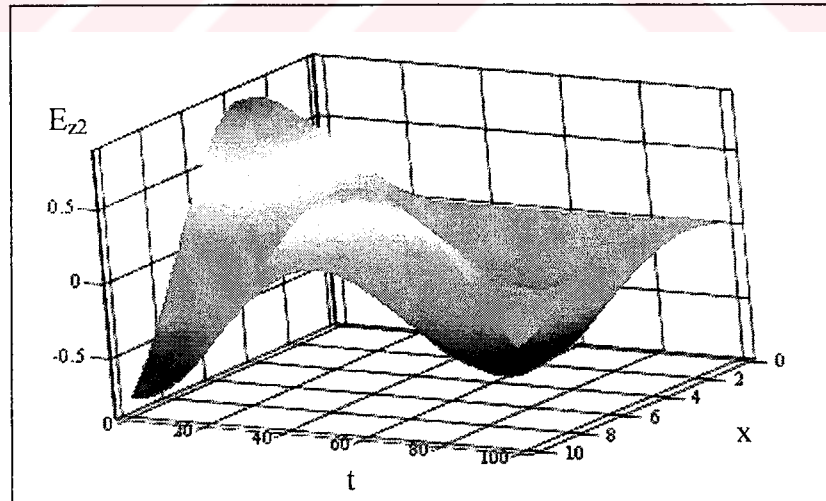
EZ2

(b) $b=\lambda_1/2$, $x\in(0,b)$ metre, $t\in(0,1)$ saniye



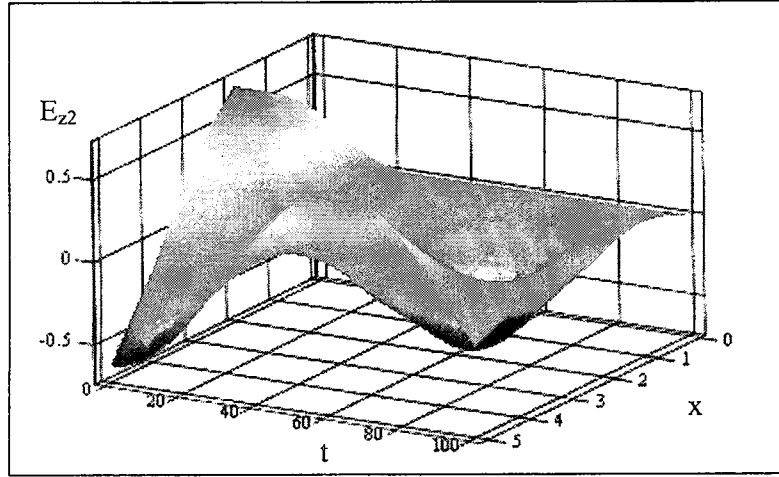
EZ2

(c) $b=2\lambda_1$, $x \in (0, b)$ metre, $t \in (0, 1)$ saniye



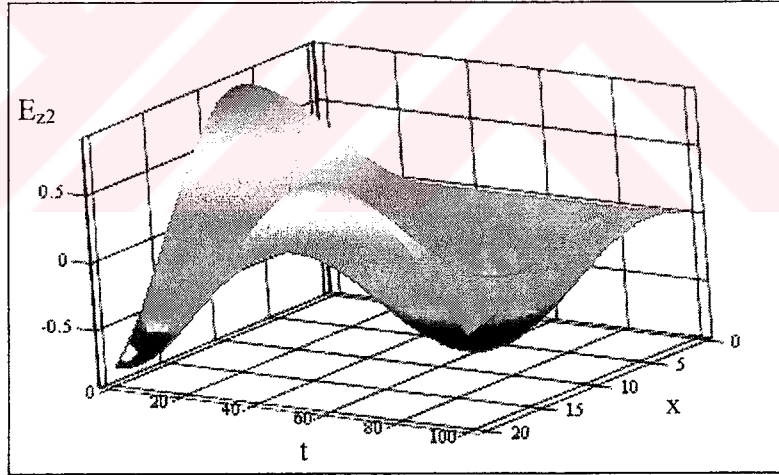
EZ2

(d) $b=\lambda_2$, $x \in (0, b)$ metre, $t \in (0, 1)$ saniye



EZ2

(e) $b=\lambda_2/2$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,1)$ saniye

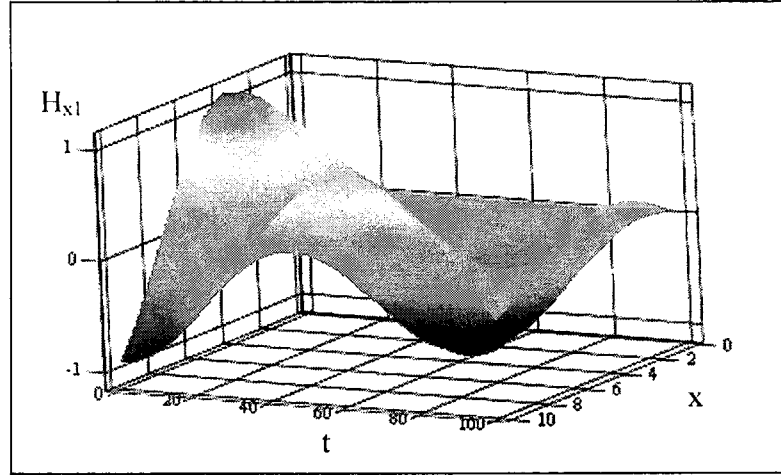


EZ2

(f) $b=2\lambda_2$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,1)$ saniye

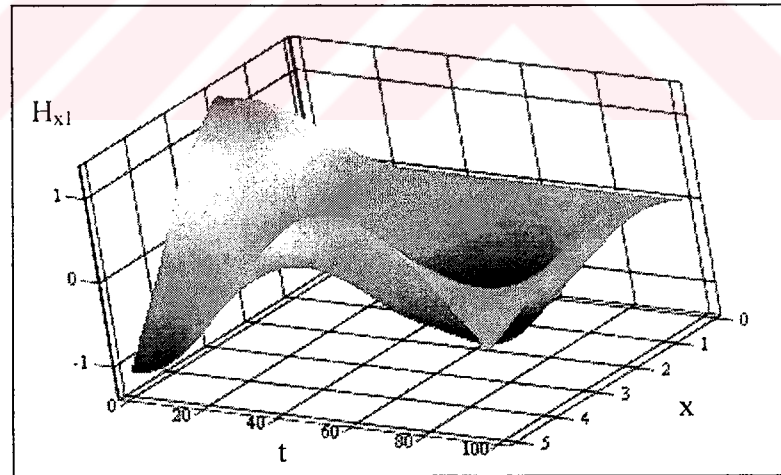
Şekil 5.6 2. Bölgedeki elektrik alanın z bileşenin 40 GHz için levhalar arasındaki uzaklık ile değişimleri

Şekil 5.6 dan anlaşılacağı gibi ikinci bölgedeki elektrik alanın z bileşeninin levhalar arası uzaklık ile genlik ve faz olarak birinci bölgedeki aynı bileşen de olduğu gibi değişim göstermemektedir.



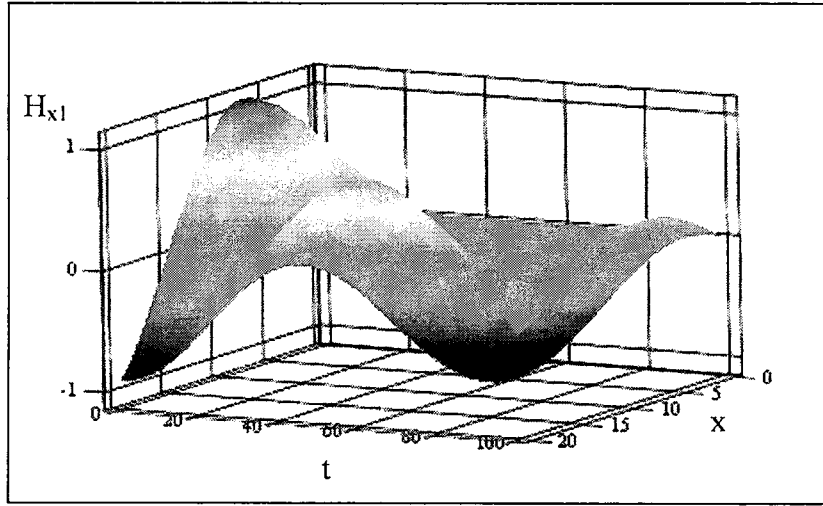
HX1

(a) $b=\lambda_1$, $x\in(0,b)$ metre, $t\in(0,1)$ saniye



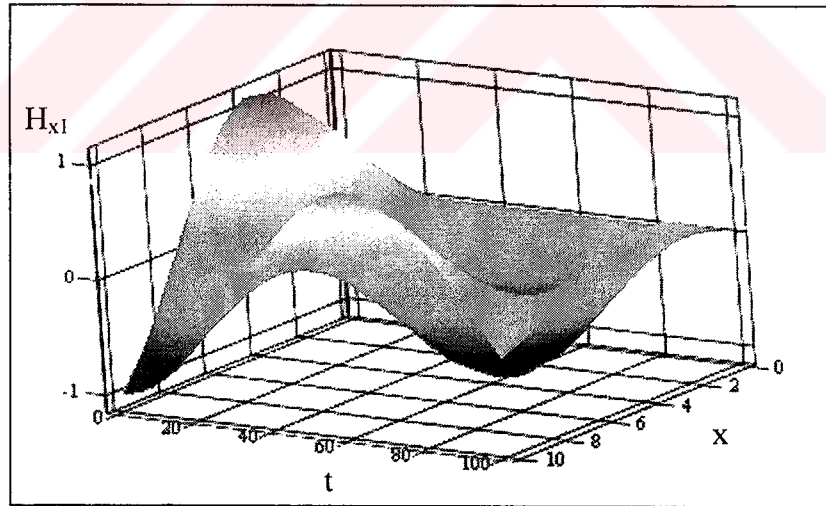
HX1

(b) $b=\lambda_1/2$, $x\in(0,b)$ metre, $t\in(0,1)$ saniye



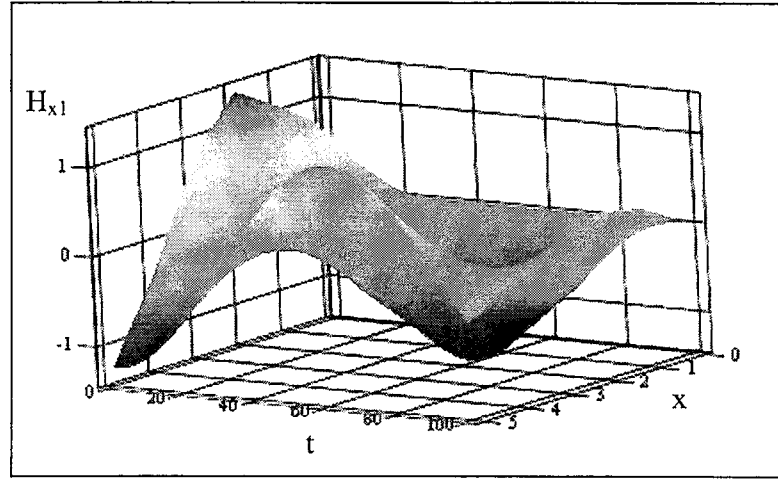
HX1

(c) $b=2\lambda_1$, $x \in (0, b)$ metre, $t \in (0, 1)$ saniye



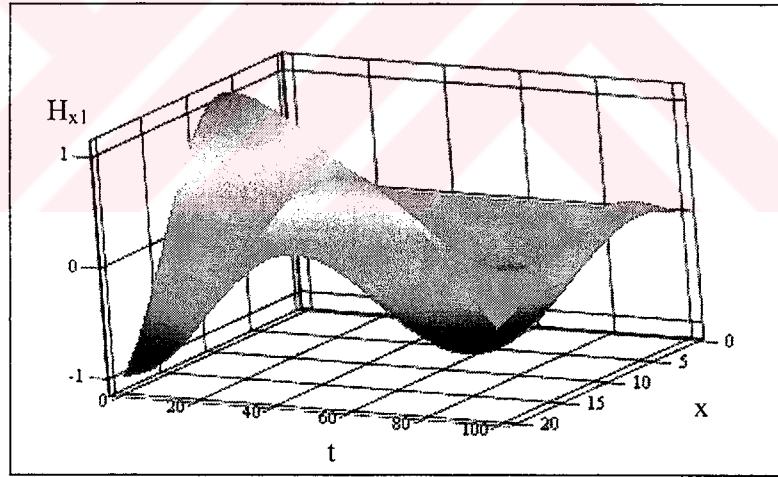
HX1

(d) $b=\lambda_2$, $x \in (0, b)$ metre, $t \in (0, 1)$ saniye



HX1

(e) $b=\lambda_2/2$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,1)$ saniye

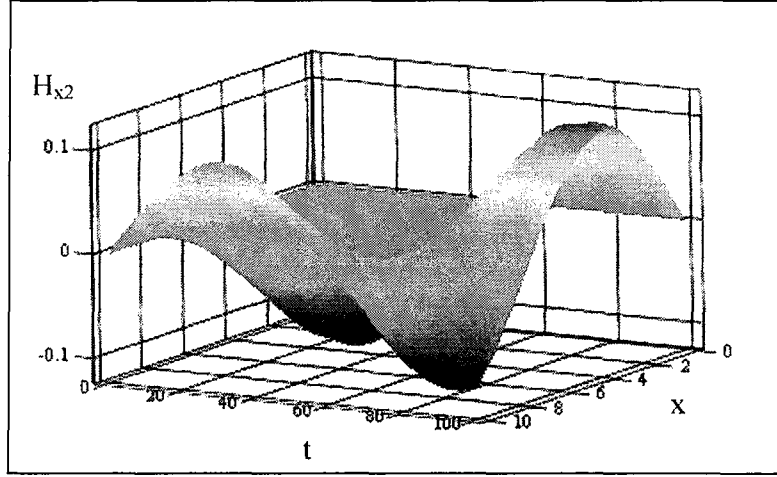


HX1

(f) $b=2\lambda_2$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,1)$ saniye

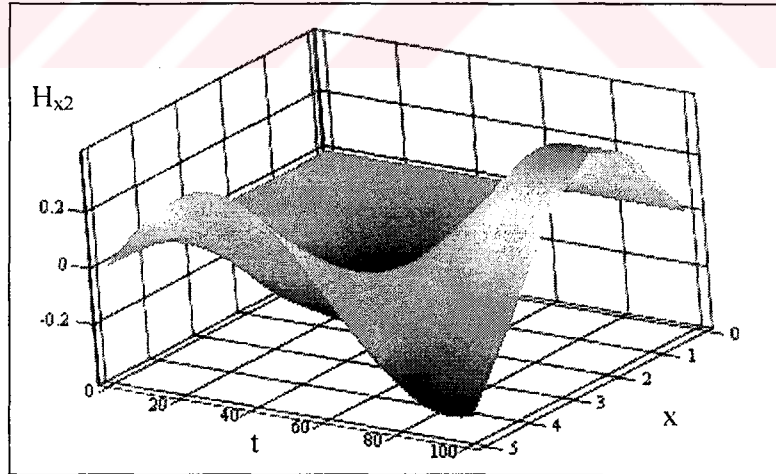
Şekil 5.7 1. Bölgedeki magnetik alanın x bileşenin 40 GHz için levhalar arasındaki uzaklık ile değişimleri

Şekil 5.7 den anlaşılacağı gibi birinci bölgedeki magnetik alanın x bileşeninin levhalar arası uzaklık ile genlik ve faz olarak bir değişim göstermemektedir.



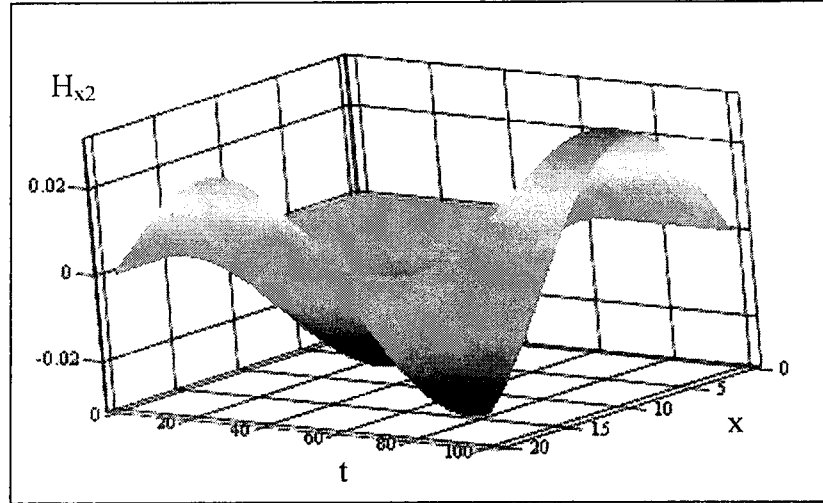
HX2

(a) $b=\lambda_1$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,1)$ saniye



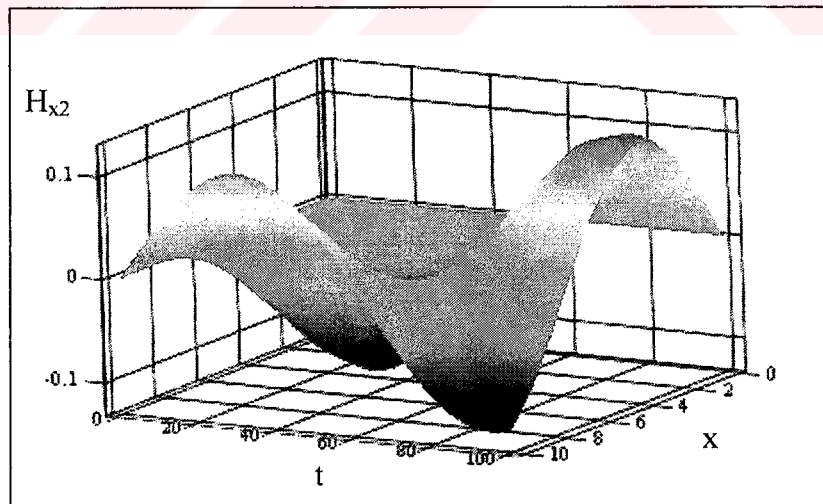
HX2

(b) $b=\lambda_1/2$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,1)$ saniye



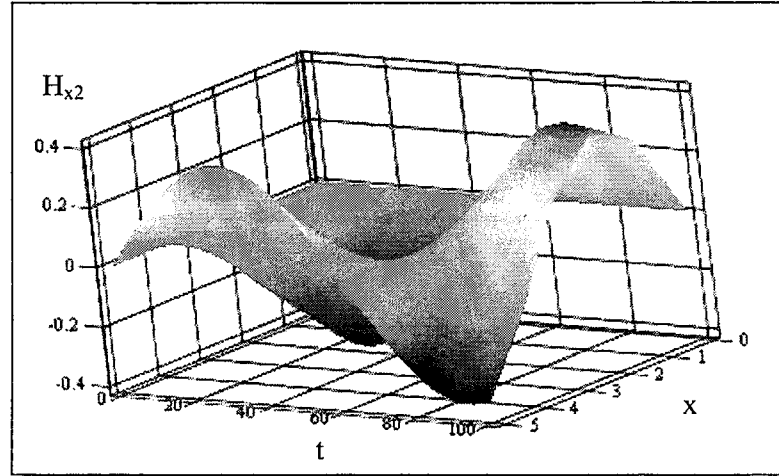
HX2

(c) $b=2\lambda_1$, $x \in (0, b)$ metre, $t \in (0, 1)$ saniye



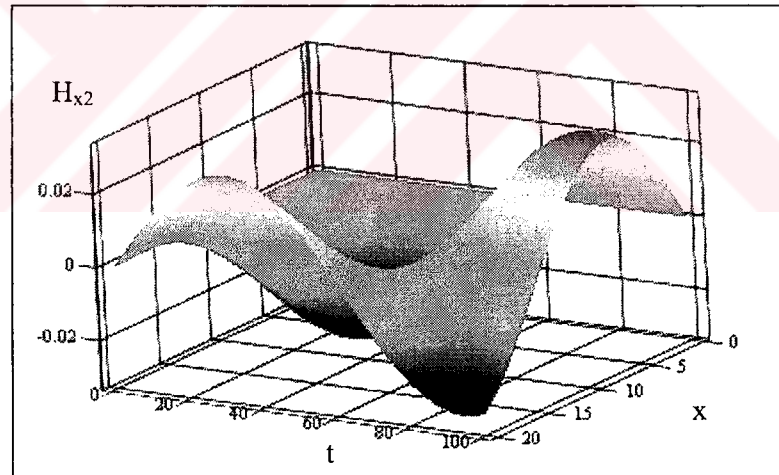
HX2

(d) $b=\lambda_2$, $x \in (0, b)$ metre, $t \in (0, 1)$ saniye



HX2

(e) $b=\lambda_2/2$, $x\in(0,b)$ metre, $t\in(0,1)$ saniye

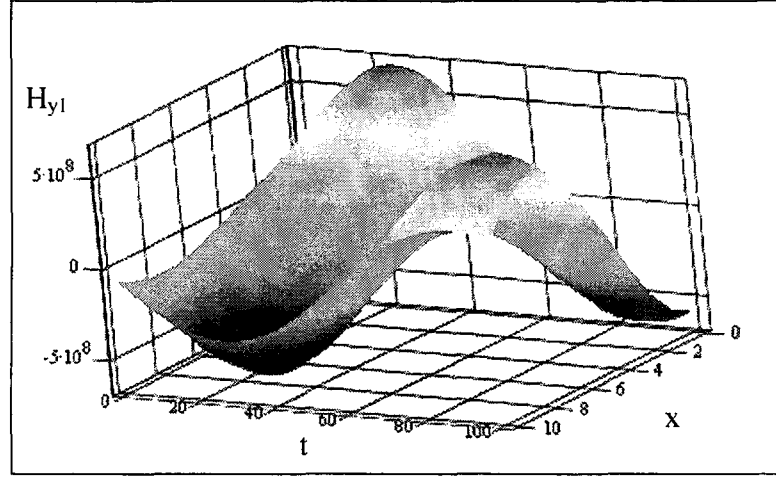


HX2

(f) $b=2\lambda_2$, $x\in(0,b)$ metre, $t\in(0,1)$ saniye

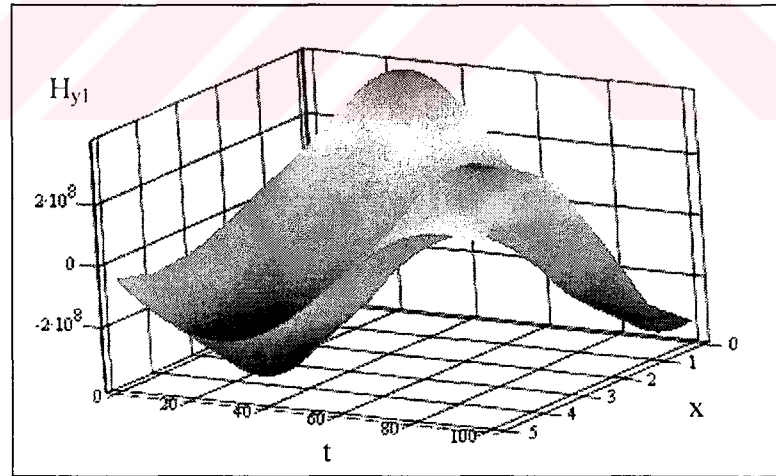
Şekil 5.8 2. Bölgedeki magnetik alanın x bileşenin 40 GHz için levhalar arasındaki uzaklık ile değişimleri

Şekil 5.8 den anlaşılacağı gibi ikinci bölgedeki magnetik alanın x bileşeninin levhalar arası uzaklık ile genlik olarak ters orantılı değişim göstermekte ancak faz olarak bir değişim göstermemektedir.



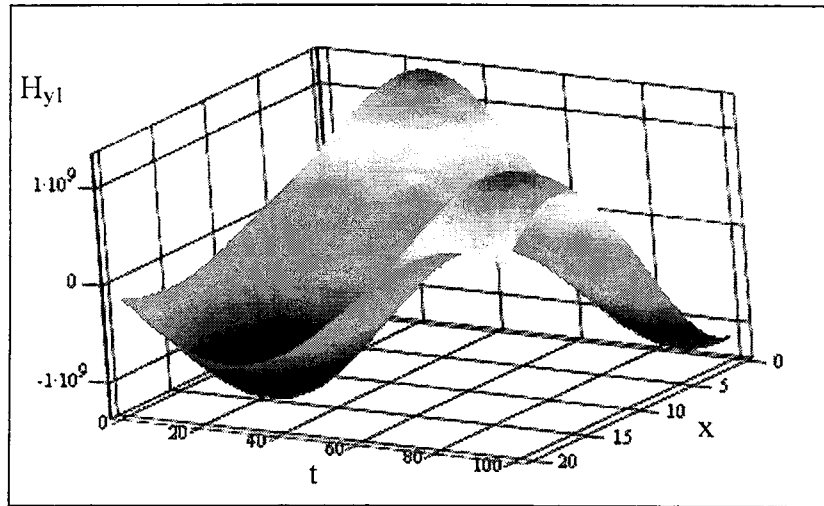
HY1

(a) $b=\lambda_1$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,1)$ saniye



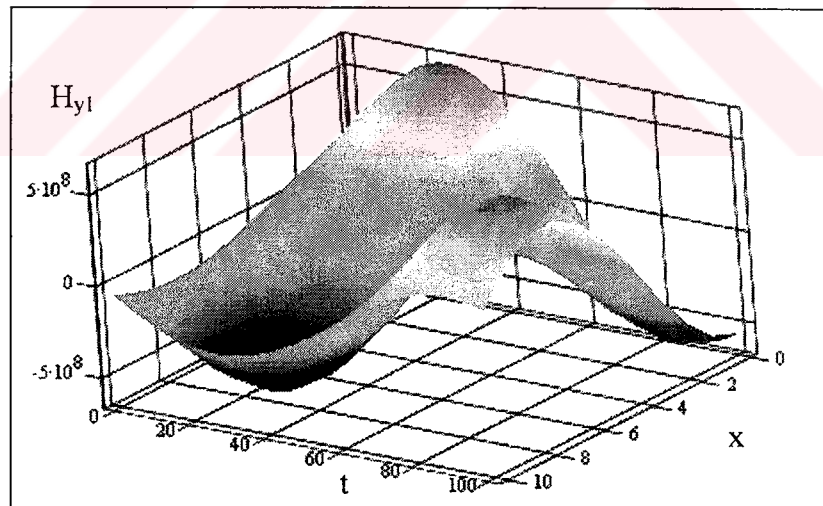
HY1

(b) $b=\lambda_1/2$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,1)$ saniye



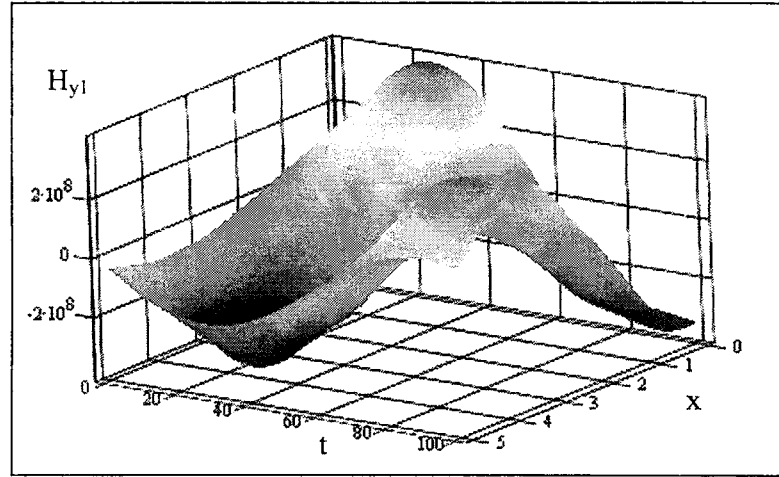
HY1

(c) $b=2\lambda_1$, $x \in (0, b)$ metre, $t \in (0, 1)$ saniye



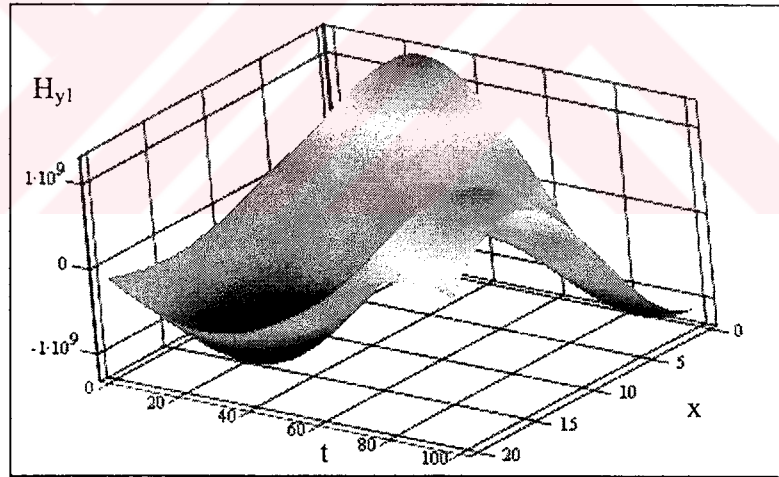
HY1

(d) $b=\lambda_2$, $x \in (0, b)$ metre, $t \in (0, 1)$ saniye



HY1

(e) $b=\lambda_2/2$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,1)$ saniye

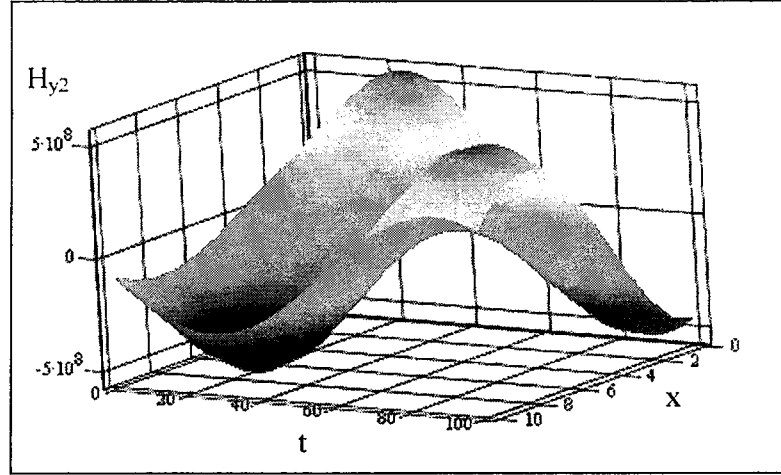


HY1

(f) $b=2\lambda_2$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,1)$ saniye

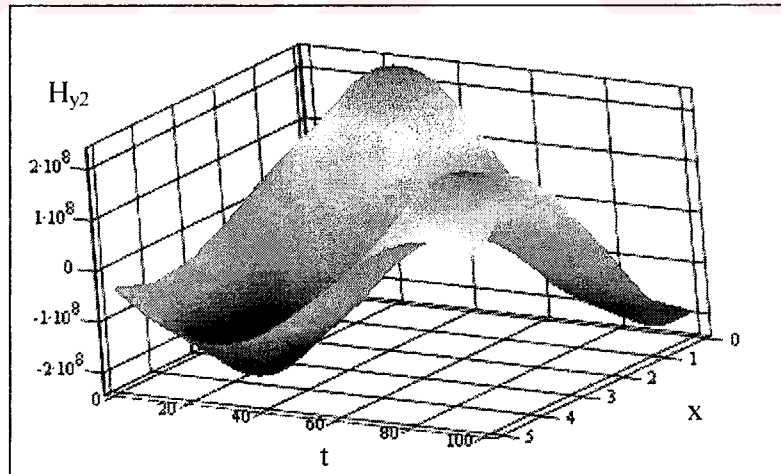
Şekil 5.9 1. Bölgedeki magnetik alanın y bileşenin 40 GHz için levhalar arasındaki uzaklık ile değişimleri

Şekil 5.9 dan anlaşılacağı gibi birinci bölgedeki magnetik alanın y bileşeninin levhalar arası uzaklık ile genlik olarak ters orantılı değişim göstermekte ancak faz olarak bir değişim göstermemektedir.



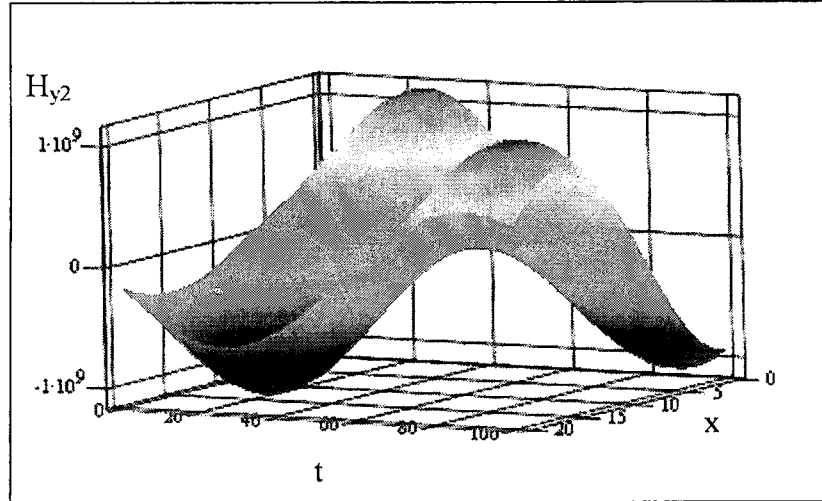
HY2

(a) $b=\lambda_1$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,1)$ saniye



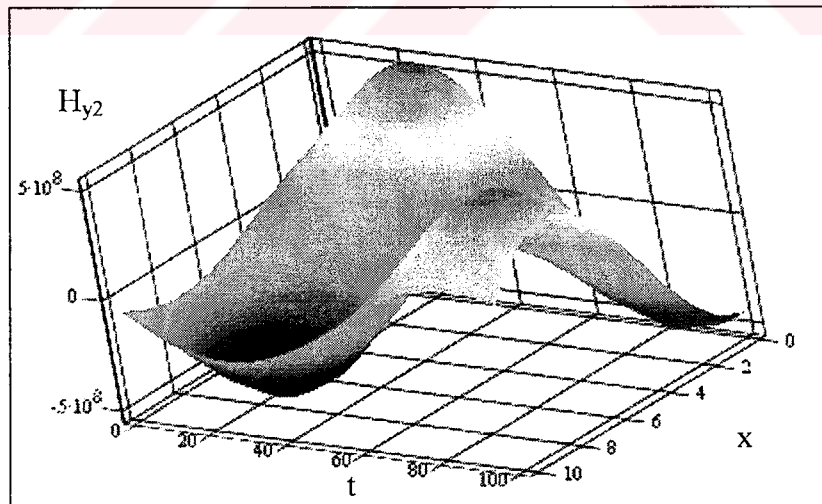
HY2

(b) $b=\lambda_1/2$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,1)$ saniye



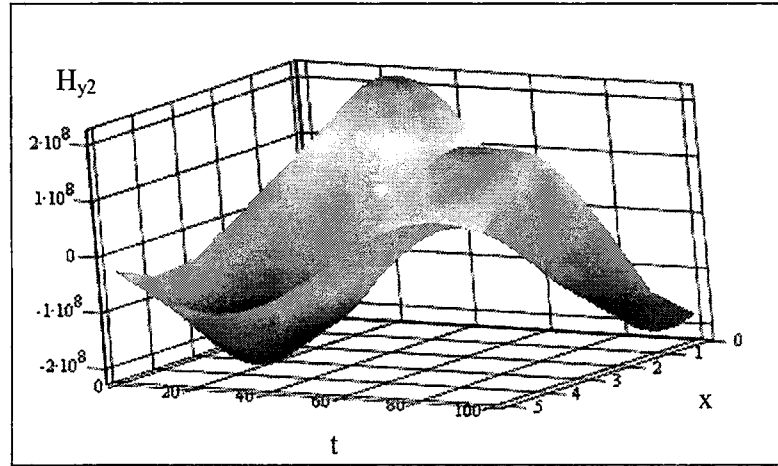
HY2

(c) $b=2\lambda_1$, $x \in (0, b)$ metre, $t \in (0, 1)$ saniye



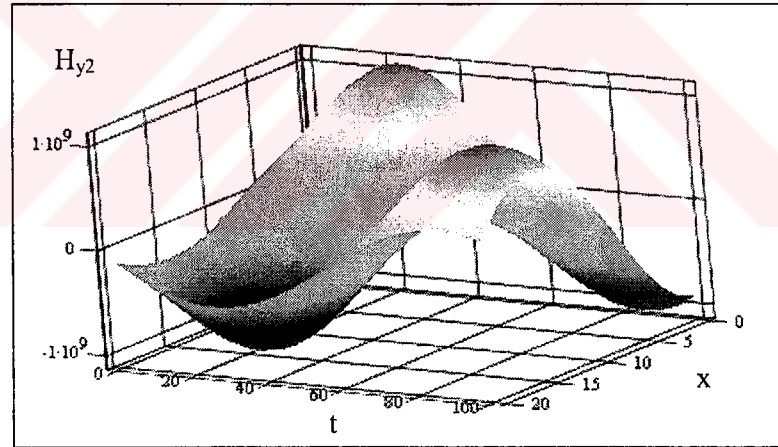
HY2

(d) $b=\lambda_2$, $x \in (0, b)$ metre, $t \in (0, 1)$ saniye



HY2

(e) $b=\lambda_2/2$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,1)$ saniye

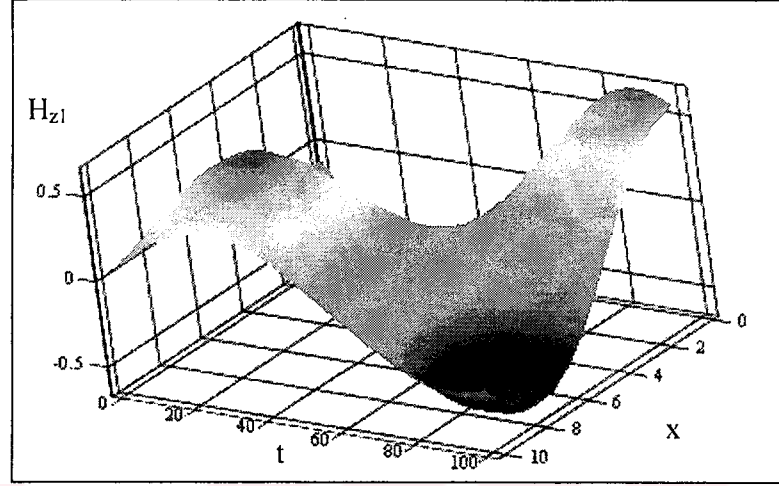


HY2

(f) $b=2\lambda_2$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,1)$ saniye

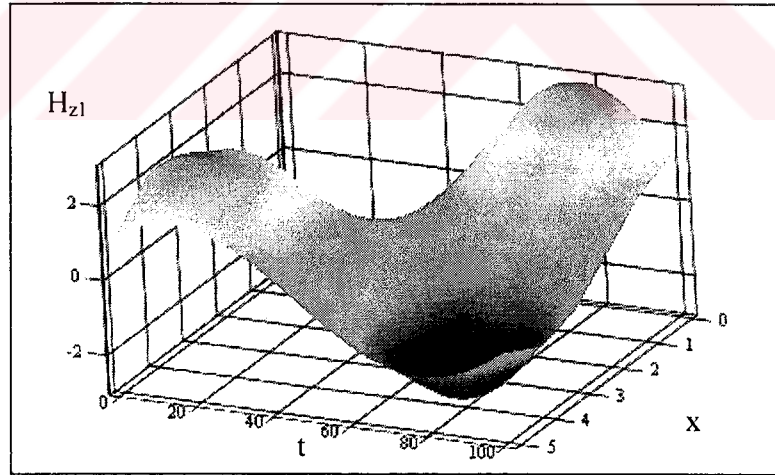
Şekil 5.10 2. Bölgedeki magnetik alanın y bileşenin 40 GHz için levhalar arasındaki uzaklık ile değişimleri

Şekil 5.10 dan anlaşılacağı gibi ikinci bölgedeki magnetik alanın y bileşeninin levhalar arası uzaklık ile genlik olarak ters orantılı değişim göstermekte ancak faz olarak bir değişim göstermemektedir. Genlik değişimi ise levhalar arasındaki uzaklığın birinci bölgedeki dalga boyu veya ikinci bölgedeki dalga boyu olarak alınması ile ilgisi yoktur, dalga boyunun yarısı alındığında bu değişim gözlemlenebilmektedir.



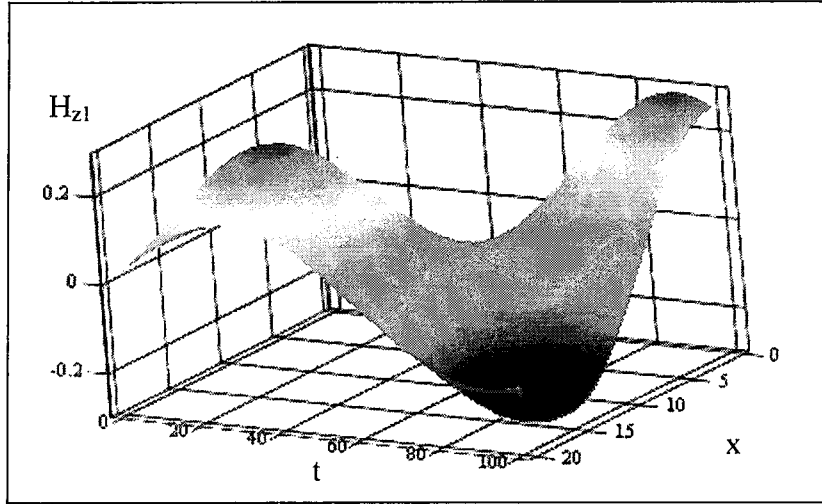
HZ1

(a) $b=\lambda_1$, $x\in(0,b)$ metre, $t\in(0,1)$ saniye



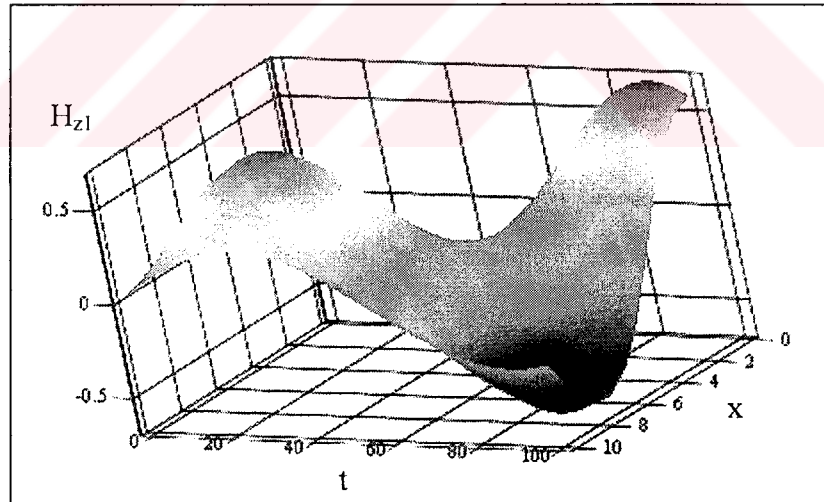
HZ1

(b) $b=\lambda_1/2$, $x\in(0,b)$ metre, $t\in(0,1)$ saniye



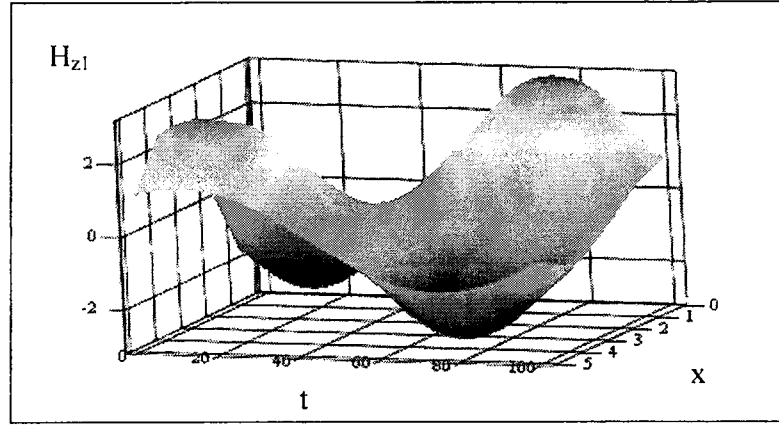
HZ1

(c) $b=2\lambda_1$, $x \in (0, b)$ metre, $t \in (0, 1)$ saniye



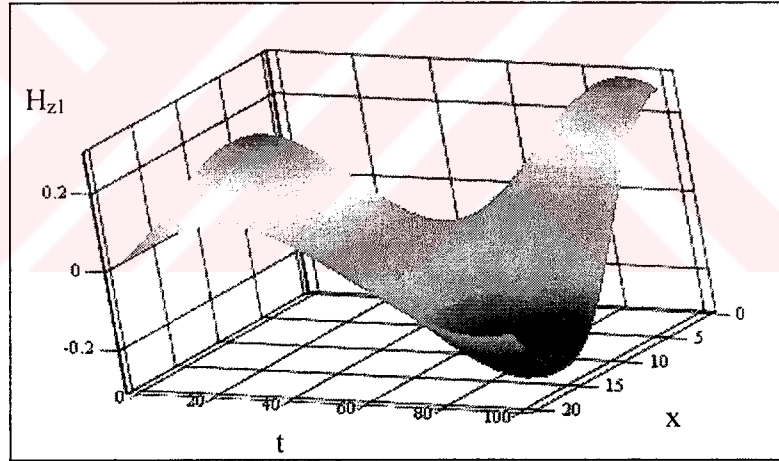
HZ1

(d) $b=\lambda_2$, $x \in (0, b)$ metre, $t \in (0, 1)$ saniye



HZ1

(e) $b=\lambda_2/2$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,1)$ saniye

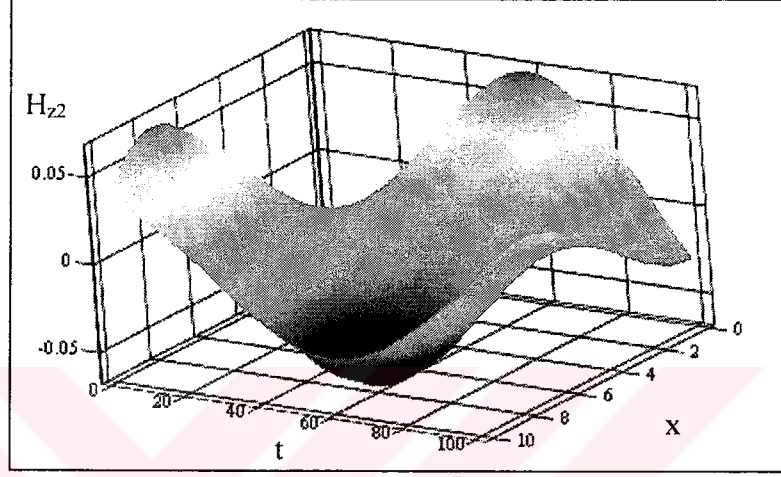


HZ1

(f) $b=2\lambda_2$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,1)$ saniye

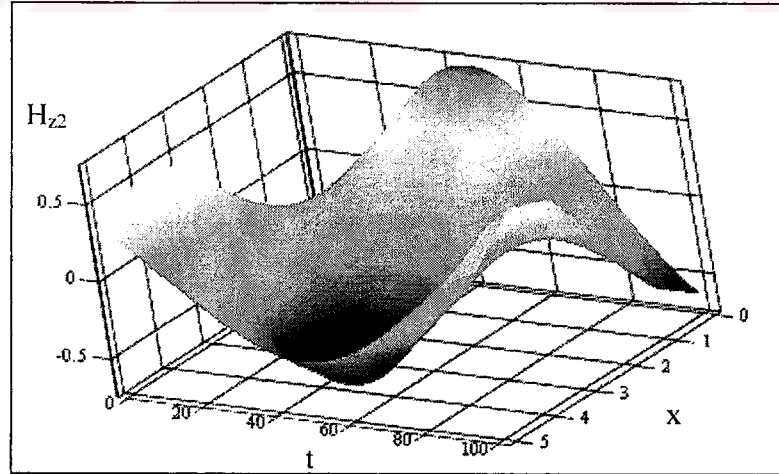
Şekil 5.11 1. Bölgedeki magnetik alanın z bileşenin 40 GHz için levhalar arasındaki uzaklık ile değişimleri

Şekil 5.11 dan anlaşılacağı gibi birinci bölgedeki magnetik alanın z bileşeninin levhalar arası uzaklık ile genlik olarak ters orantılı değişim göstermekte. Genlik değişimi ise levhalar arasındaki uzaklığın birinci bölgedeki dalga boyu veya ikinci bölgedeki dalga boyu olarak alınması ile ilgisi yoktur, dalga boyunun yarısı alındığında bu değişim gözlenebilmektedir. Yine dalga boyunun yarısı alındığında faz ötelenmesi görülmektedir.



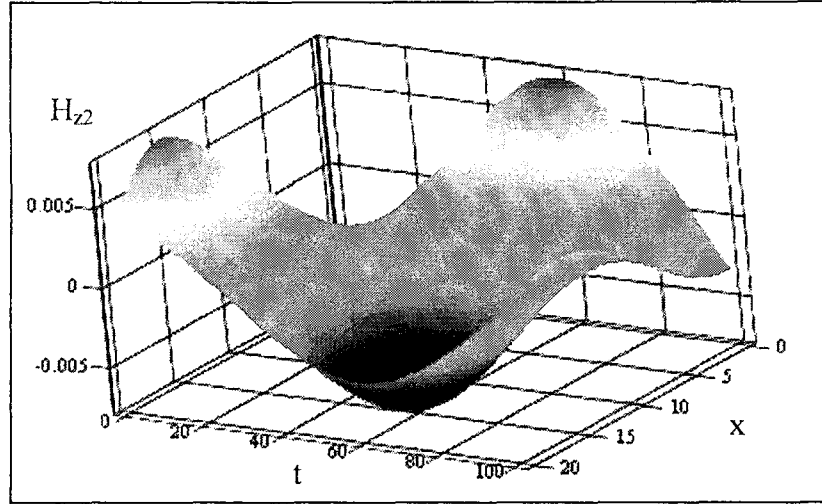
HZ2

(a) $b=\lambda_1$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,1)$ saniye



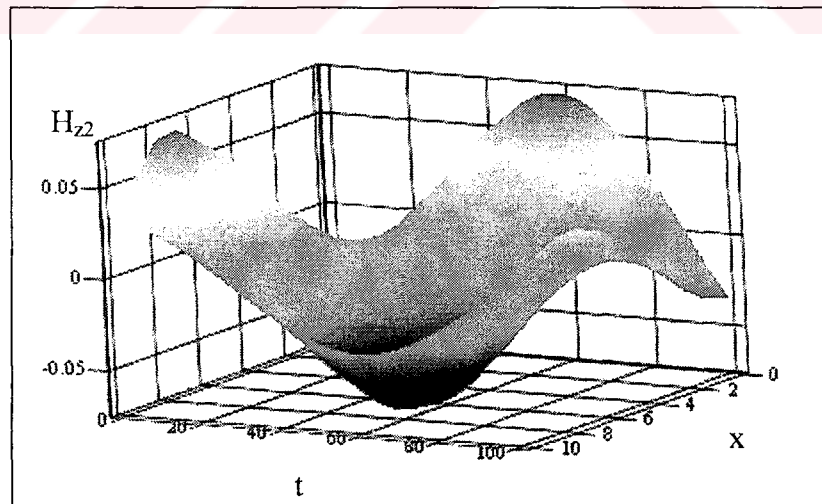
HZ2

(b) $b=\lambda_1/2$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,1)$ saniye



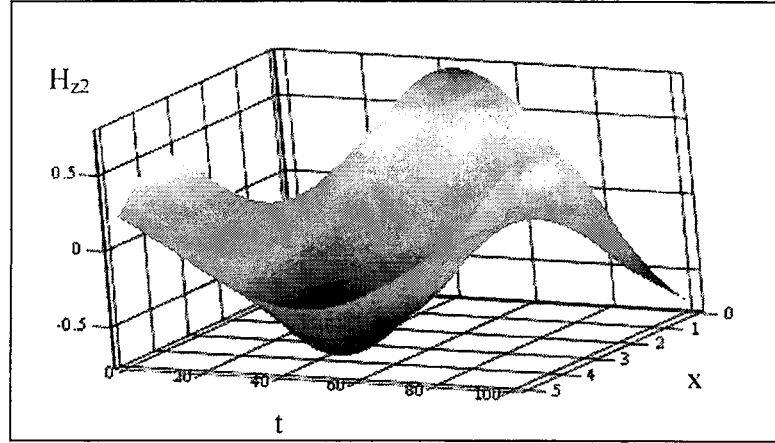
HZ2

(c) $b=2\lambda_1$, $x \in (0, b)$ metre, $t \in (0, 1)$ saniye



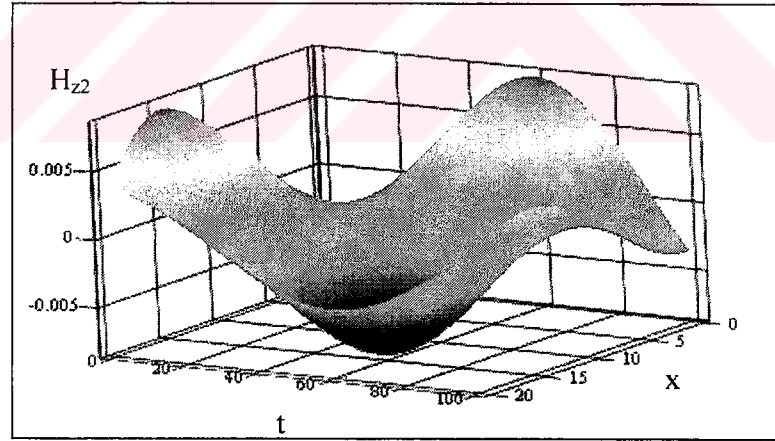
HZ2

(d) $b=\lambda_2$, $x \in (0, b)$ metre, $t \in (0, 1)$ saniye



HZ2

(e) $b=\lambda_2/2$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,1)$ saniye



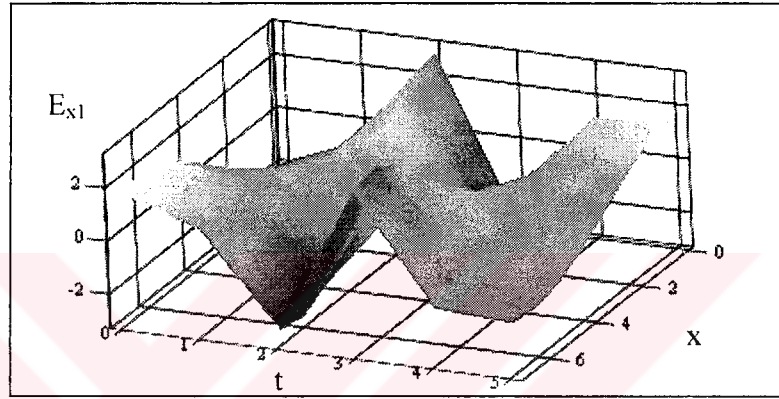
HZ2

(f) $b=2\lambda_2$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,1)$ saniye

Şekil 5.12 2. Bölgedeki magnetik alanın z bileşenin 40 GHz için levhalar arasındaki uzaklık ile değişimleri

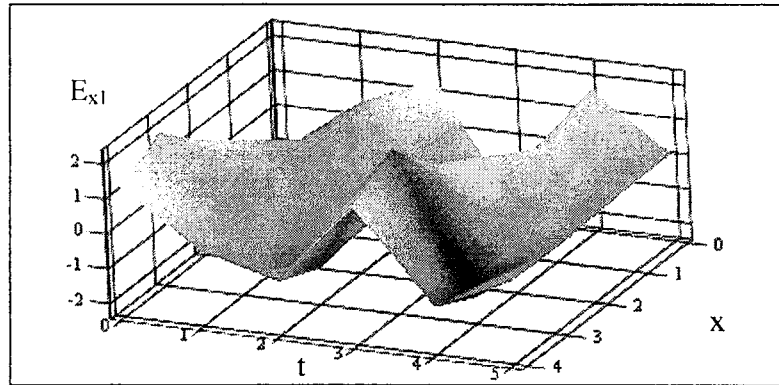
Şekil 5.12 den anlaşılacağı gibi ikinci bölgedeki magnetik alanın z bileşeninin levhalar arası uzaklık ile genlik olarak ters orantılı değişim göstermekte. Genlik değişimi ise levhalar arasındaki uzaklığın birinci bölgedeki dalga boyu veya ikinci bölgedeki dalga boyu olarak alınması ile ilgisi yoktur, dalga boyunun yarısı alındığında bu değişim gözlenebilmektedir. Yine dalga boyunun yarısı alındığında faz ötelenmesi görülmektedir.

45Ghz için levhalar arasındaki uzaklık (b) 1. bölgedeki dalga boyu ve 2. bölgedeki dalga boyu daha sonra bu değerlerin katları alınarak sayısal sonuçlar elde edilmiş ve aşağıda bu sonuçları irdelenmiştir.



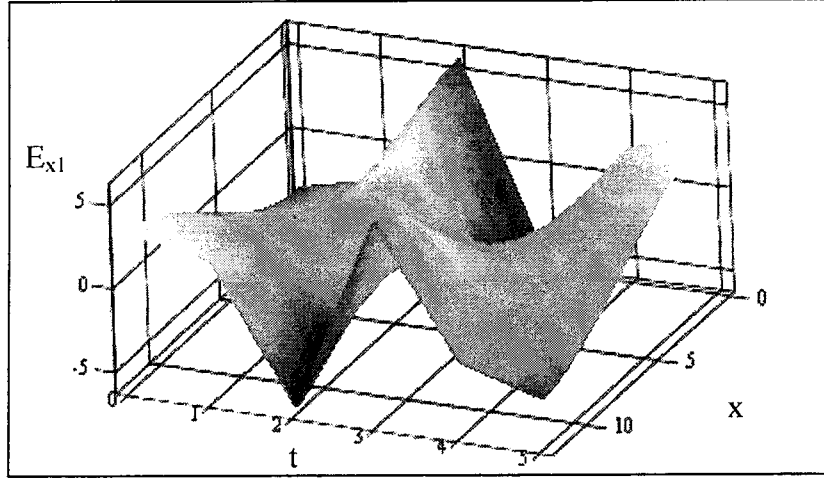
EX1

(a) $b=\lambda_1$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,0.05)$ saniye



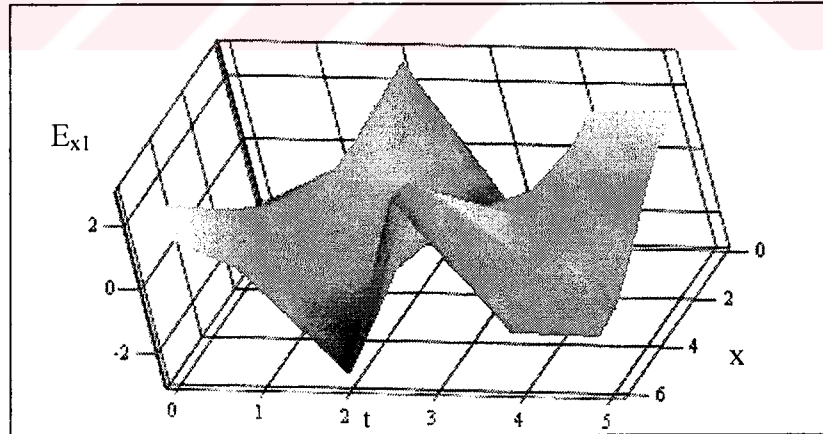
EX1

(b) $b=\lambda_1/2$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,0.05)$ saniye



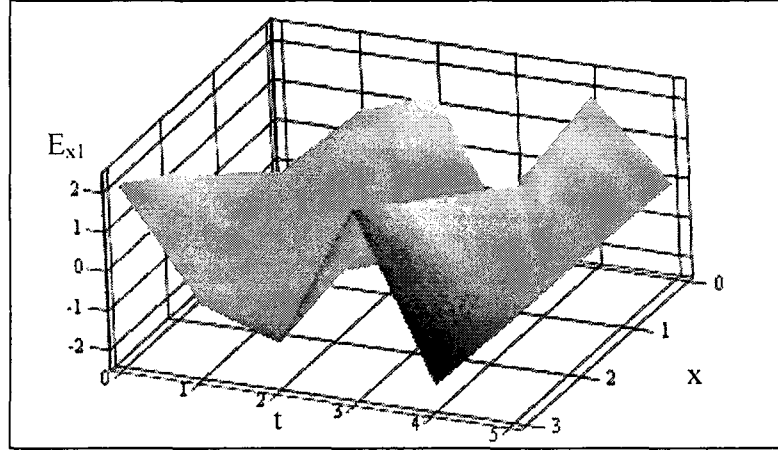
EX1

(c) $b=2\lambda_1$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,0.05)$ saniye



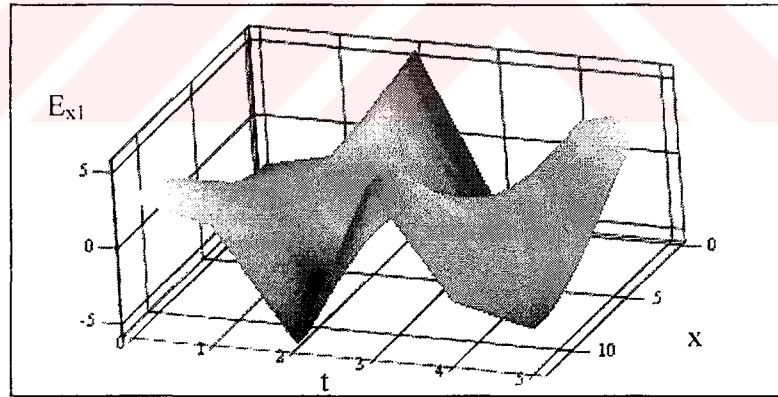
EX1

(d) $b=\lambda_2$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,0.05)$ saniye



EX1

(e) $b=\lambda_2/2$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,0.05)$ saniye

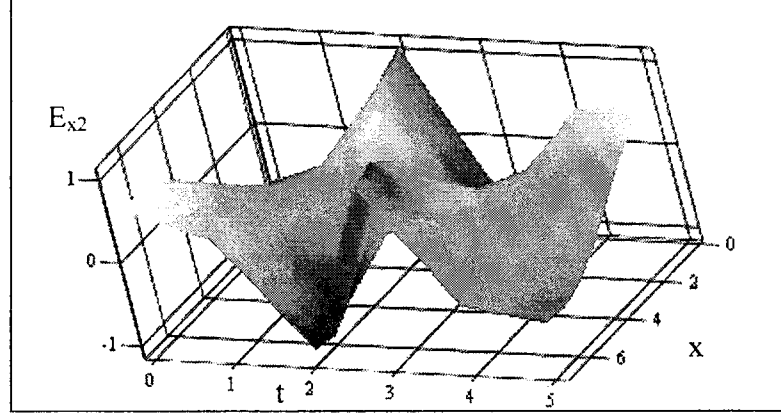


EX1

(f) $b=2\lambda_2$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,0.05)$ saniye

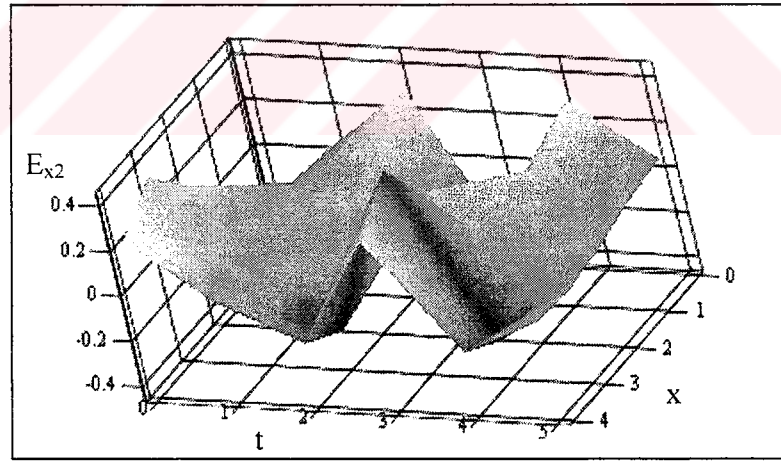
Şekil 5.13 1. Bölgedeki elektrik alanın x bileşenin 45 GHz için levhalar arasındaki uzaklık ile değişimleri

Şekil 5.13 den anlaşılacağı gibi birinci bölgedeki elektrik alanın x bileşeninin levhalar arası uzaklık ile genlik değişim göstermekte. Uzaklık dalga boyunun yarısı alındığında faz ötelenmesi görülmektedir. Aynı ilişkiler ikinci bölgedeki dalga boyu değeri için de geçerlidir.



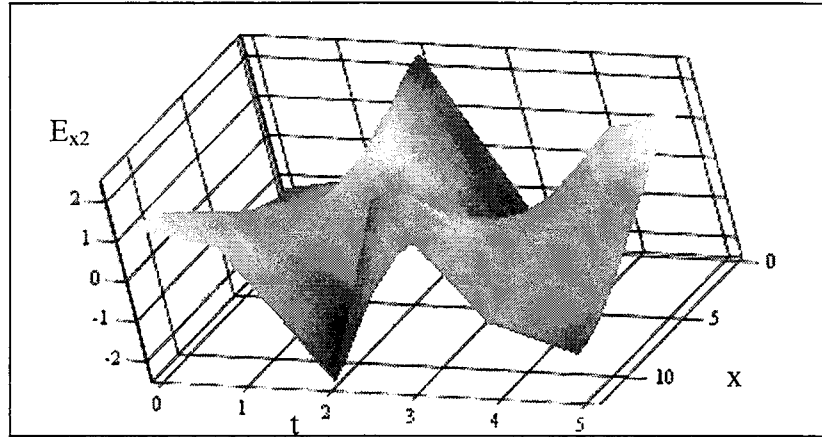
EX2

(a) $b=\lambda_1$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,0.05)$ saniye



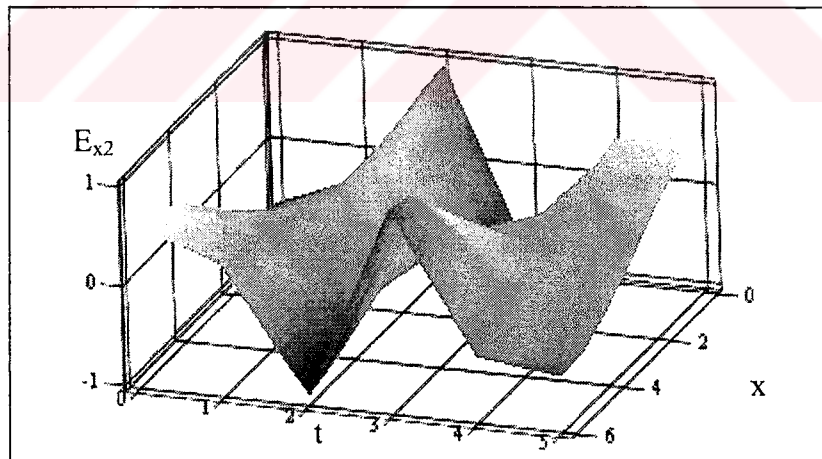
EX2

(b) $b=\lambda_1/2$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,0.05)$ saniye



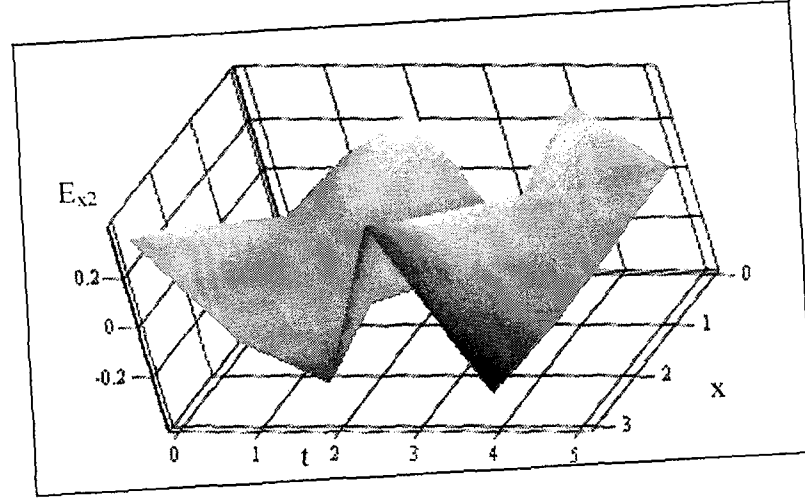
EX2

(c) $b=2\lambda_1$, $x \in (0, b)$ metre, $t \in (0, 0.05)$ saniye



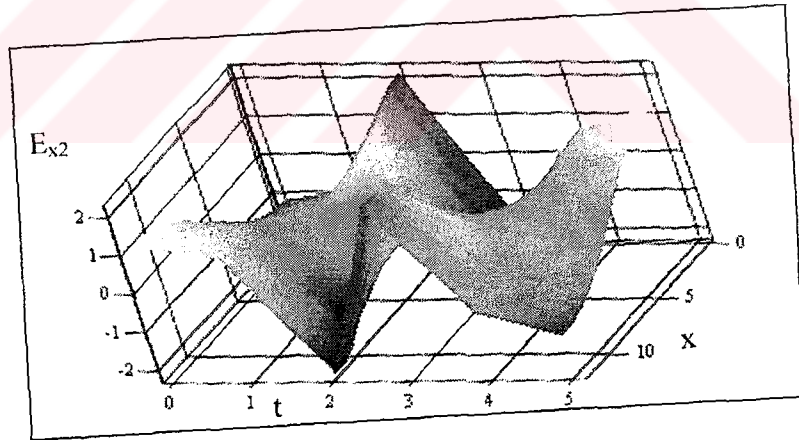
EX2

(d) $b=\lambda_2$, $x \in (0, b)$ metre, $t \in (0, 0.05)$ saniye



EX2

(e) $b = \lambda_2/2$, $x \in (0, b)$ metre, $t \in (0, 0.05)$ saniye

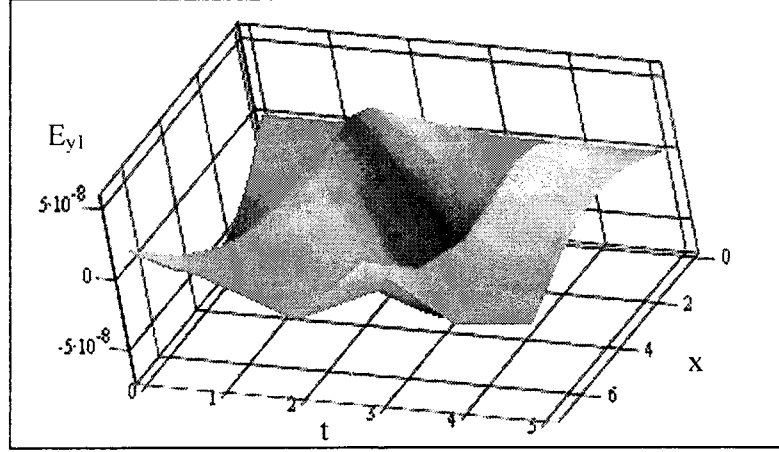


EX2

(f) $b = 2\lambda_2$, $x \in (0, b)$ metre, $t \in (0, 0.05)$ saniye

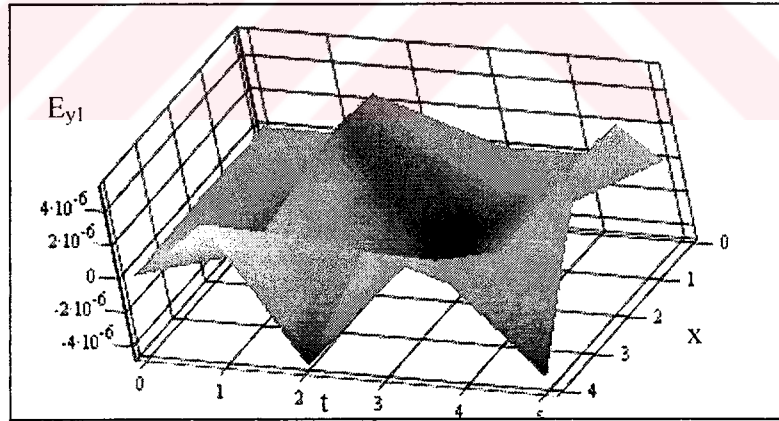
Şekil 5.14 2. Bölgedeki elektrik alanın x bileşenin 45 GHz için levhalar arasındaki uzaklık ile değişimleri

Şekil 5.14 den anlaşılacağı gibi ikinci bölgedeki elektrik alanın x bileşeninin levhalar arası uzaklık ile genlik olarak doğru orantılı değişim göstermekte. Uzaklık dalga boyunun yarısı alındığında faz ötelenmesi görülmektedir ve bu durum ikinci bölgedeki dalga boyunda da aynen devam etmektedir.



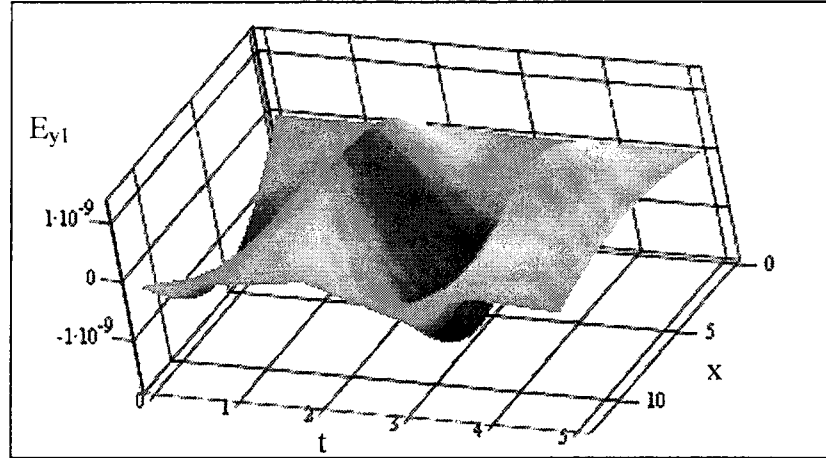
EY1

(a) $b=\lambda_1$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,0.05)$ saniye



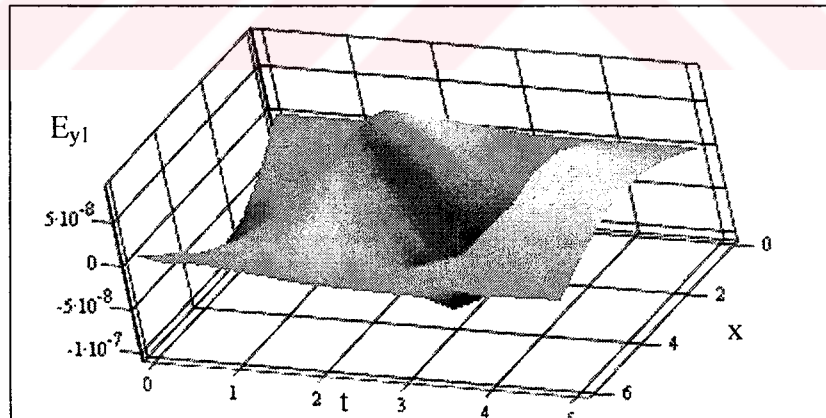
EY1

(b) $b=\lambda_1/2$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,0.05)$ saniye



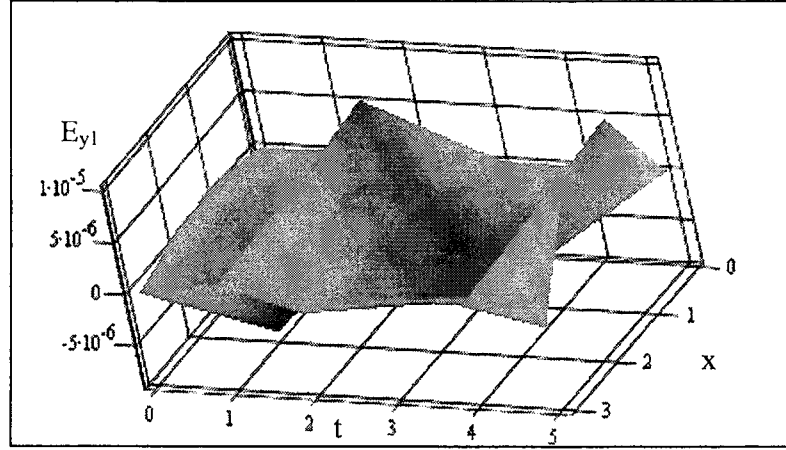
EY1

(c) $b=2\lambda_1$, $x \in (0, b)$ metre, $t \in (0, 0.05)$ saniye



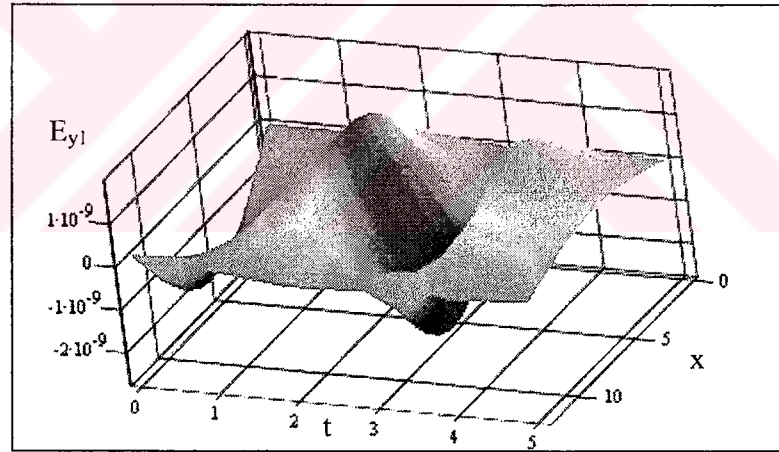
EY1

(d) $b=\lambda_2$, $x \in (0, b)$ metre, $t \in (0, 0.05)$ saniye



EY1

(e) $b=\lambda_2/2$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,0.05)$ saniye

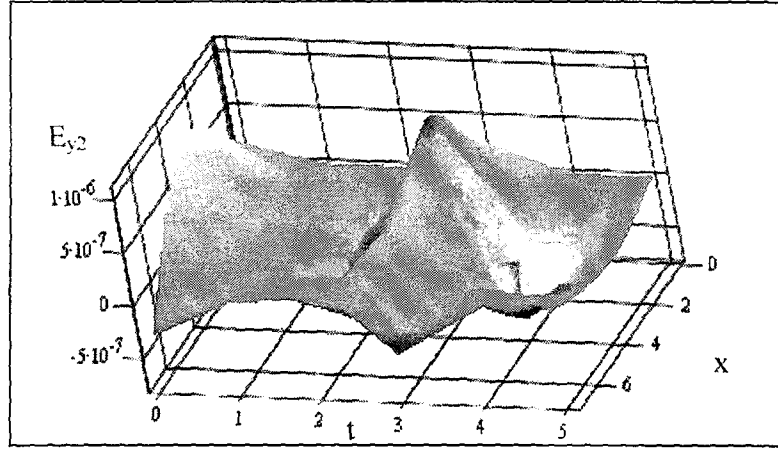


EY1

(f) $b=2\lambda_2$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,0.05)$ saniye

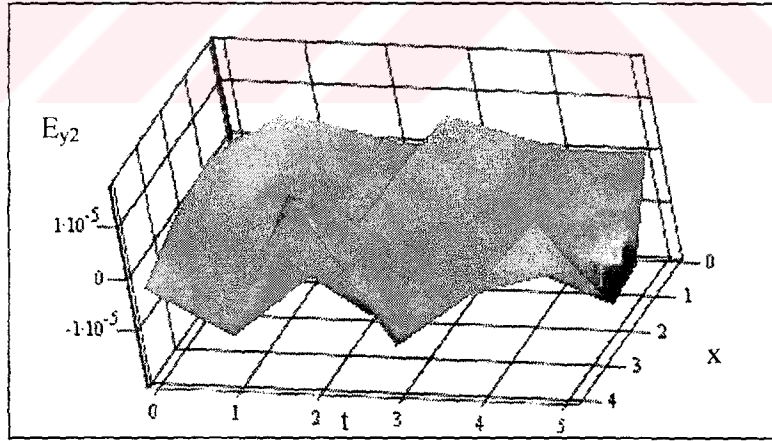
Şekil 5.15 1. Bölgedeki elektrik alanın y bileşenin 45 GHz için levhalar arasındaki uzaklık ile değişimleri

Şekil 5.15 den anlaşılacağı gibi birinci bölgedeki elektrik alanın y bileşeninin levhalar arası uzaklık ile genlik olarak ters orantılı değişim göstermekte. Uzaklık dalga boyunun yarısı alındığında faz ötelenmesi görülmektedir.



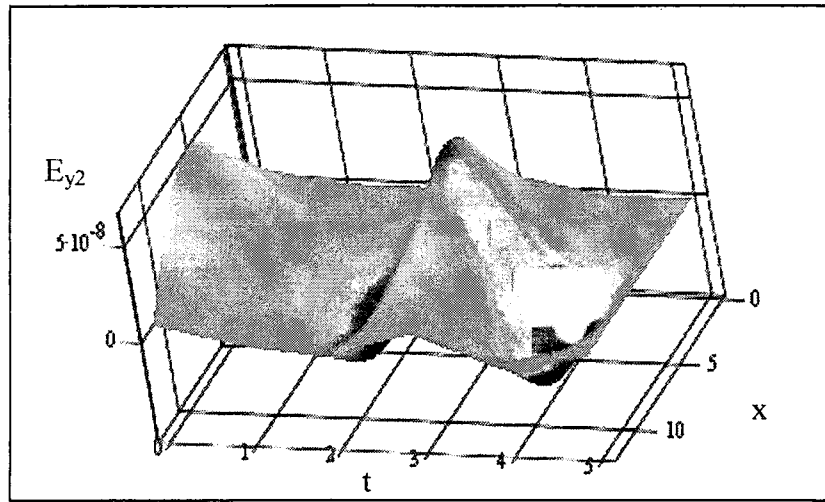
EY2

(a) $b=\lambda_1$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,0.05)$ saniye



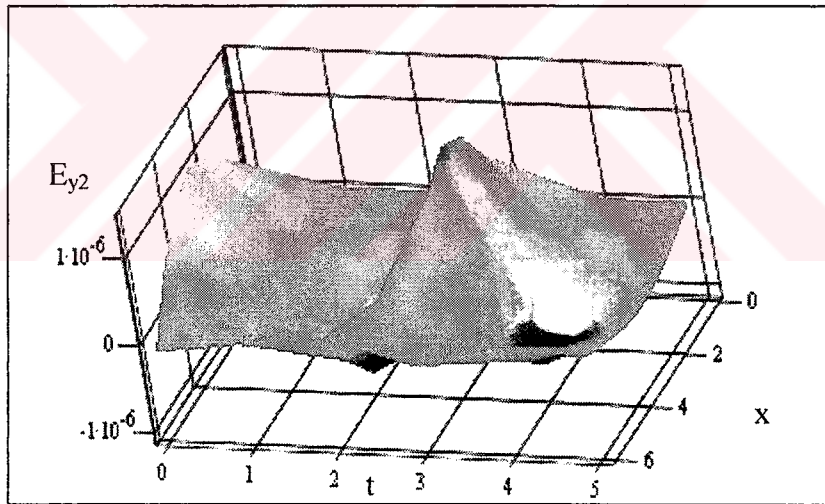
EY2

(b) $b=\lambda_1/2$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,0.05)$ saniye



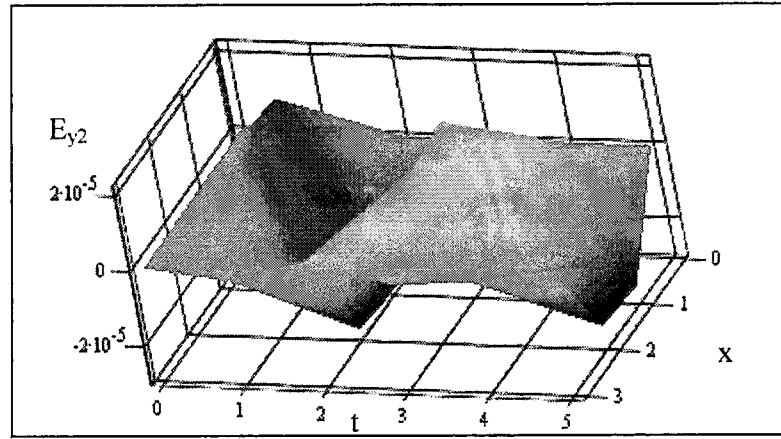
EY2

(c) $b=2\lambda_1$, $x \in (0, b)$ metre, $t \in (0, 0.05)$ saniye



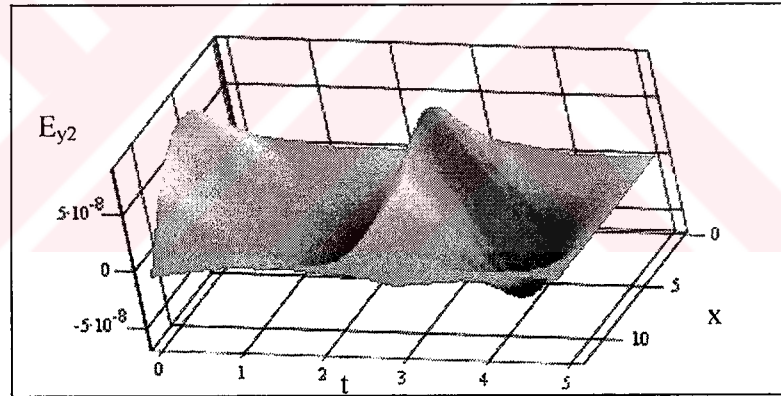
EY2

(d) $b=\lambda_2$, $x \in (0, b)$ metre, $t \in (0, 0.05)$ saniye



EY2

(e) $b=\lambda_2/2$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,0.05)$ saniye

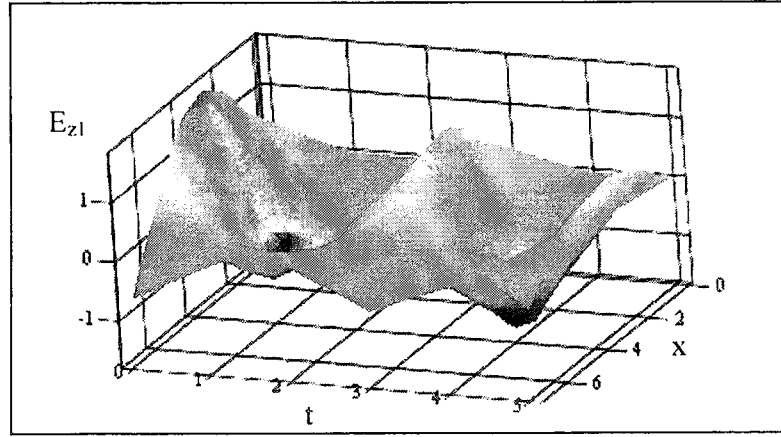


EY2

(f) $b=2\lambda_2$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,0.05)$ saniye

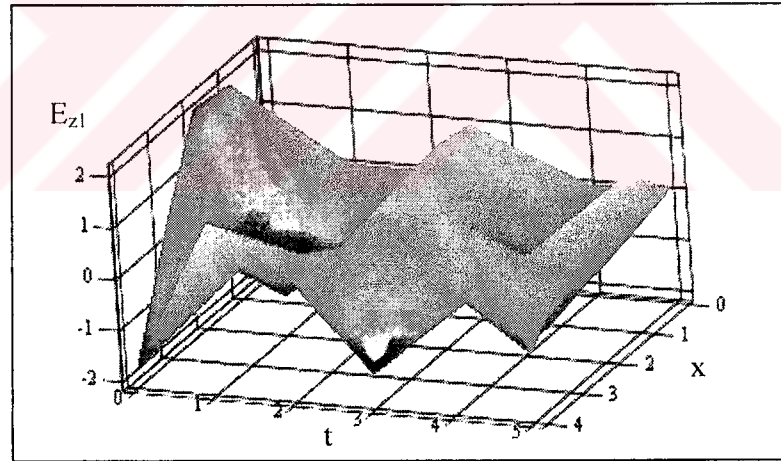
Şekil 5.16 2. Bölgedeki elektrik alanın y bileşenin 45 GHz için levhalar arasındaki uzaklık ile değişimleri

Şekil 5.16 dan anlaşılacağı gibi ikinci bölgedeki elektrik alanın y bileşeninin levhalar arası uzaklık ile genlik olarak ters orantılı değişim göstermekte. Uzaklık dalga boyunun yarısı alındığında faz ötelenmesi görülmektedir.



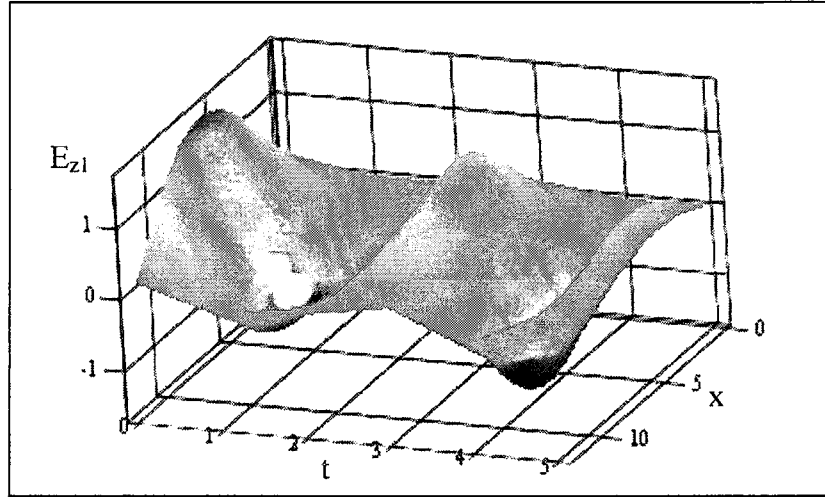
EZ1

(a) $b=\lambda_1$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,0.05)$ saniye



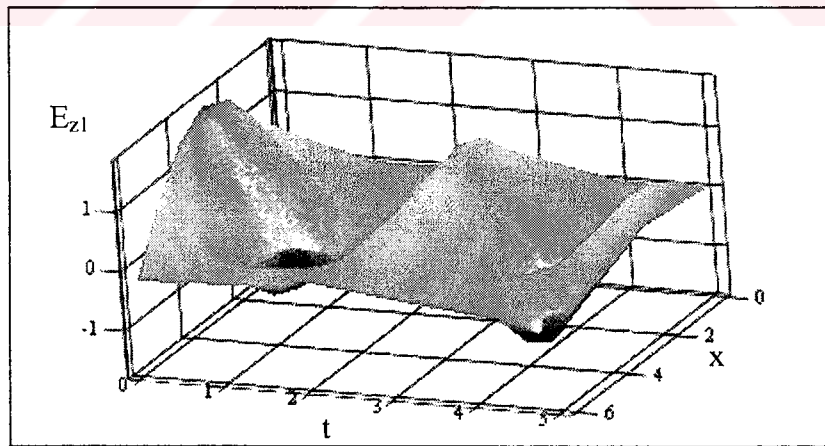
EZ1

(b) $b=\lambda_1/2$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,0.05)$ saniye



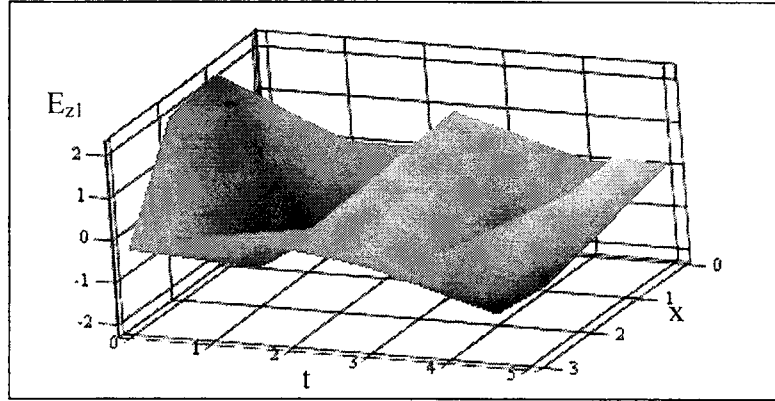
EZ1

(c) $b=2\lambda_1$, $x \in (0, b)$ metre, $t \in (0, 0.05)$ saniye



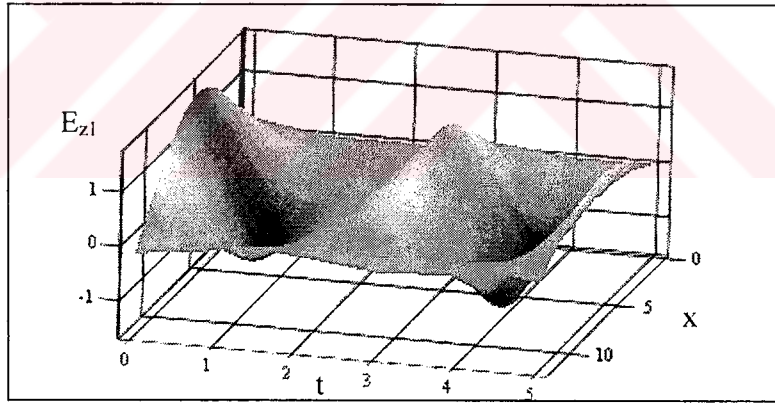
EZ1

(d) $b=\lambda_2$, $x \in (0, b)$ metre, $t \in (0, 0.05)$ saniye



EZ1

(e) $b=\lambda_2/2$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,0.05)$ saniye

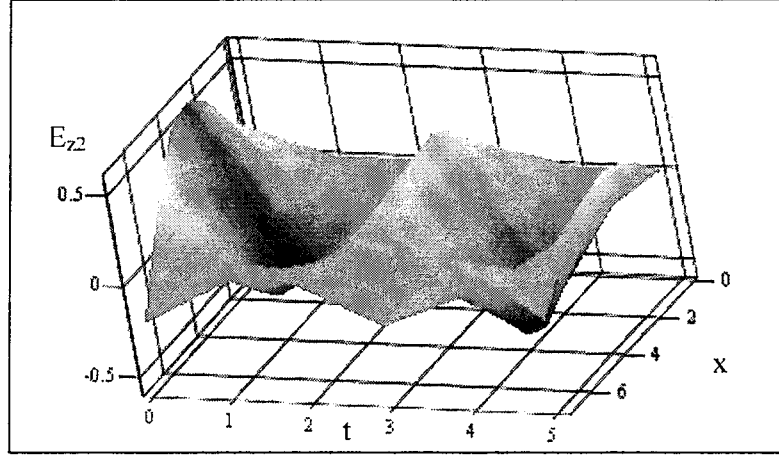


EZ1

(f) $b=2\lambda_2$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,0.05)$ saniye

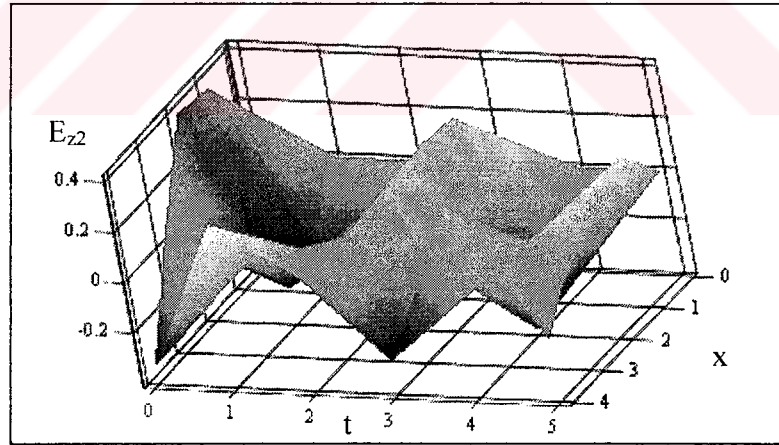
Şekil 5.17 1. Bölgedeki elektrik alanın z bileşenin 45 GHz için levhalar arasındaki uzaklık ile değişimleri

Şekil 5.17 den anlaşılacağı gibi birinci bölgedeki elektrik alanının z bileşeninin levhalar arası uzaklık dalga boyunun yarısı olarak alındığında genlik değişimi görülmektedir. Uzaklık değişimlerinde herhangi bir faz ötelenmesi olmamakta ve bu durum ikinci bölgedeki dalga boyu değerlerinde de geçerli olmaktadır.



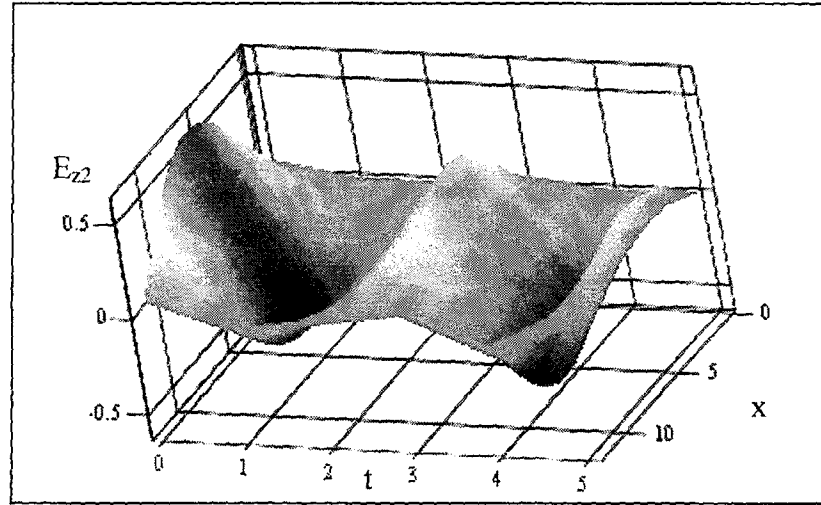
EZ2

(a) $b=\lambda_1$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,0.05)$ saniye



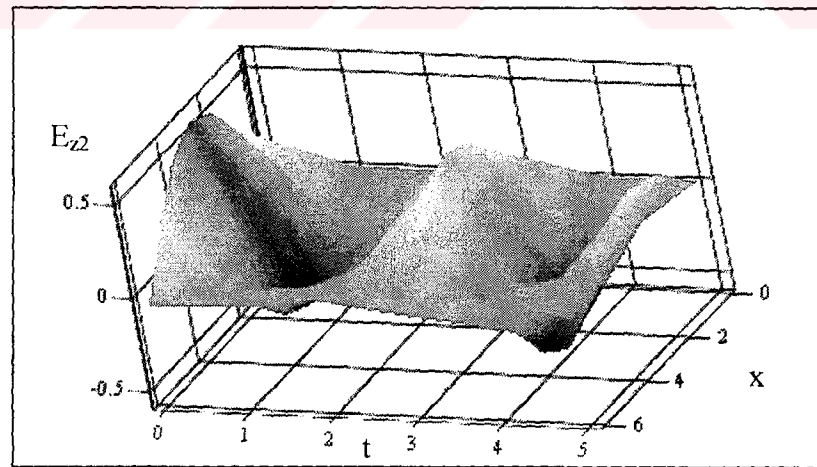
EZ2

(b) $b=\lambda_1/2$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,0.05)$ saniye



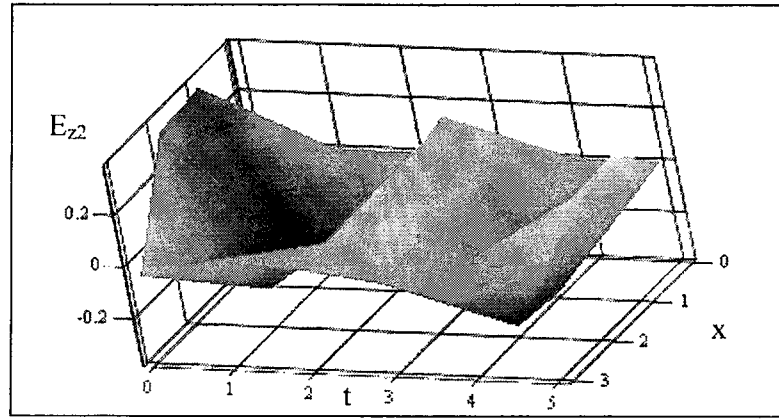
EZ2

(c) $b=2\lambda_1$, $x \in (0, b)$ metre, $t \in (0, 0.05)$ saniye



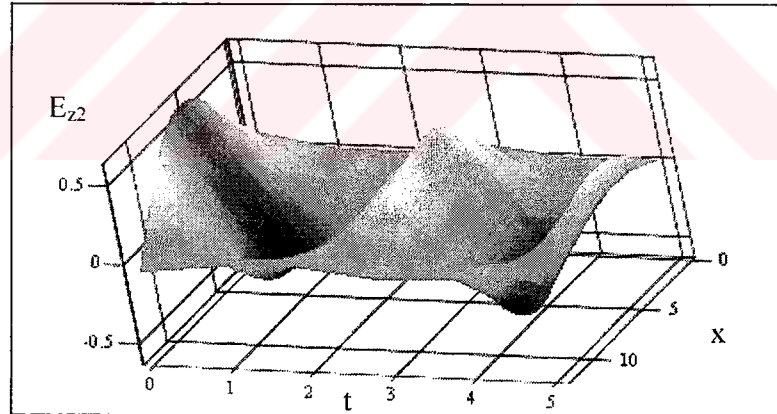
EZ2

(d) $b=\lambda_2$, $x \in (0, b)$ metre, $t \in (0, 0.05)$ saniye



EZ2

(e) $b=\lambda_2/2$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,0.05)$ saniye

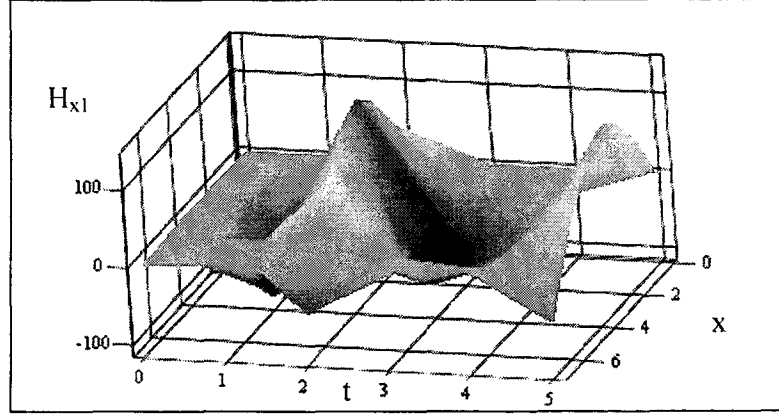


EZ2

(f) $b=2\lambda_2$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,0.05)$ saniye

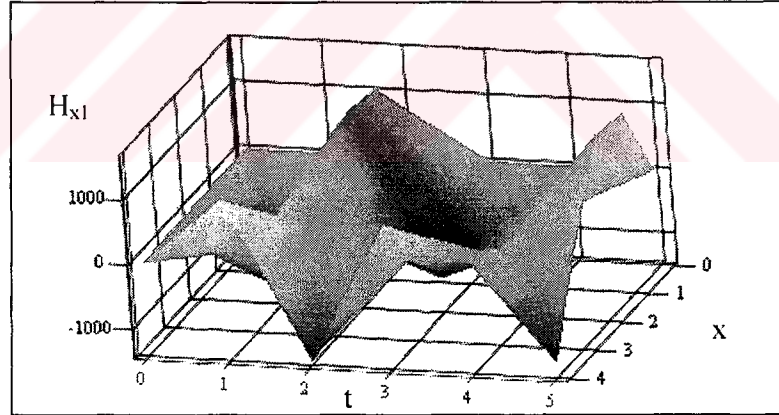
Şekil 5.18 2. Bölgedeki elektrik alanın z bileşenin 45 GHz için levhalar arasındaki uzaklık ile değişimleri

Şekil 5.18 den anlaşılacağı gibi ikinci bölgedeki elektrik alanın z bileşeninin levhalar arası uzaklık dalga boyunun yarısı olarak alındığında genlik değişimi görülmektedir. Uzaklık değişimlerinde herhangi bir faz ötelenmesi olmamakta ve bu durum ikinci bölgedeki dalga boyu değerlerinde de geçerli olmaktadır.



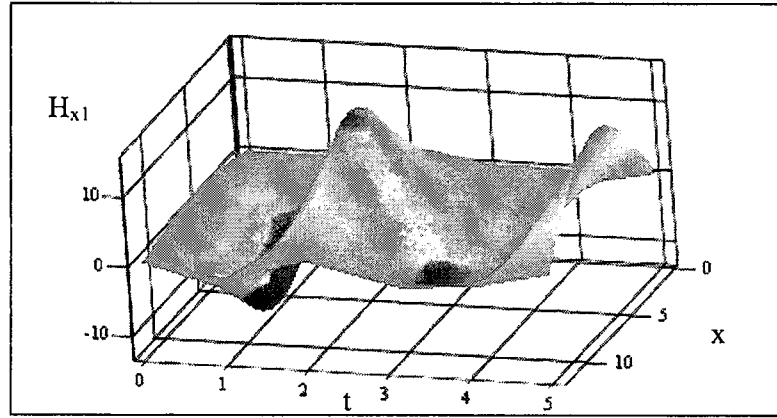
HX1

(a) $b=\lambda_1$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,0.05)$ saniye



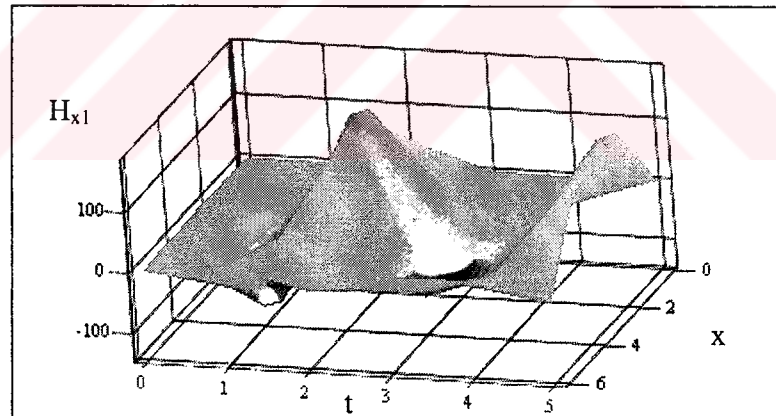
HX1

(b) $b=\lambda_1/2$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,0.05)$ saniye



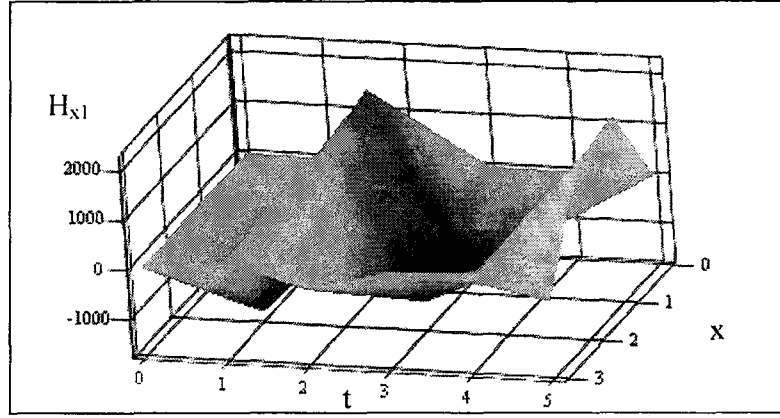
HX1

(c) $b=2\lambda_1$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,0.05)$ saniye



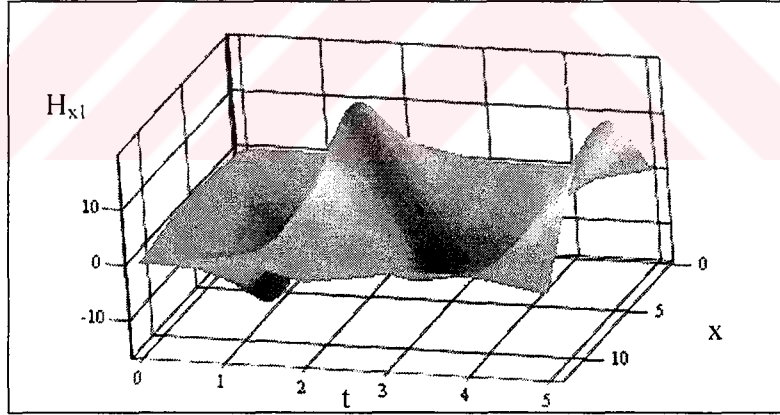
HX1

(d) $b=\lambda_2$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,0.05)$ saniye



HX1

(e) $b=\lambda_2/2$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,0.05)$ saniye

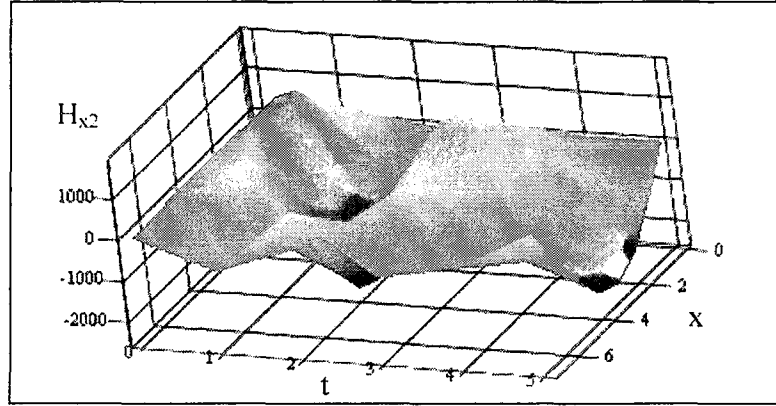


HX1

(f) $b=2\lambda_2$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,0.05)$ saniye

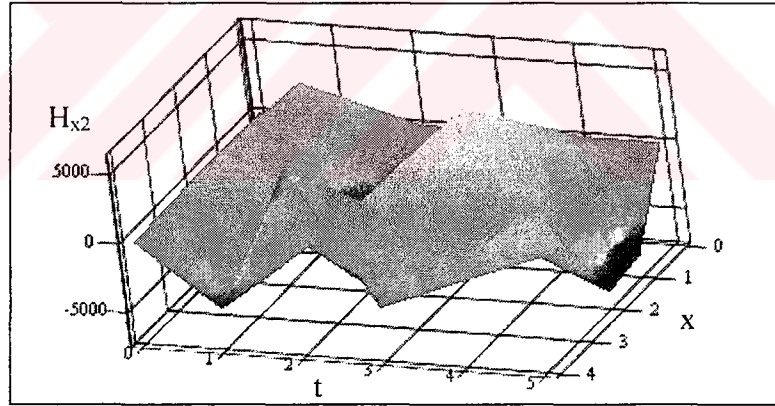
Şekil 5.19 1. Bölgedeki magnetik alanın x bileşenin 45 GHz için levhalar arasındaki uzaklık ile değişimleri

Şekil 5.19 dan anlaşılacağı gibi birinci bölgedeki magnetik alanın x bileşeninin levhalar arası uzaklık birinci bölgedeki dalga boyu ve katları veya ikinci bölgedeki dalga boyu ve katları alındığında genlik ters orantılı değişim göstermektedir. Herhangi bir faz değişimi ise görülmemektedir.



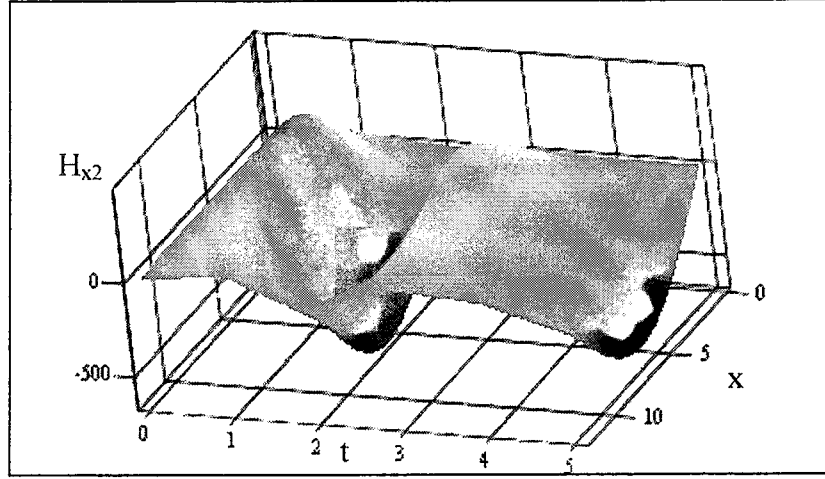
HX2

(a) $b=\lambda_1$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,0.05)$ saniye



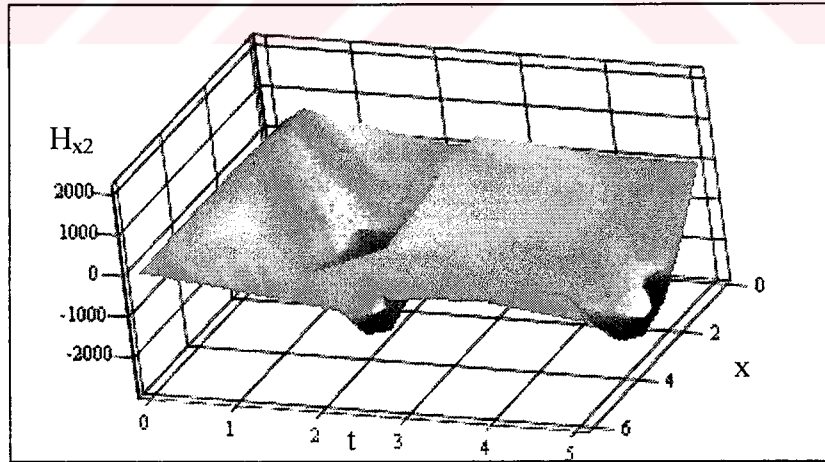
HX2

(b) $b=\lambda_1/2$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,0.05)$ saniye



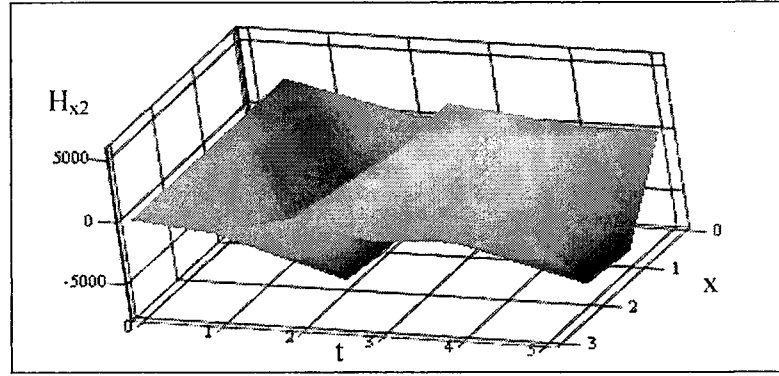
HX2

(c) $b=2\lambda_1$, $x \in (0, b)$ metre, $t \in (0, 0.05)$ saniye



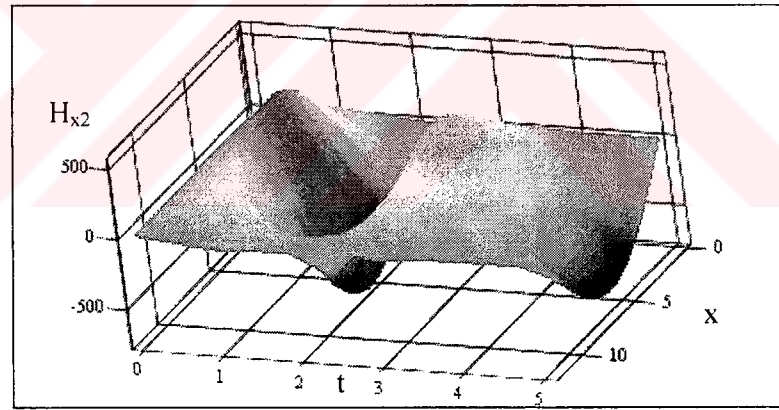
HX2

(d) $b=\lambda_2$, $x \in (0, b)$ metre, $t \in (0, 0.05)$ saniye



HX2

(e) $b=\lambda_2/2$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,0.05)$ saniye

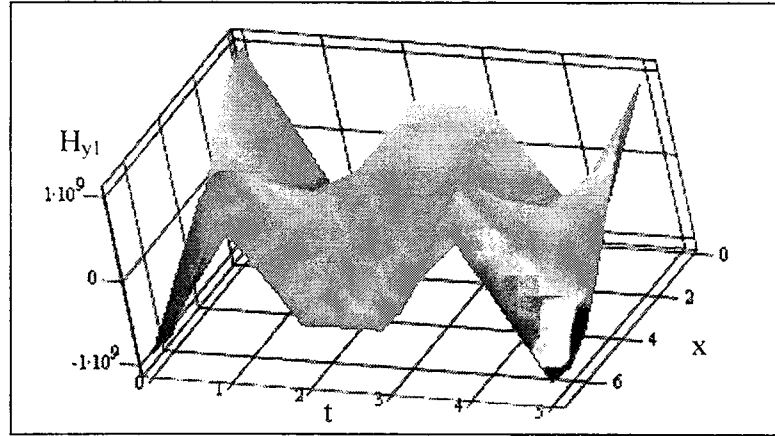


HX2

(f) $b=2\lambda_2$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,0.05)$ saniye

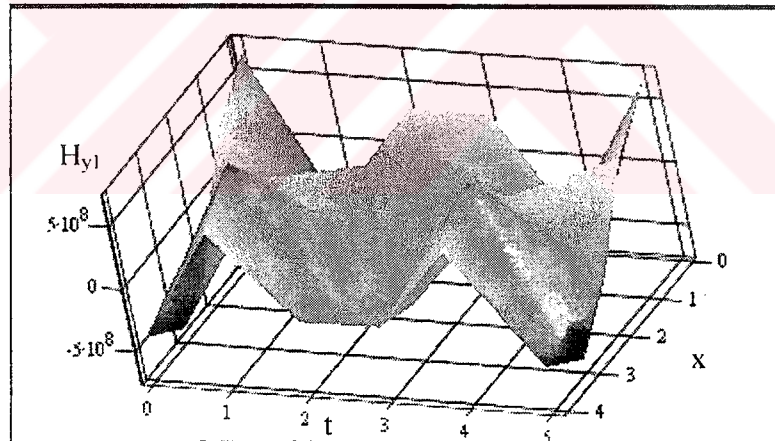
Şekil 5.20 2. Bölgedeki magnetik alanın x bileşenin 45 GHz için levhalar arasındaki uzaklık ile değişimleri

Şekil 5.20 den anlaşılacağı gibi ikinci bölgedeki magnetik alanın x bileşeninin levhalar arası uzaklık ile genlik olarak ters orantılı değişim göstermektedir. Herhangi bir faz değişimi ise görülmemektedir.



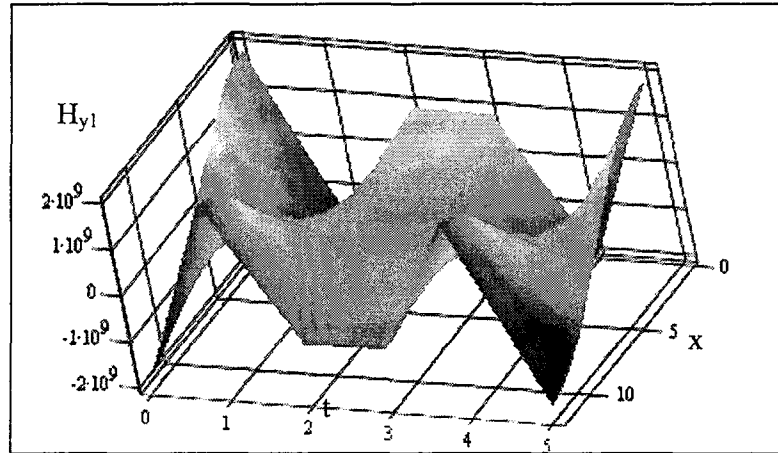
HY1

(a) $b=\lambda_1$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,0.05)$ saniye



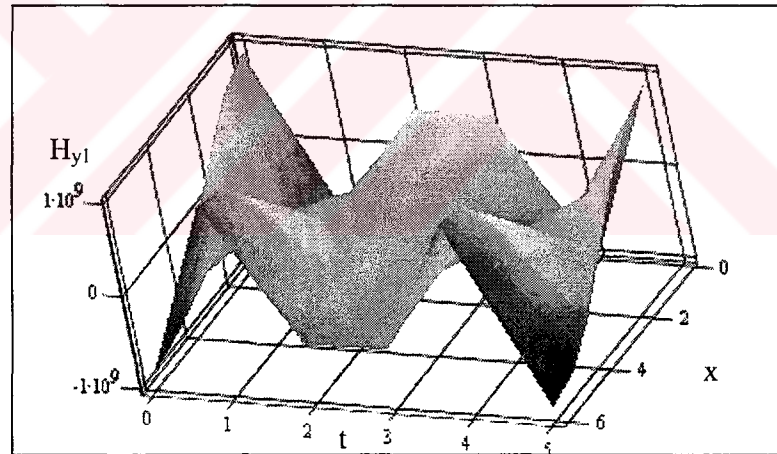
HY1

(b) $b=\lambda_1/2$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,0.05)$ saniye



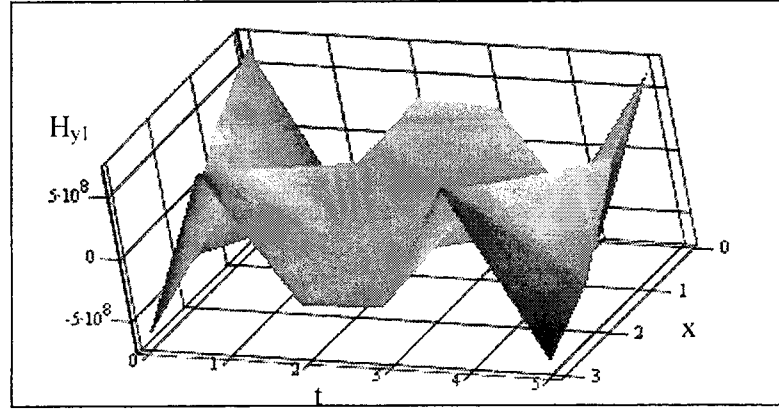
HY1

(c) $b=2\lambda_1$, $x \in (0, b)$ metre, $t \in (0, 0.05)$ saniye



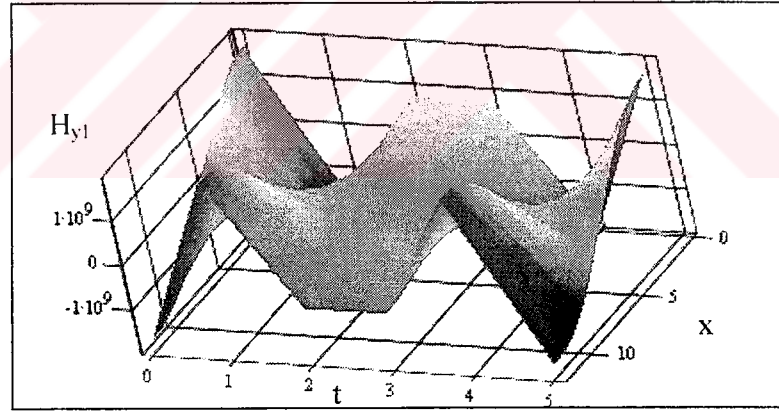
HY1

(d) $b=\lambda_2$, $x \in (0, b)$ metre, $t \in (0, 0.05)$ saniye



HY1

(e) $b=\lambda_2/2$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,0.05)$ saniye

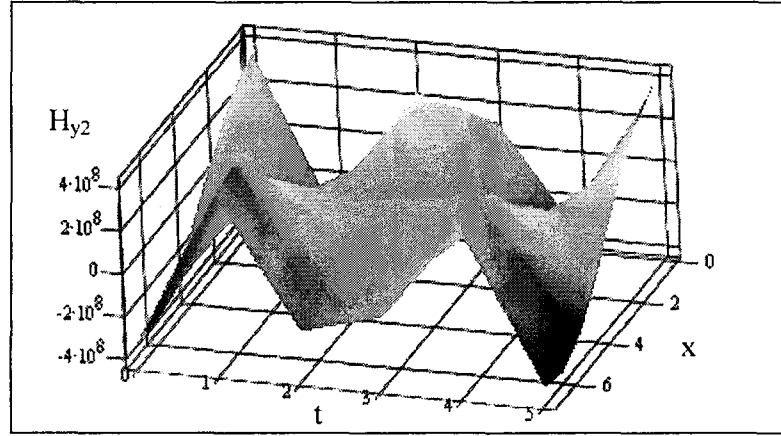


HY1

(f) $b=2\lambda_2$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,0.05)$ saniye

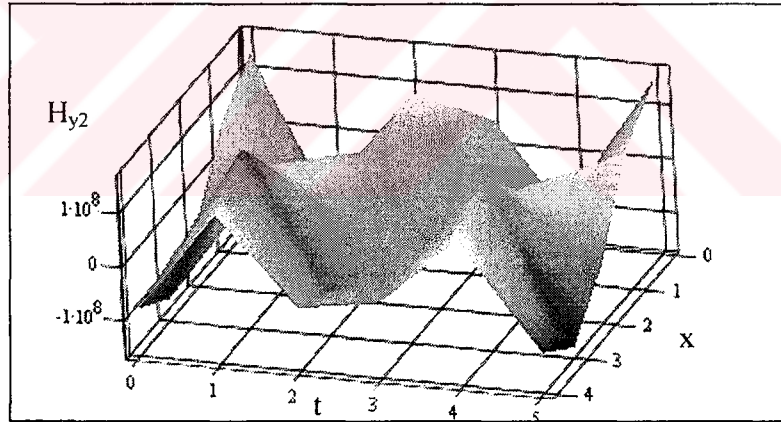
Şekil 5.21 1. Bölgedeki magnetik alanın y bileşenin 45 GHz için levhalar arasındaki uzaklık ile değişimleri

Şekil 5.21 den anlaşılacağı gibi birinci bölgedeki magnetik alanın y bileşeninin levhalar arası uzaklık ile genlik olarak doğru orantılı değişim göstermektedir. Herhangi bir faz ötelenmesi görülmektedir.



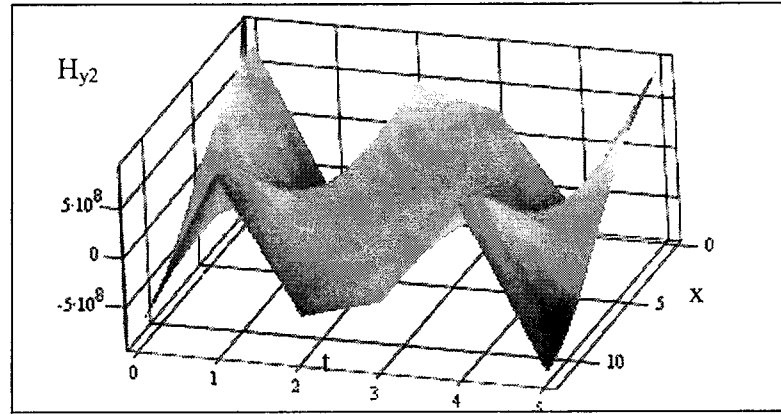
HY2

(a) $b=\lambda_1$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,0.05)$ saniye



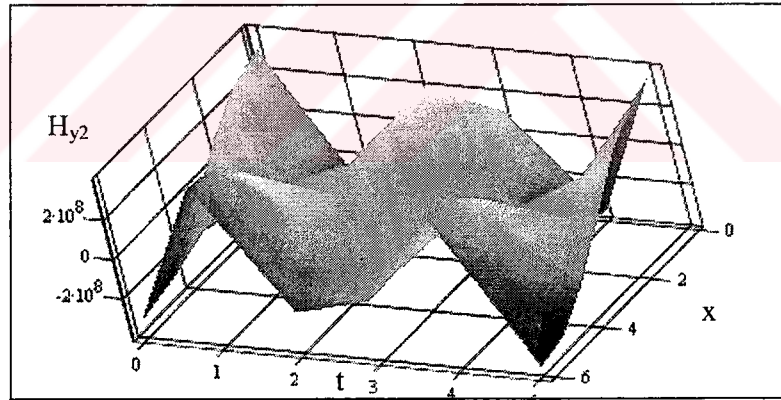
HY2

(b) $b=\lambda_1/2$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,0.05)$ saniye



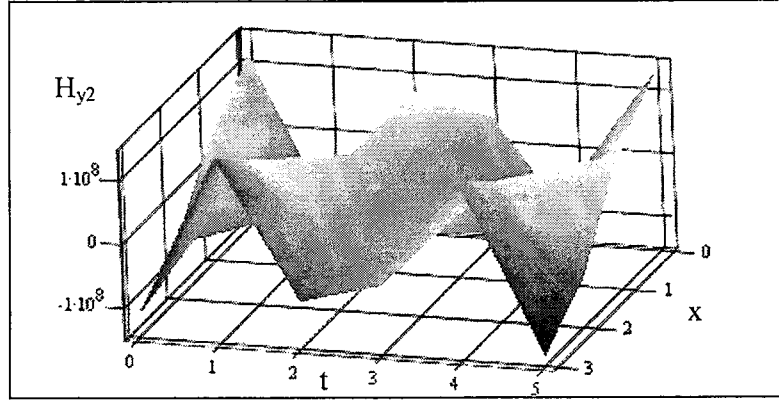
HY2

(c) $b=2\lambda_1$, $x \in (0, b)$ metre, $t \in (0, 0.05)$ saniye



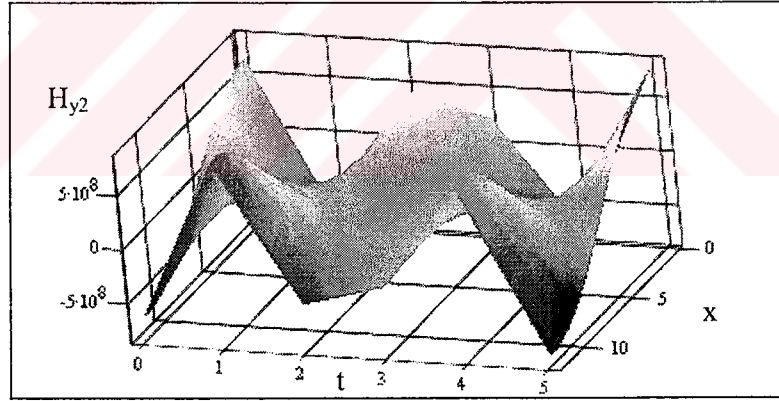
HY2

(d) $b=\lambda_2$, $x \in (0, b)$ metre, $t \in (0, 0.05)$ saniye



HY2

(e) $b=\lambda_2/2$, $x\in(0,b)$ metre, $t\in(0,0.05)$ saniye

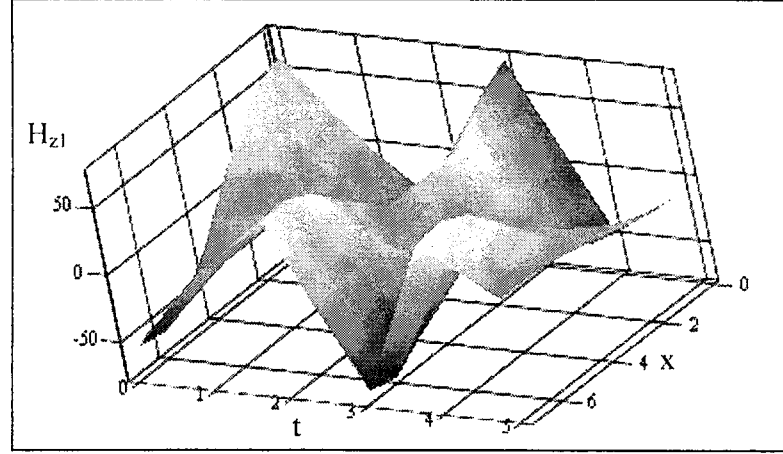


HY2

(f) $b=2\lambda_2$, $x\in(0,b)$ metre, $t\in(0,0.05)$ saniye

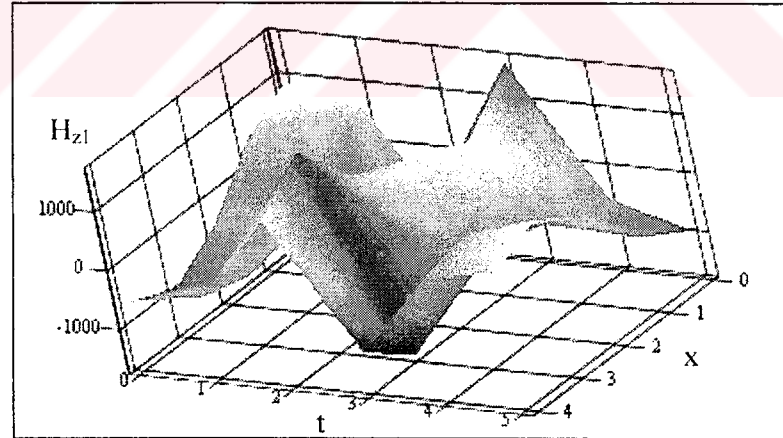
Şekil 5.22 2. Bölgedeki magnetik alanın y bileşenin 45 GHz için levhalar arasındaki uzaklık ile değişimleri

Şekil 5.22 den anlaşılacağı gibi ikinci bölgedeki magnetik alanın y bileşeni birinci bölgede olduğu gibi levhalar arası uzaklık ile genlik olarak doğru orantılı değişim göstermektedir. Faz ötelenmesi görülmektedir.



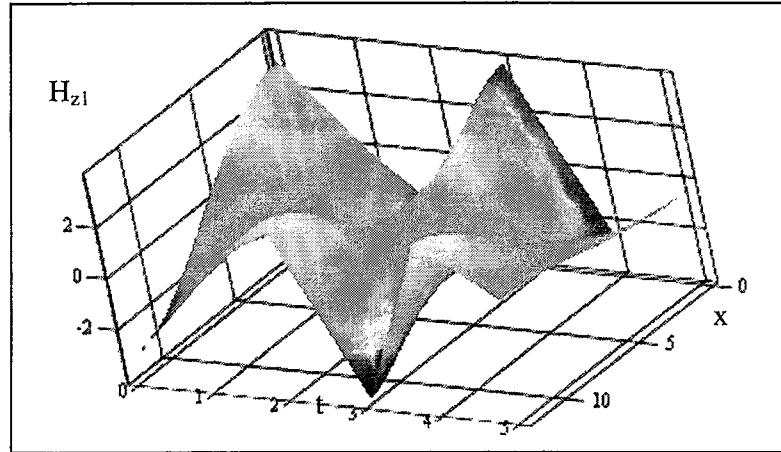
HZ1

(a) $b=\lambda_1$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,0.05)$ saniye



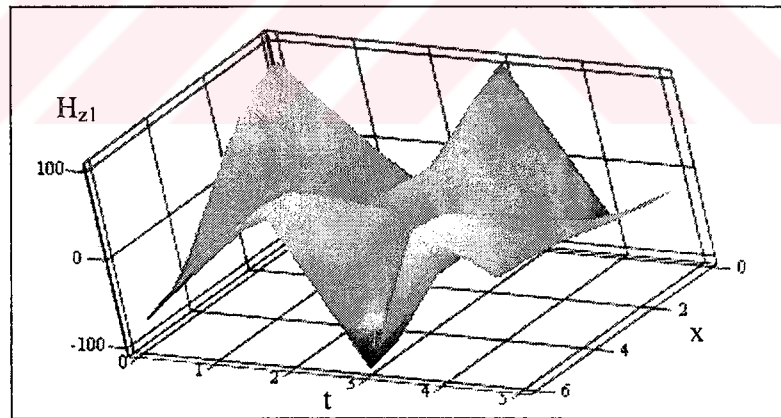
HZ1

(b) $b=\lambda_1/2$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,0.05)$ saniye



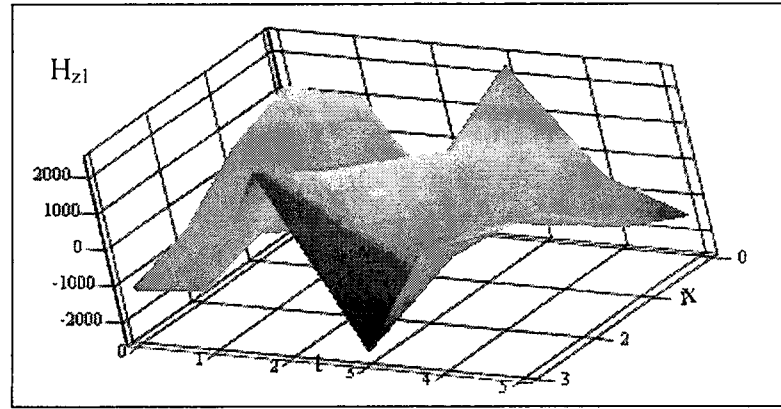
HZ1

(c) $b=2\lambda_1$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,0.05)$ saniye



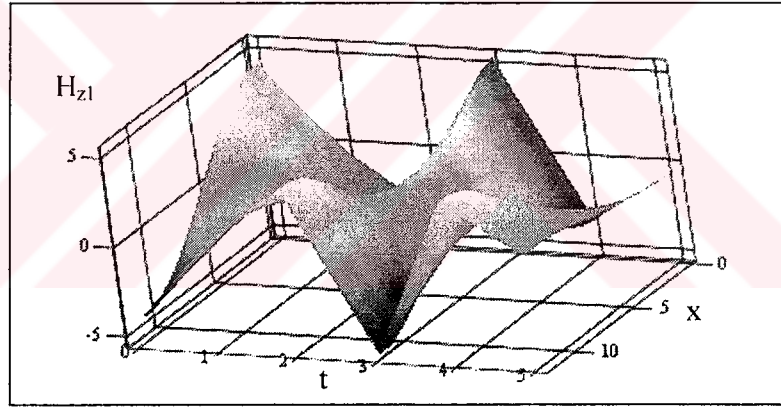
HZ1

(d) $b=\lambda_2$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,0.05)$ saniye



HZ1

(e) $b=\lambda_2/2$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,0.05)$ saniye

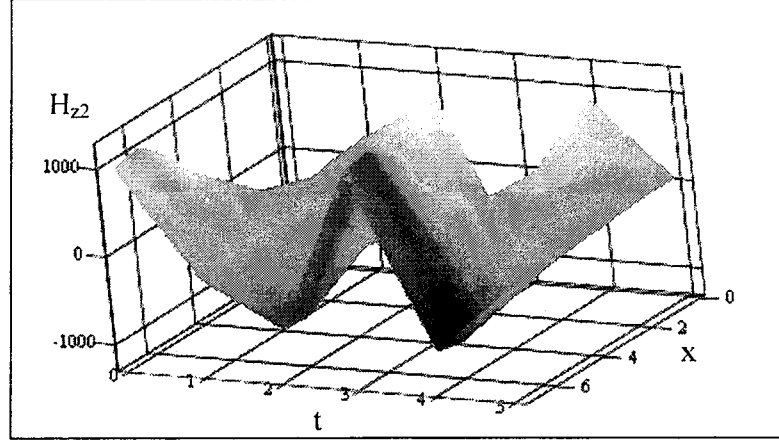


HZ1

(f) $b=2\lambda_2$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,0.05)$ saniye

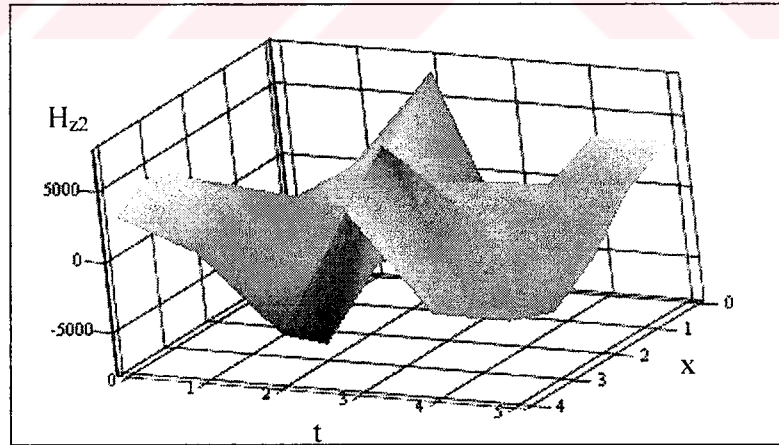
Şekil 5.23 1. Bölgedeki magnetik alanın z bileşenin 45 GHz için levhalar arasındaki uzaklık ile değişimleri

Şekil 5.23 den anlaşılacağı gibi birinci bölgedeki magnetik alanın z bileşeninin levhalar arası uzaklık ile genlik olarak ters orantılı değişim göstermekte. Uzaklık dalga boyunun yarısı alındığında faz ötelenmesi görülmektedir.



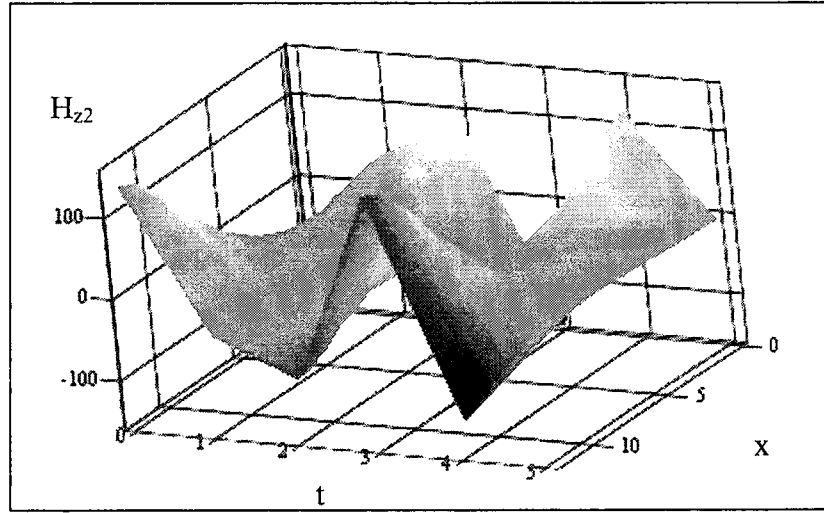
HZ2

(a) $b=\lambda_1$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,0.05)$ saniye



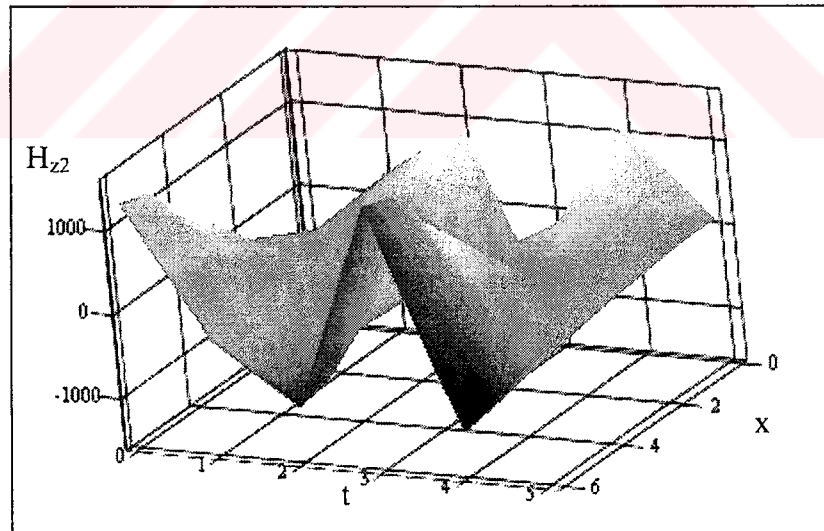
HZ2

(b) $b=\lambda_1/2$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,0.05)$ saniye



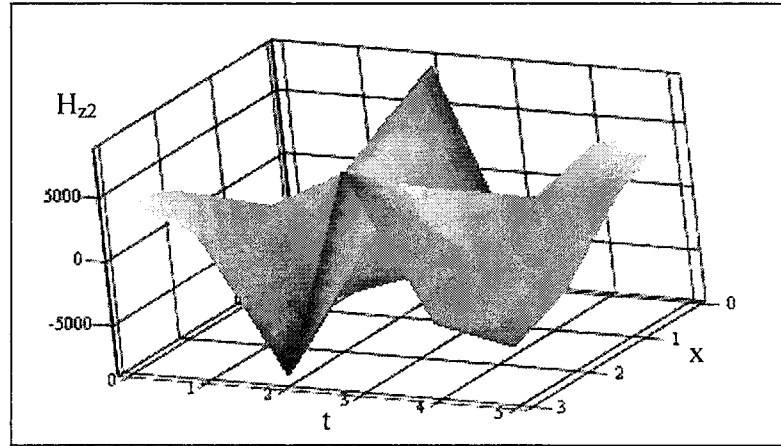
HZ2

(c) $b=2\lambda_1$, $x \in (0, b)$ metre, $t \in (0, 0.05)$ saniye



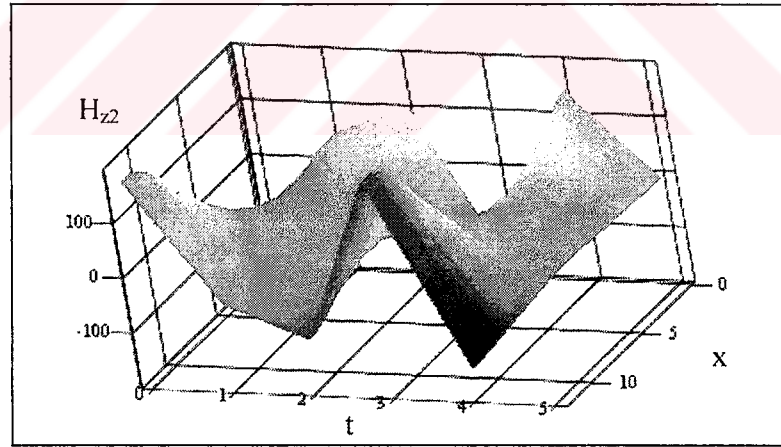
HZ2

(d) $b=\lambda_2$, $x \in (0, b)$ metre, $t \in (0, 0.05)$ saniye



HZ2

(e) $b=\lambda_2/2$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,0.05)$ saniye



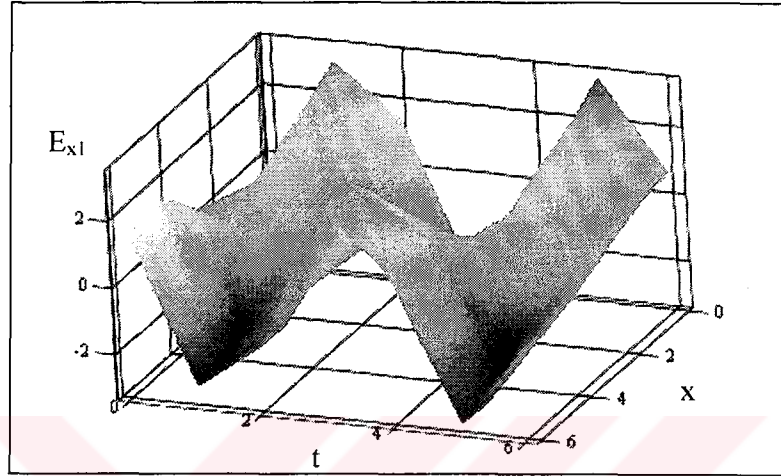
HZ2

(f) $b=2\lambda_2$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,0.05)$ saniye

Şekil 5.24 2. Bölgedeki magnetik alanın z bileşenin 45 GHz için levhalar arasındaki uzaklık ile değişimleri

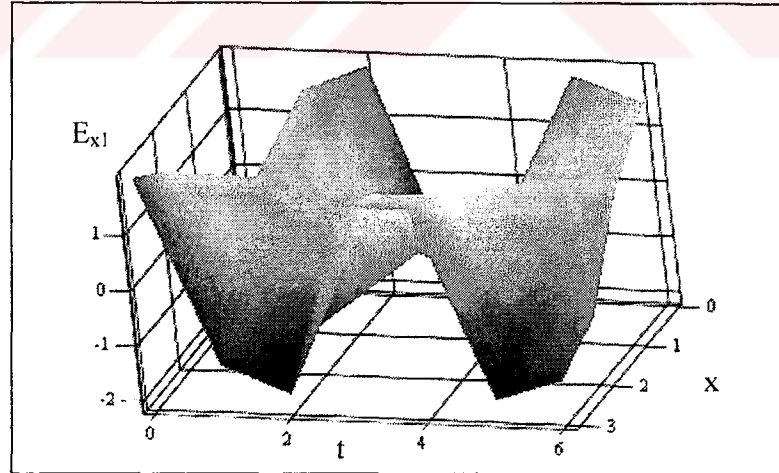
Şekil 5.24 den anlaşılacağı gibi ikinci bölgedeki magnetik alanın z bileşeninin levhalar arası uzaklık ile genlik olarak ters orantılı değişim göstermekte. Uzaklık dalga boyunun yarısı alındığında faz ötelenmesi görülmektedir.

50Ghz için levhalar arasındaki uzaklık (b) 1. bölgedeki dalga boyu ve 2. bölgedeki dalga boyu daha sonra bu değerlerin katları alınarak sayısal sonuçlar elde edilmiş ve aşağıda bu sonuçları irdelenmiştir.



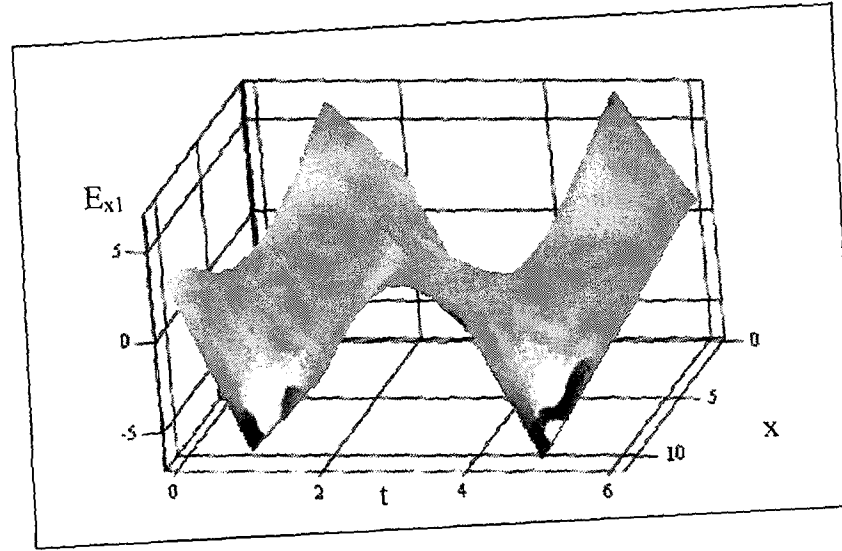
EX1

(a) $b=\lambda_1$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,0.06)$ saniye



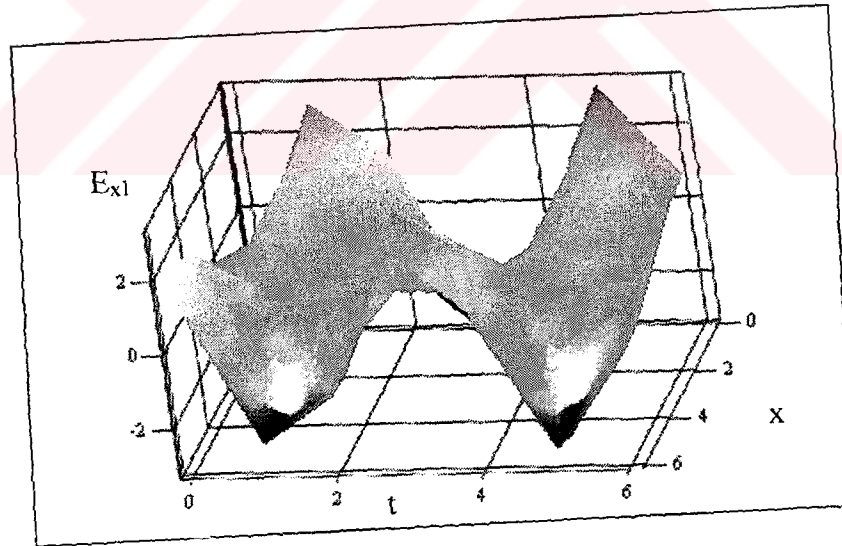
EX1

(b) $b=\lambda_1/2$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,0.06)$ saniye



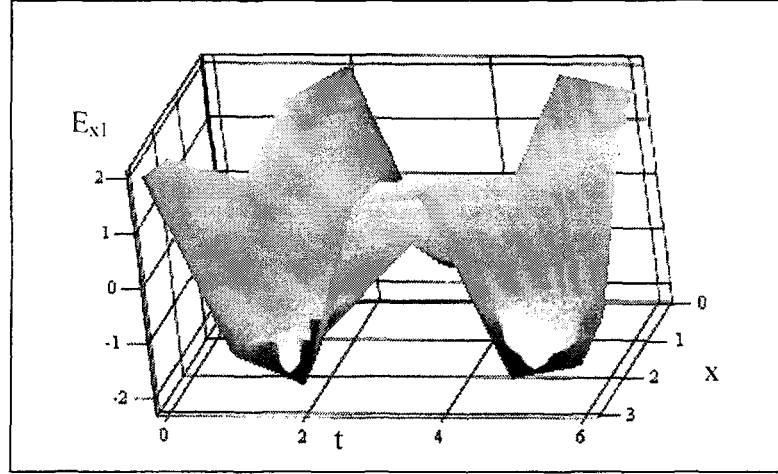
EX1

(c) $b=2\lambda_1$, $x \in (0, b)$ metre, $t \in (0, 0.06)$ saniye



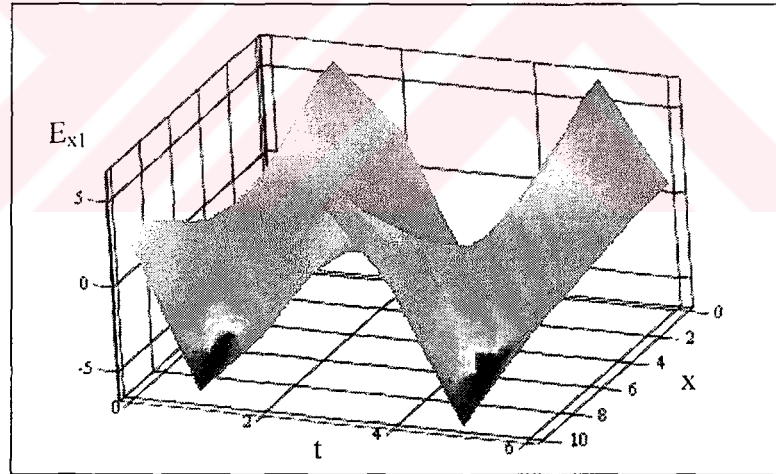
EX1

(d) $b=\lambda_2$, $x \in (0, b)$ metre, $t \in (0, 0.06)$ saniye



EX1

(e) $b=\lambda_2/2$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,0.06)$ saniye

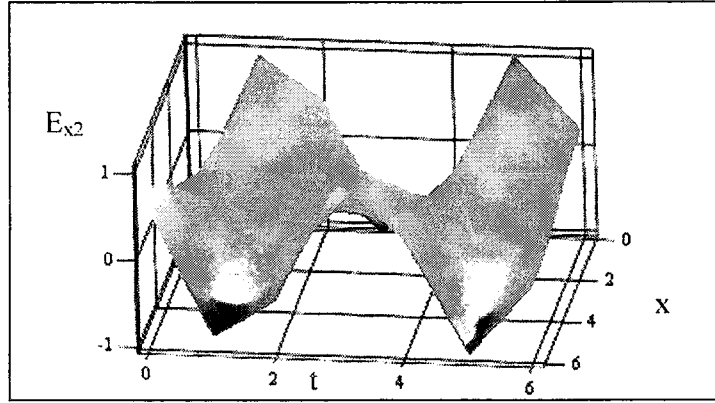


EX1

(f) $b=2\lambda_2$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,0.06)$ saniye

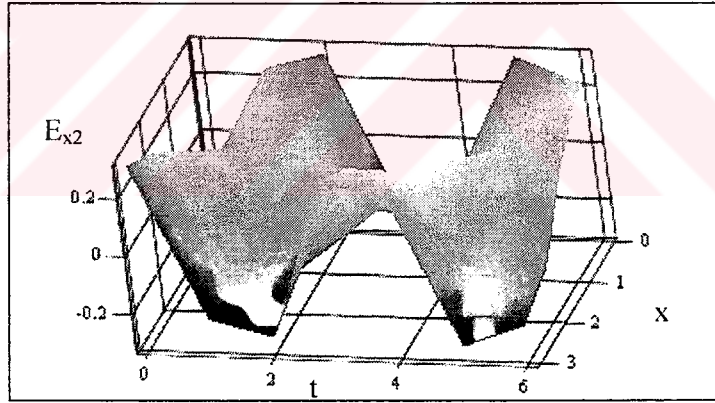
Şekil 5.25 1. Bölgedeki elektrik alanının x bileşenin 50 GHz için levhalar arasındaki uzaklık ile değişimleri

Şekil 5.25 den anlaşılacağı gibi birinci bölgedeki elektrik alanın x bileşeninin levhalar arası uzaklık ile orantılı değişimi göstermekte. Uzaklık dalga boyunun yarısı alındığında faz ötelenmesi görülmektedir.



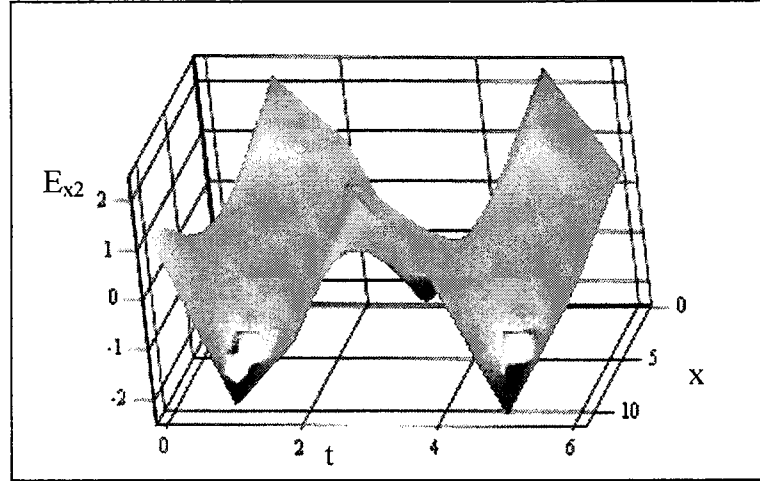
EX2

(a) $b=\lambda_1$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,0.06)$ saniye



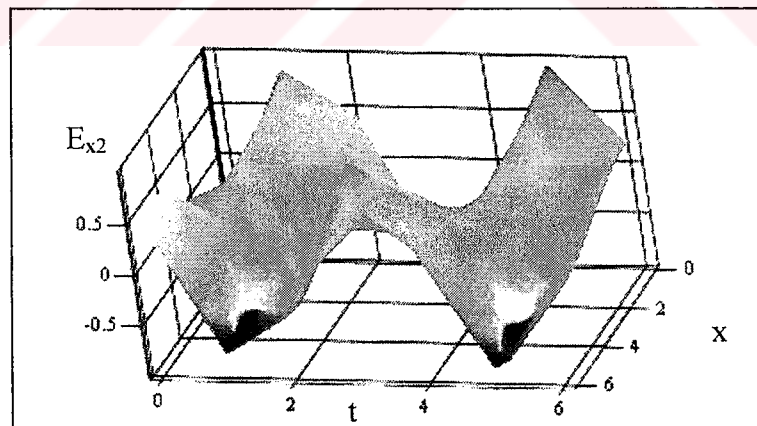
EX2

(b) $b=\lambda_1/2$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,0.06)$ saniye



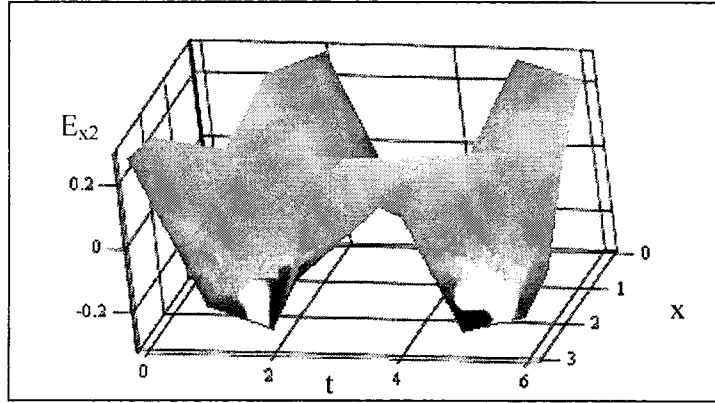
EX2

(c) $b=2\lambda_1$, $x \in (0, b)$ metre, $t \in (0, 0.06)$ saniye



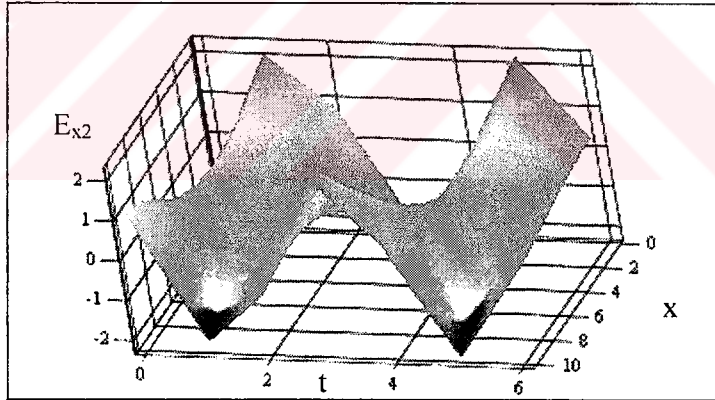
EX2

(d) $b=\lambda_2$, $x \in (0, b)$ metre, $t \in (0, 0.06)$ saniye



EX2

(e) $b=\lambda_2/2$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,0.06)$ saniye

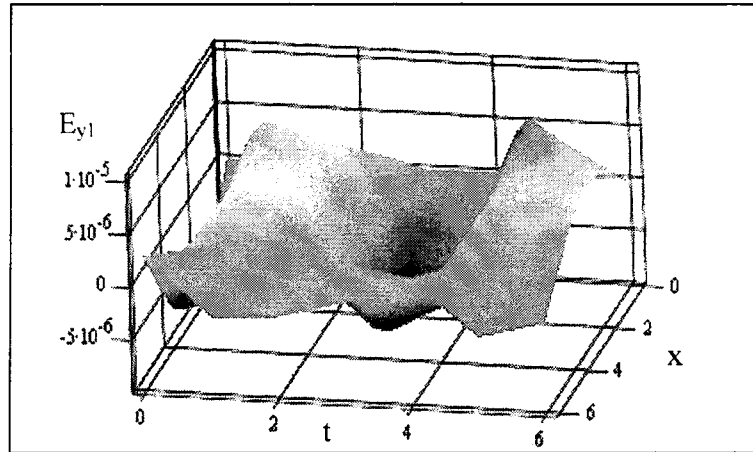


EX2

(f) $b=2\lambda_2$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,0.06)$ saniye

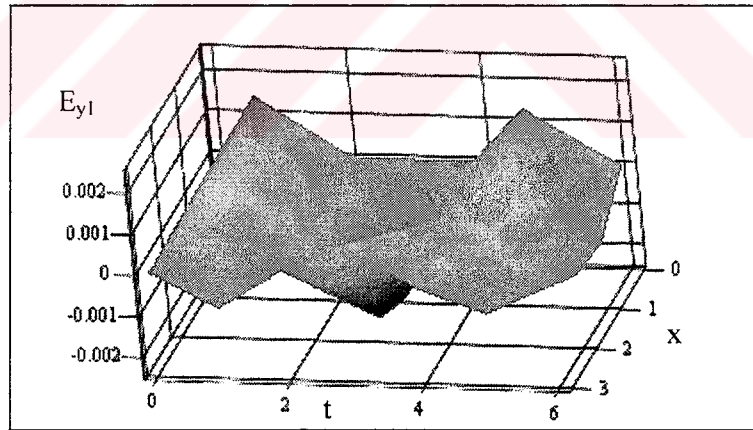
Şekil 5.26 2. Bölgedeki elektrik alanın x bileşenin 50 GHz için levhalar arasındaki uzaklık ile değişimleri

Şekil 5.26 den anlaşılacağı gibi ikinci bölgedeki elektrik alanın x bileşeninin levhalar arası uzaklık ile genlik değişimi göstermekte. Uzaklık dalga boyunun yarısı alındığında faz ötelenmesi görülmektedir.



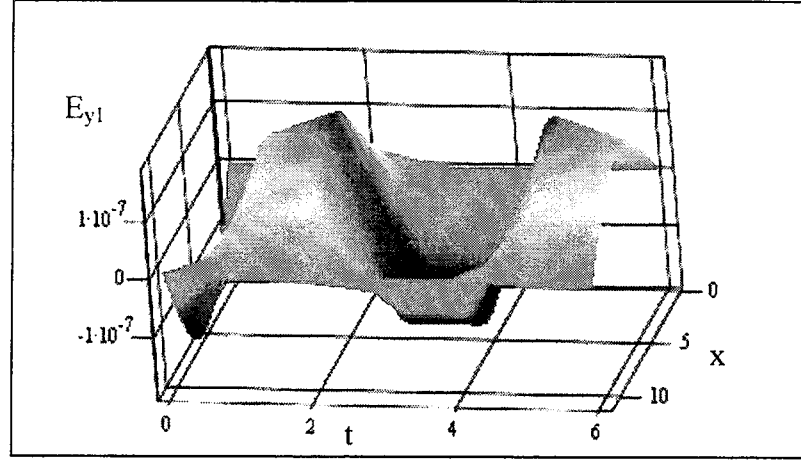
EY1

(a) $b=\lambda_1$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,0.06)$ saniye



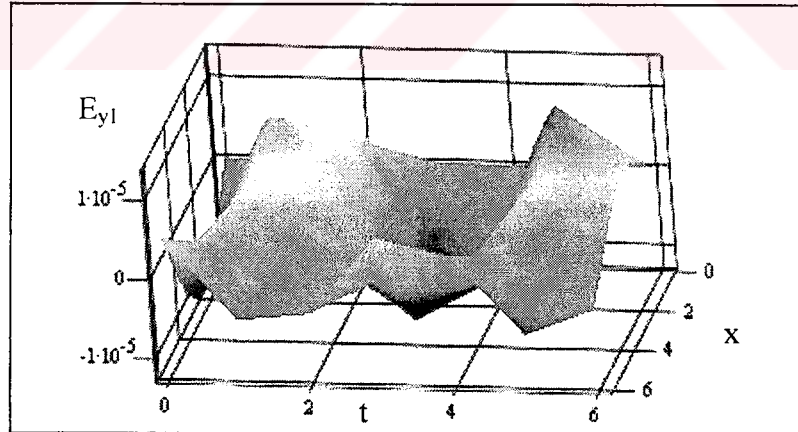
EY1

(b) $b=\lambda_1/2$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,0.06)$ saniye



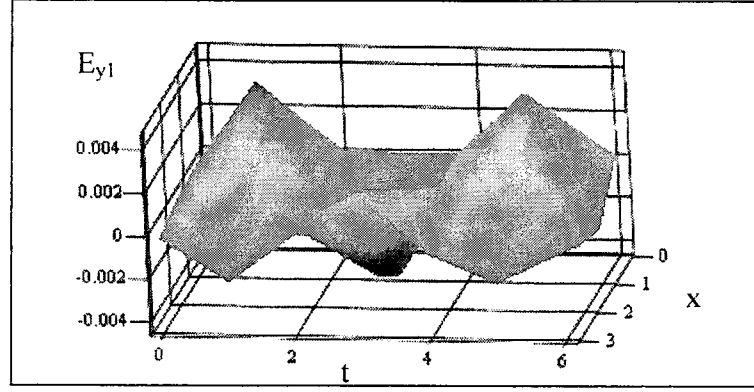
EY1

(c) $b=2\lambda_1$, $x \in (0, b)$ metre, $t \in (0, 0.06)$ saniye



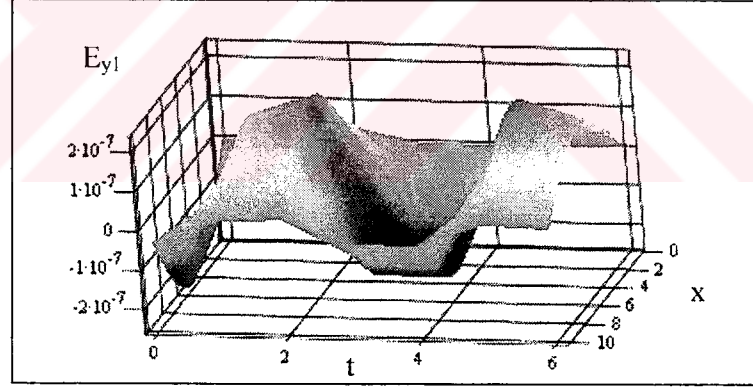
EY1

(d) $b=\lambda_2$, $x \in (0, b)$ metre, $t \in (0, 0.06)$ saniye



EY1

(e) $b=\lambda_2/2$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,0.06)$ saniye

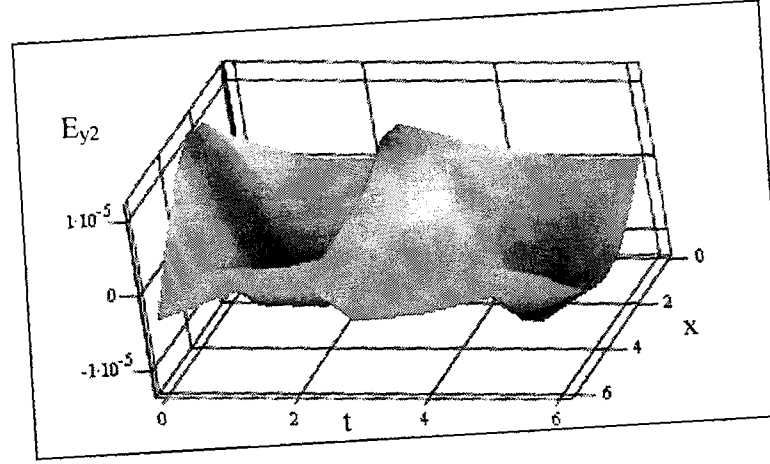


EY1

(f) $b=2\lambda_2$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,0.06)$ saniye

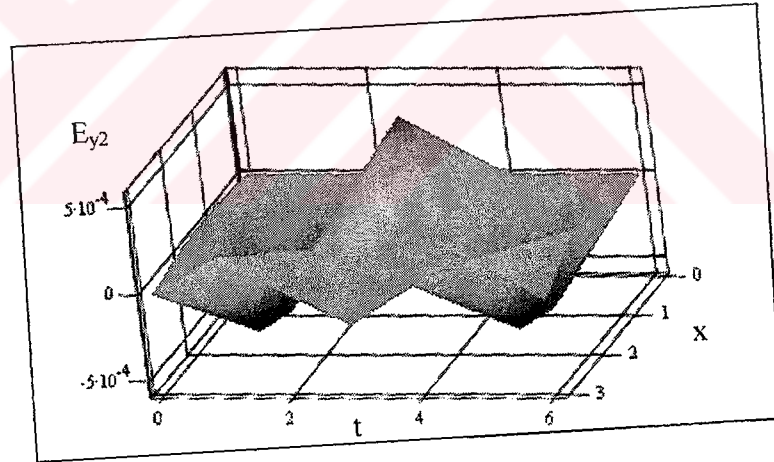
Şekil 5.27 1. Bölgedeki elektrik alanın y bileşenin 50 GHz için levhalar arasındaki uzaklık ile değişimleri

Şekil 5.27 den anlaşılacağı gibi birinci bölgedeki elektrik alanın x bileşeninin levhalar arası uzaklık ile genlik olarak ters orantılı değişim göstermekte. Uzaklık dalga boyunun yarısı alındığında faz ötelenmesi görülmektedir.



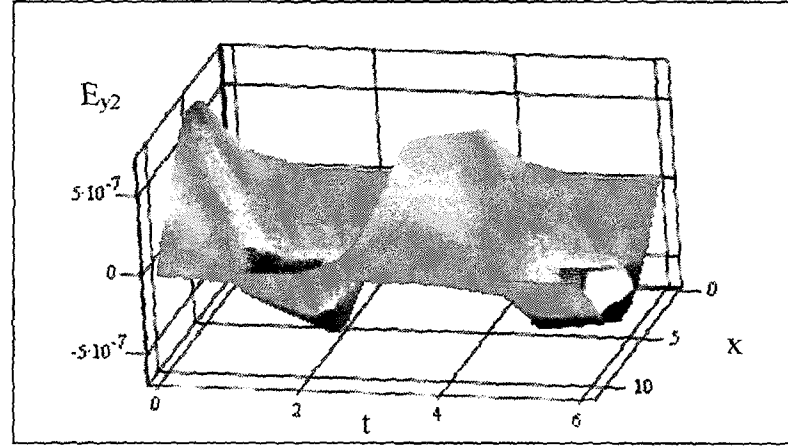
EY2

(a) $b=\lambda_1$, $x \in (0, b)$ metre, $t \in (0, 0.06)$ saniye



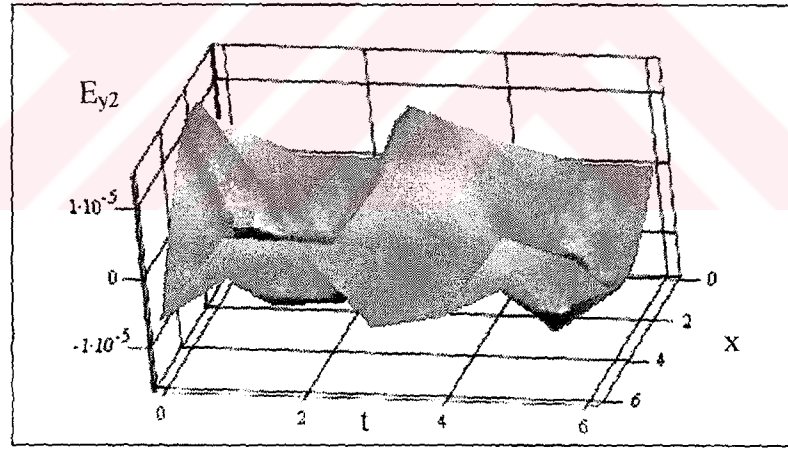
EY2

(b) $b=\lambda_1/2$, $x \in (0, b)$ metre, $t \in (0, 0.06)$ saniye



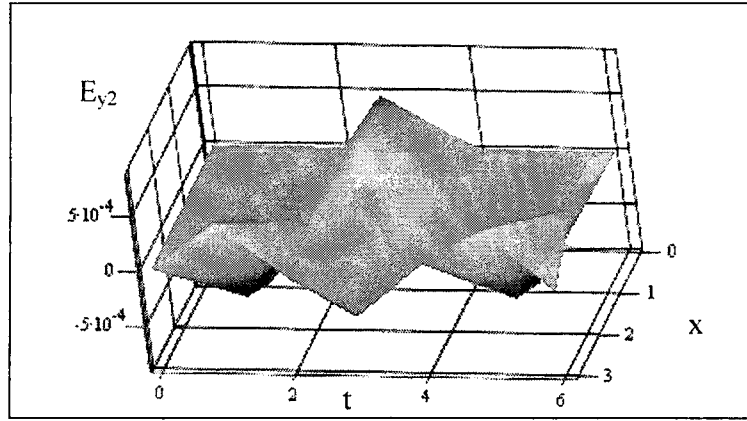
EY2

(c) $b=2\lambda_1$, $x \in (0, b)$ metre, $t \in (0, 0.06)$ saniye



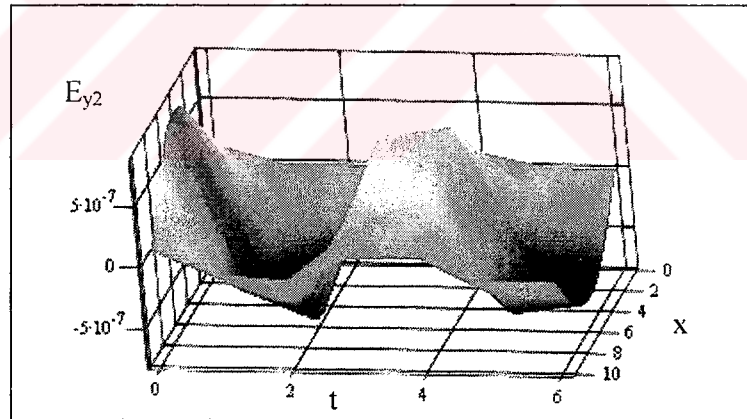
EY2

(d) $b=\lambda_2$, $x \in (0, b)$ metre, $t \in (0, 0.06)$ saniye



EY2

(e) $b=\lambda_2/2$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,0.06)$ saniye

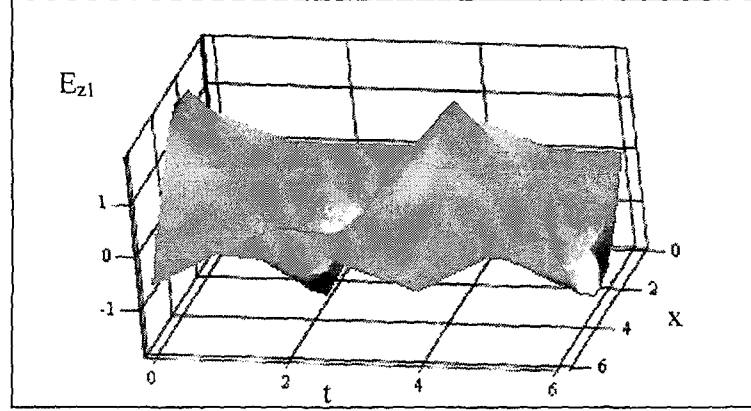


EY2

(f) $b=2\lambda_2$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,0.06)$ saniye

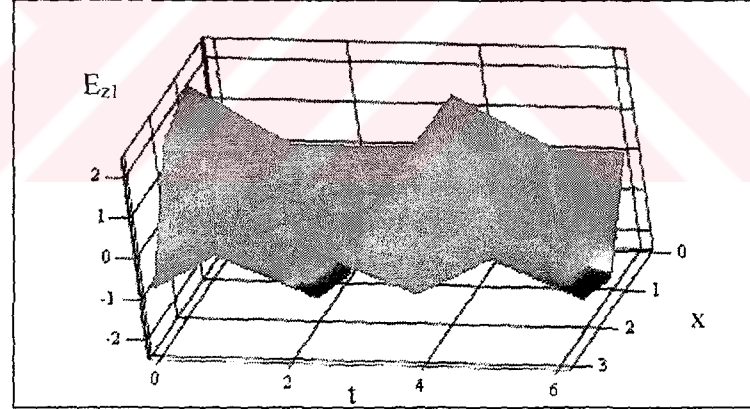
Şekil 5.28 2. Bölgedeki elektrik alanın y bileşenin 50 GHz için levhalar arasındaki uzaklık ile değişimleri

Şekil 5.28 den anlaşılacağı gibi ikinci bölgedeki elektrik alanın y bileşeninin levhalar arası uzaklık ile genlik değişimi göstermekte. Uzaklık dalga boyunun yarısı alındığında faz ötelenmesi görülmektedir.



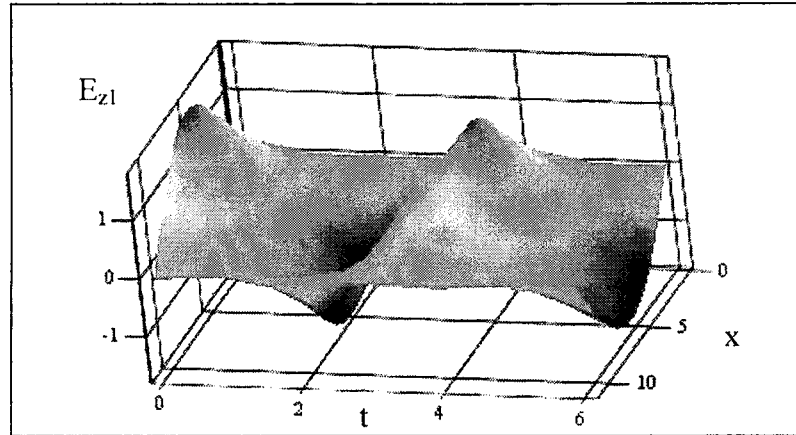
EZ1

(a) $b=\lambda_1$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,0.06)$ saniye



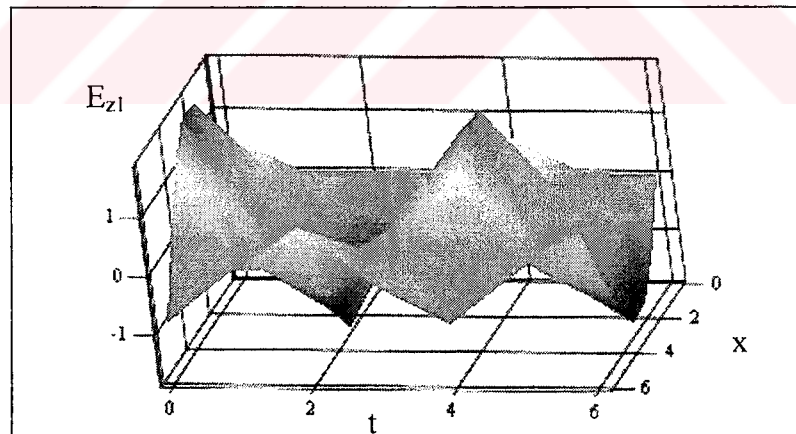
EZ1

(b) $b=\lambda_1/2$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,0.06)$ saniye



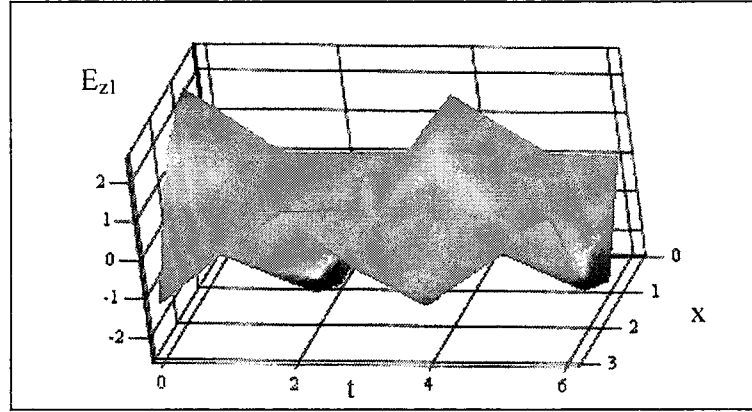
EZ1

(c) $b=2\lambda_1$, $x \in (0, b)$ metre, $t \in (0, 0.06)$ saniye



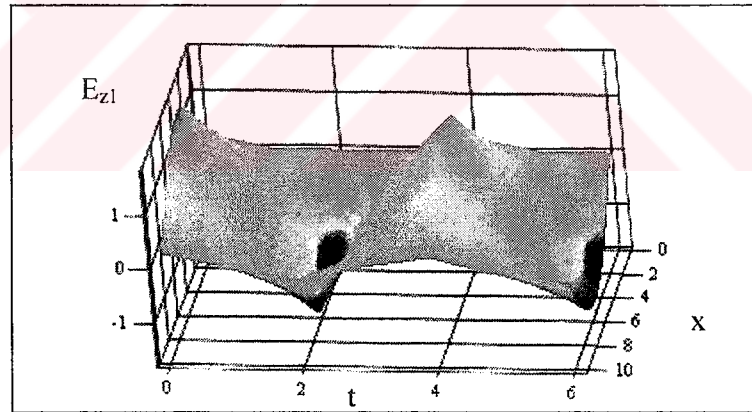
EZ1

(d) $b=\lambda_2$, $x \in (0, b)$ metre, $t \in (0, 0.06)$ saniye



EZ1

(e) $b=\lambda_2/2$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,0.06)$ saniye

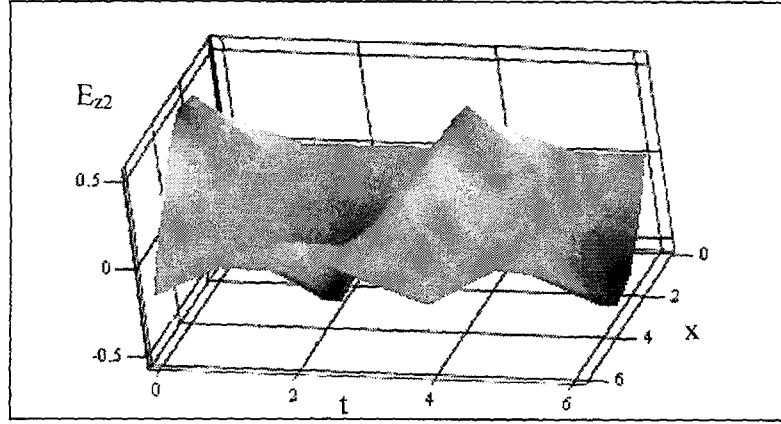


EZ1

(f) $b=2\lambda_2$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,0.06)$ saniye

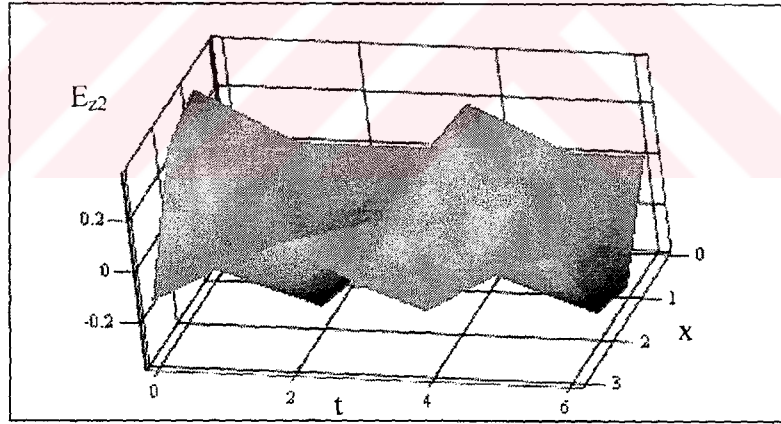
Şekil 5.29 1. Bölgedeki elektrik alanın z bileşenin 50 GHz için levhalar arasındaki uzaklık ile değişimleri

Şekil 5.29 den anlaşılacağı gibi birinci bölgedeki elektrik alanın z bileşeninin levhalar arası uzaklık ile değişimi göstermekte. Uzaklık dalga boyunun yarısı alındığında ise faz ötelenmesi görülmemektedir.



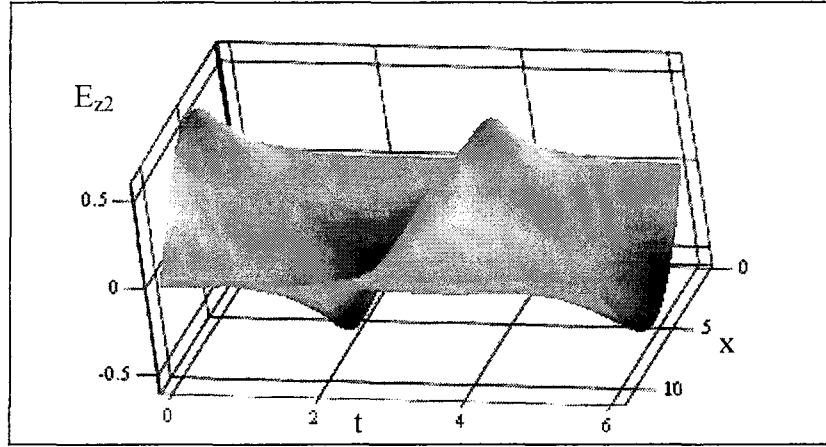
EZ2

(a) $b=\lambda_1$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,0.06)$ saniye



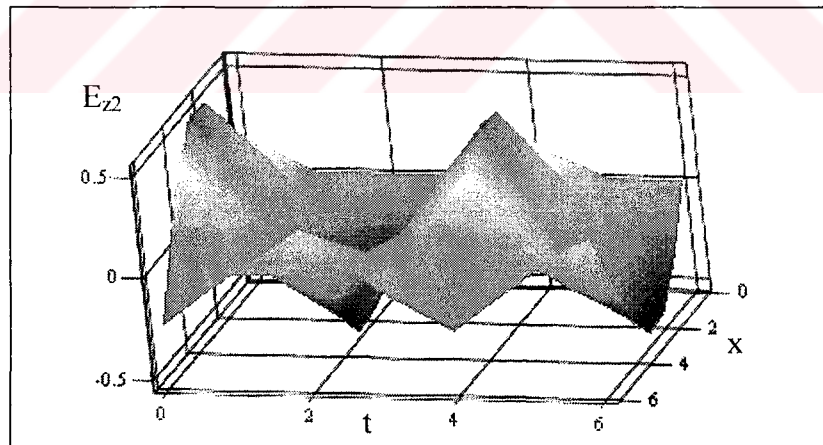
EZ2

(b) $b=\lambda_1/2$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,0.06)$ saniye



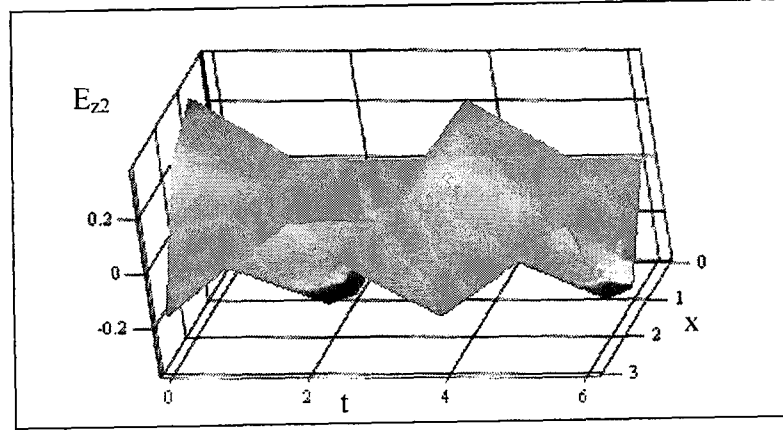
EZ2

(c) $b=2\lambda_1$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,0.06)$ saniye



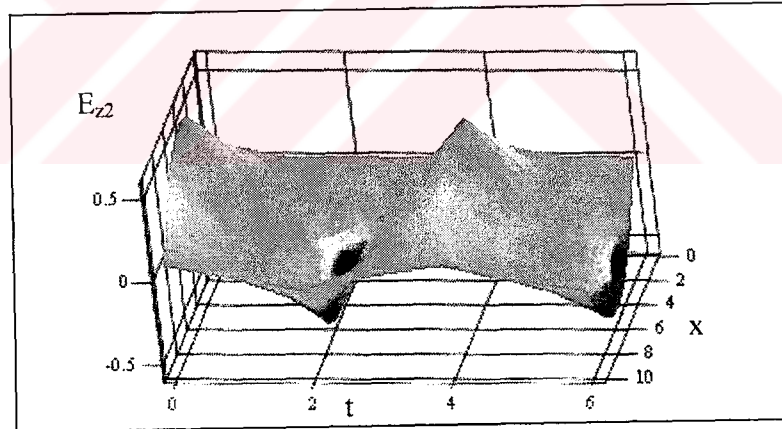
EZ2

(d) $b=\lambda_2$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,0.06)$ saniye



EZ2

(e) $b=\lambda_2/2$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,0.06)$ saniye

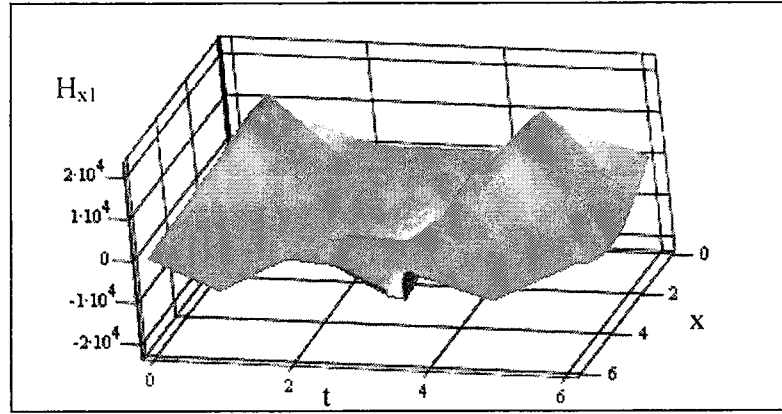


EZ2

(f) $b=2\lambda_2$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,0.06)$ saniye

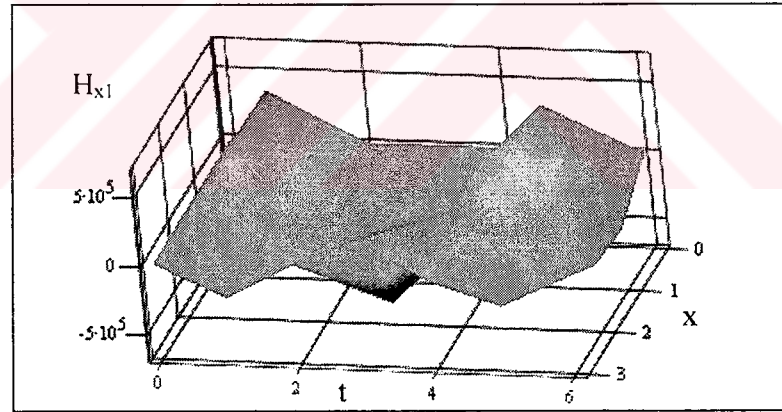
Şekil 5.30 2. Bölgedeki elektrik alanın z bileşenin 50 GHz için levhalar arasındaki uzaklık ile değişimleri

Şekil 5.30 den anlaşılacağı gibi ikinci bölgedeki elektrik alanın z bileşeninin levhalar arası uzaklık ile genlik değişimi göstermekte. Uzaklık dalga boyunun yarısı alındığında ise faz ötelenmesi görülmemektedir.



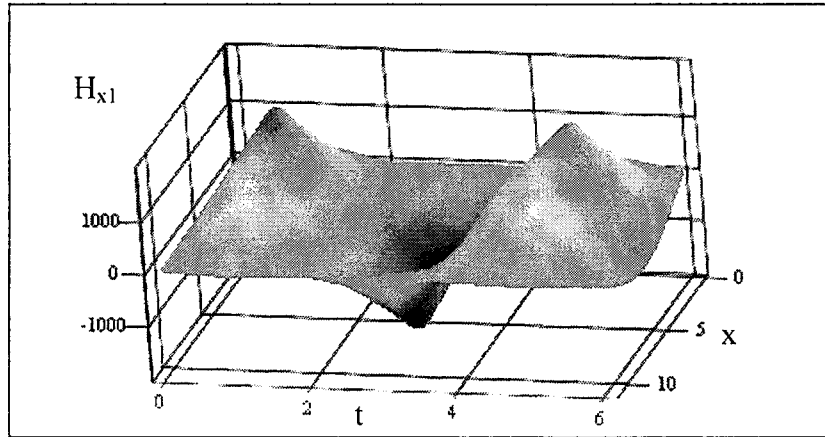
HX1

(a) $b=\lambda_1$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,0.06)$ saniye



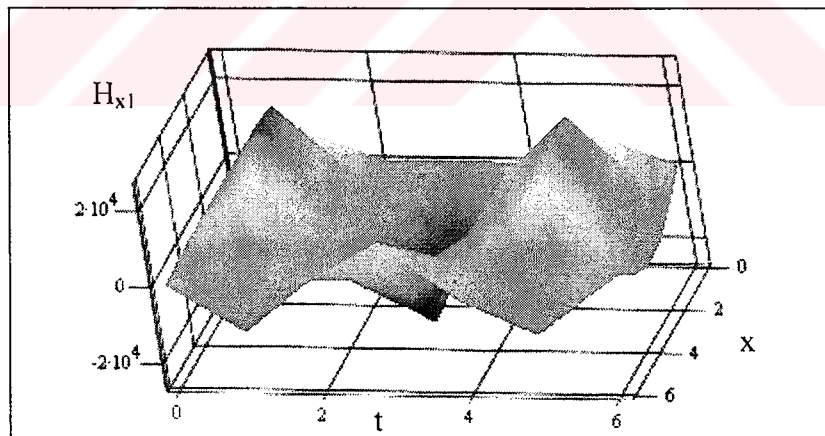
HX1

(b) $b=\lambda_1/2$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,0.06)$ saniye



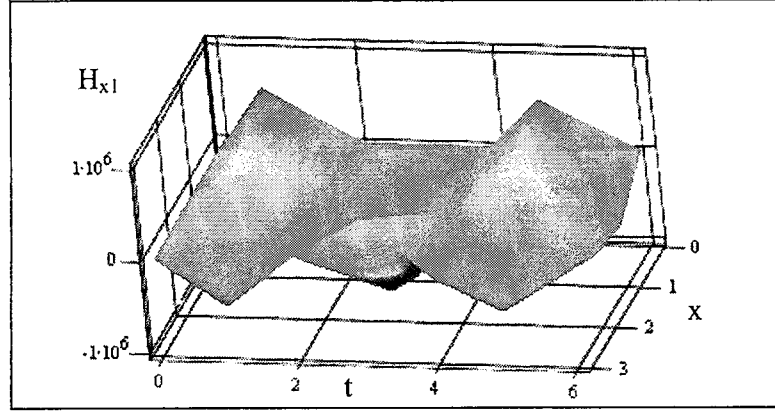
HX1

(c) $b=2\lambda_1$, $x \in (0, b)$ metre, $t \in (0, 0.06)$ saniye



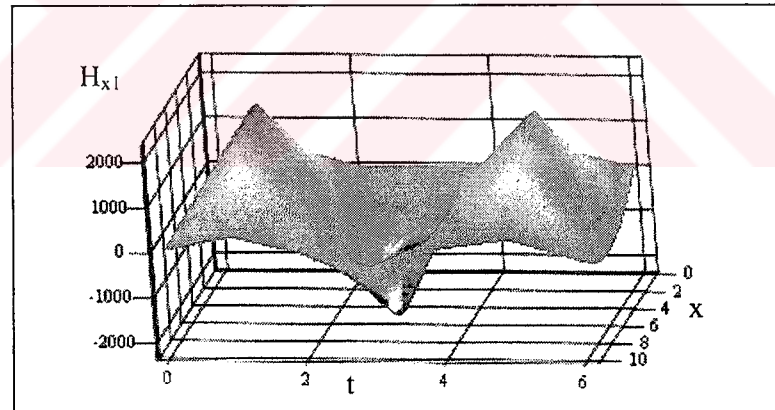
HX1

(d) $b=\lambda_2$, $x \in (0, b)$ metre, $t \in (0, 0.06)$ saniye



HX1

(e) $b=\lambda_2/2$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,0.06)$ saniye

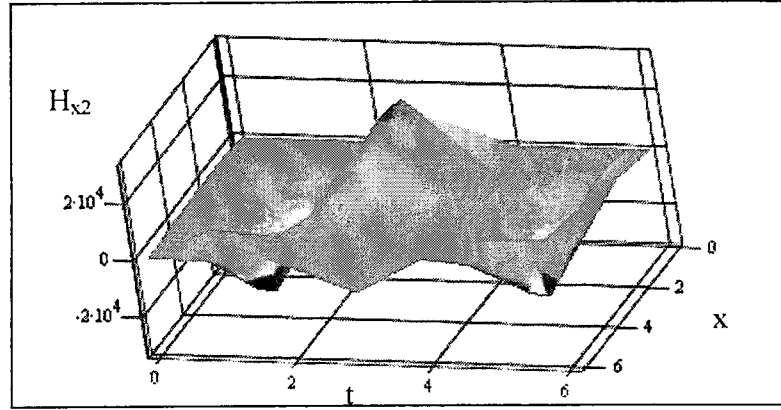


HX1

(f) $b=2\lambda_2$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,0.06)$ saniye

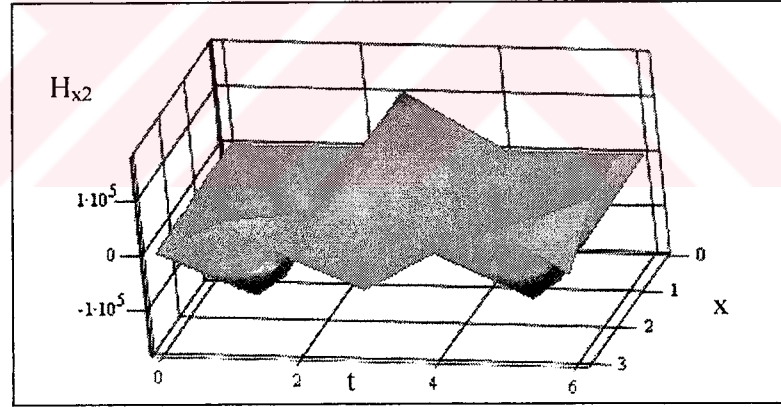
Şekil 5.31 1. Bölgedeki magnetik alanın x bileşenin 50 GHz için levhalar arasındaki uzaklık ile değişimleri

Şekil 5.31 den anlaşılacağı gibi birinci bölgedeki magnetik alanın x bileşeninin levhalar arası uzaklık ile genlik değişimi göstermekte. Uzaklık dalga boyunun yarısı alındığında ise faz ötelenmesi görülmemektedir.



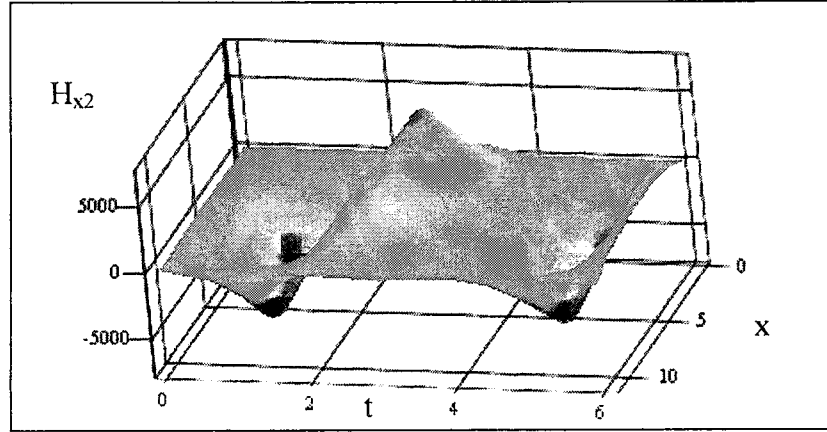
HX2

(a) $b=\lambda_1$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,0.06)$ saniye



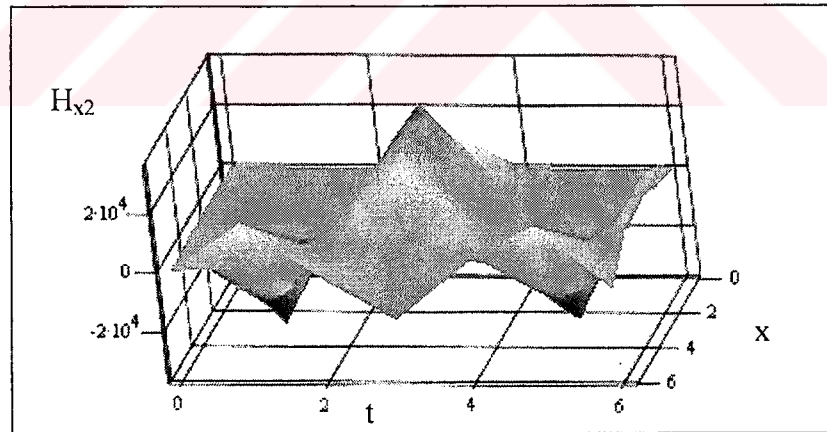
HX2

(b) $b=\lambda_1/2$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,0.06)$ saniye



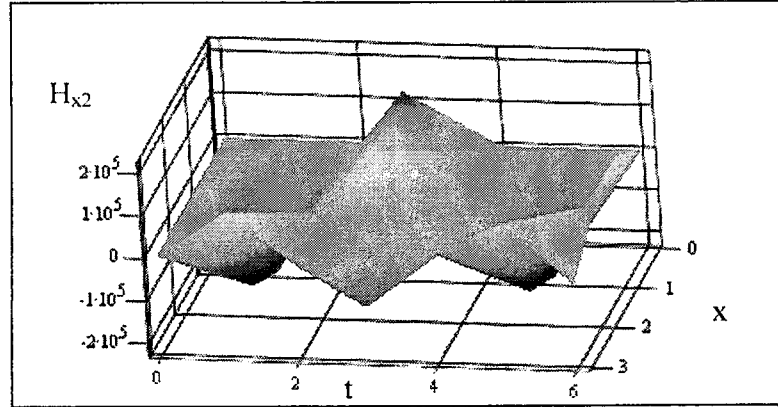
HX2

(c) $b=2\lambda_1$, $x \in (0, b)$ metre, $t \in (0, 0.06)$ saniye



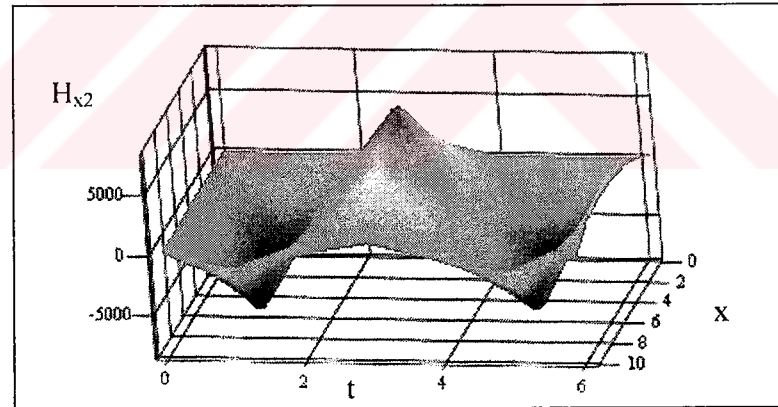
HX2

(d) $b=\lambda_2$, $x \in (0, b)$ metre, $t \in (0, 0.06)$ saniye



HX2

(e) $b=\lambda_2/2$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,0.06)$ saniye

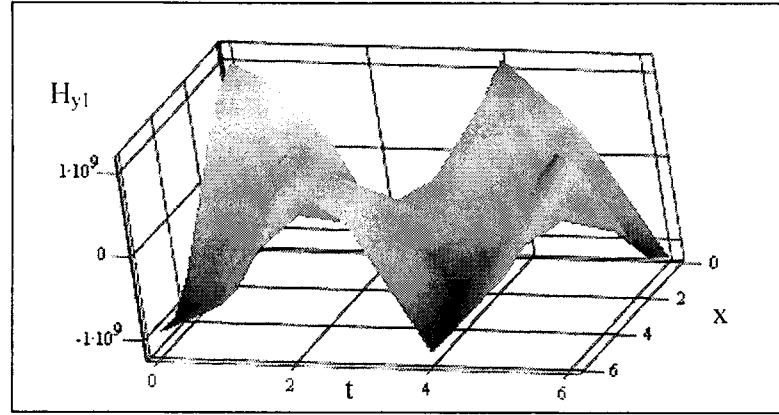


HX2

(f) $b=2\lambda_2$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,0.06)$ saniye

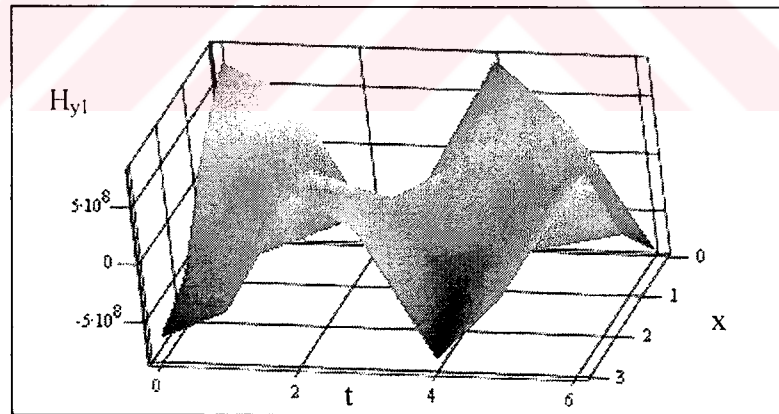
Şekil 5.32 2. Bölgedeki magnetik alanın x bileşenin 50 GHz için levhalar arasındaki uzaklık ile değişimleri

Şekil 5.32 den anlaşılacağı gibi ikinci bölgedeki magnetik alanın x bileşeninin levhalar arası uzaklık ile genlik değişimi göstermekte. Uzaklık dalga boyunun yarısı alındığında ise faz ötelenmesi görülmemektedir.



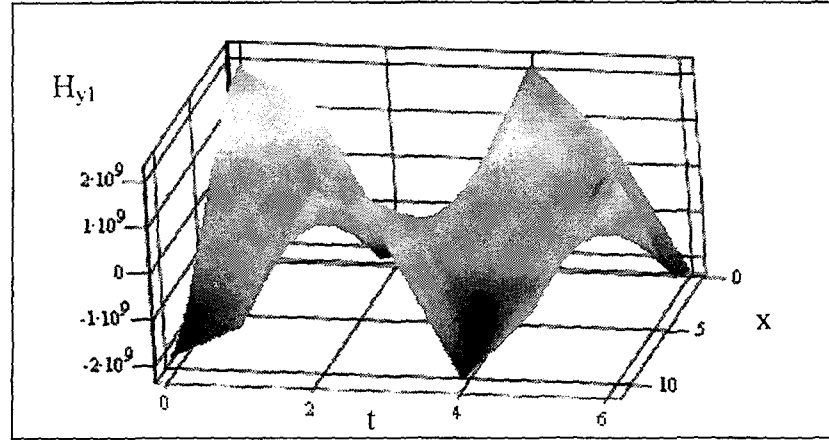
HY1

(a) $b=\lambda_1$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,0.06)$ saniye



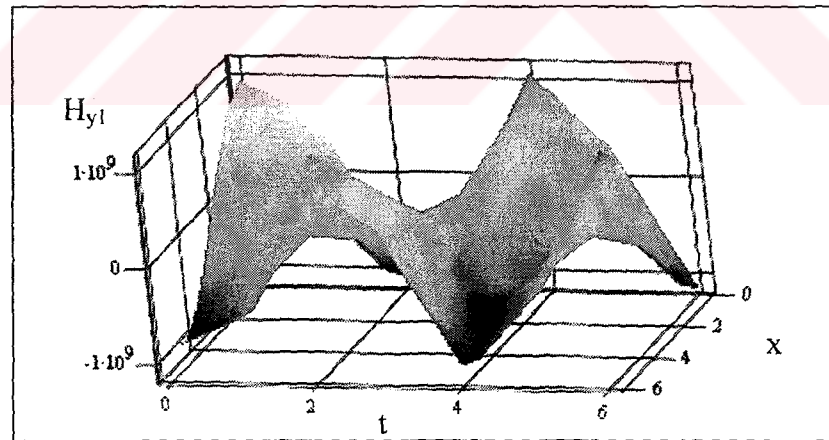
HY1

(b) $b=\lambda_1/2$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,0.06)$ saniye



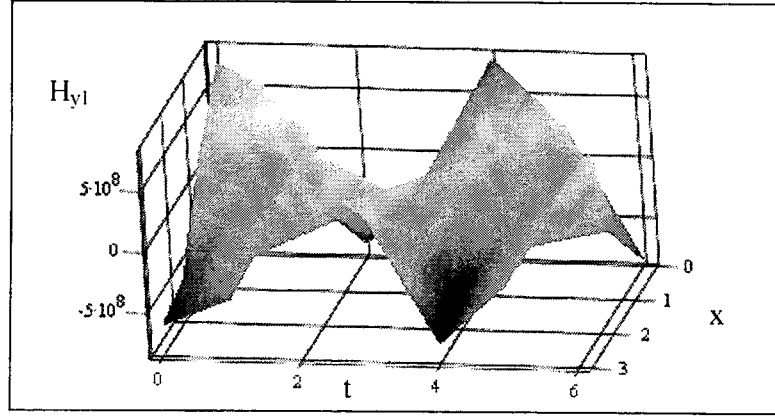
HY1

(c) $b=2\lambda_1$, $x \in (0, b)$ metre, $t \in (0, 0.06)$ saniye



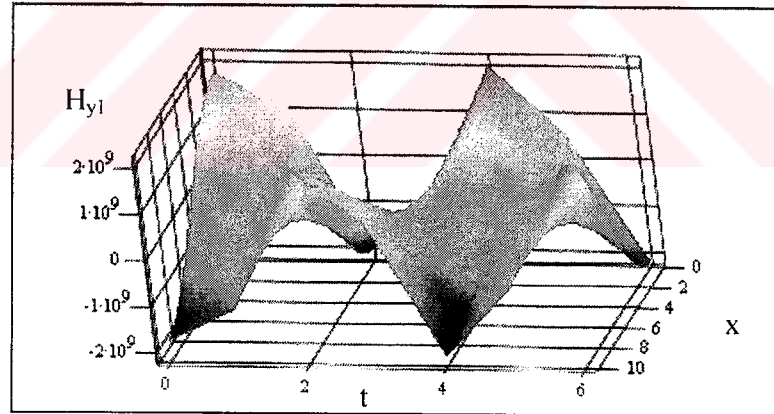
HY1

(d) $b=\lambda_2$, $x \in (0, b)$ metre, $t \in (0, 0.06)$ saniye



HY1

(e) $b=\lambda_2/2$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,0.06)$ saniye

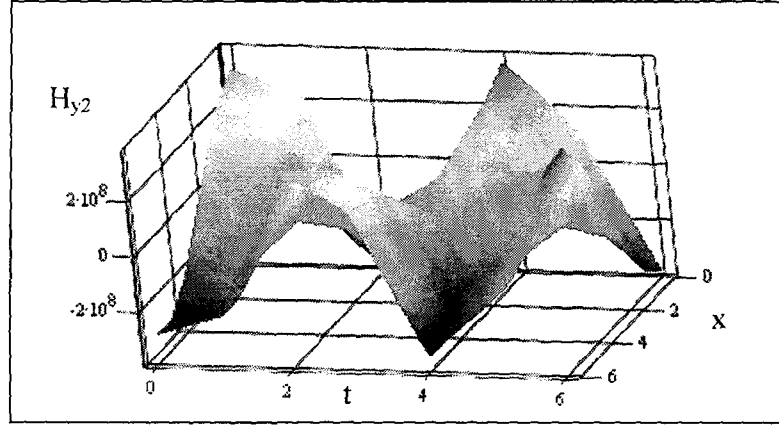


HY1

(f) $b=2\lambda_2$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,0.06)$ saniye

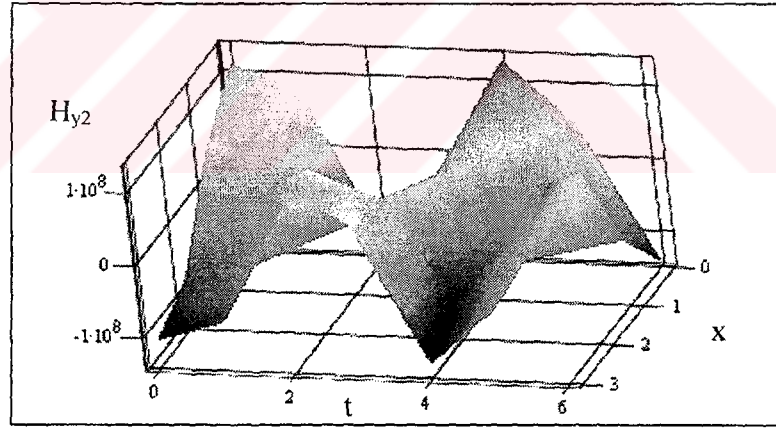
Şekil 5.33 1. Bölgedeki magnetik alanın y bileşenin 50 GHz için levhalar arasındaki uzaklık ile değişimleri

Şekil 5.33 den anlaşılacağı gibi birinci bölgedeki magnetik alanın y bileşeninin levhalar arası uzaklık ile genlik değişimi göstermekte. Uzaklık dalga boyunun yarısı alındığında ise faz ötelenmesi görülmemektedir.



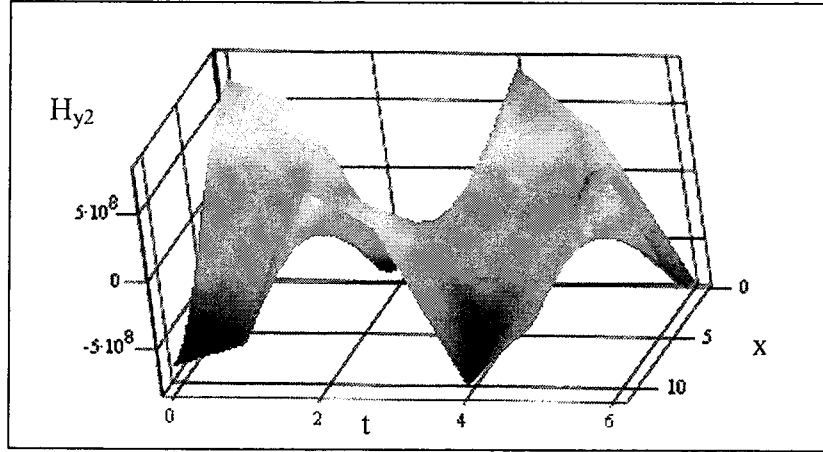
HY2

(a) $b=\lambda_1$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,0.06)$ saniye



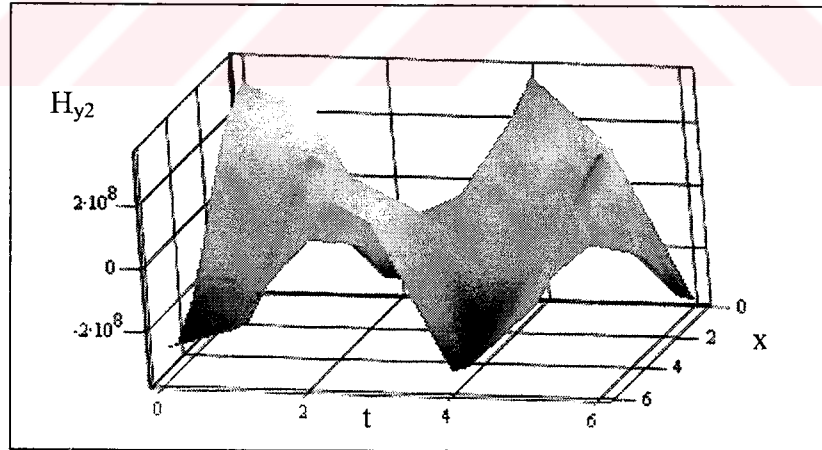
HY2

(b) $b=\lambda_1/2$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,0.06)$ saniye



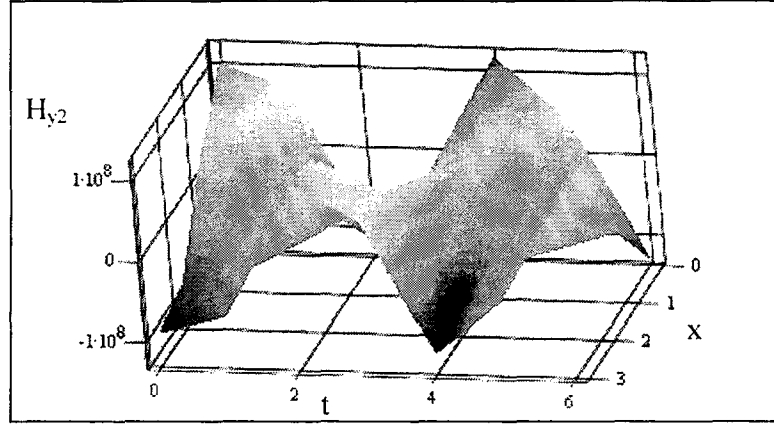
HY2

(c) $b=2\lambda_1$, $x \in (0, b)$ metre, $t \in (0, 0.06)$ saniye



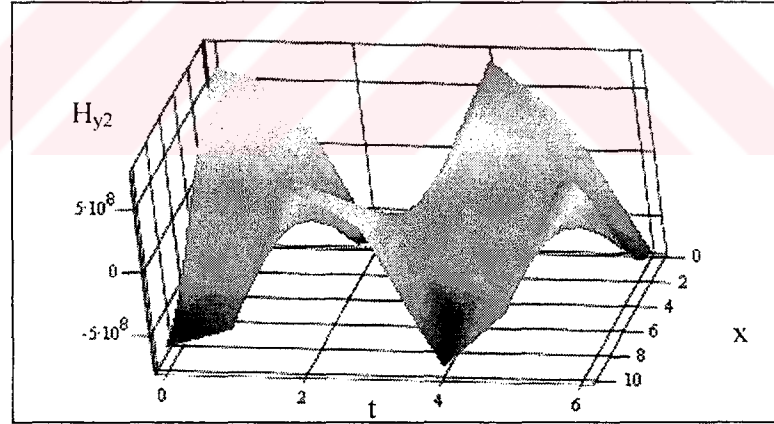
HY2

(d) $b=\lambda_2$, $x \in (0, b)$ metre, $t \in (0, 0.06)$ saniye



HY2

(e) $b=\lambda_2/2$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,0.06)$ saniye

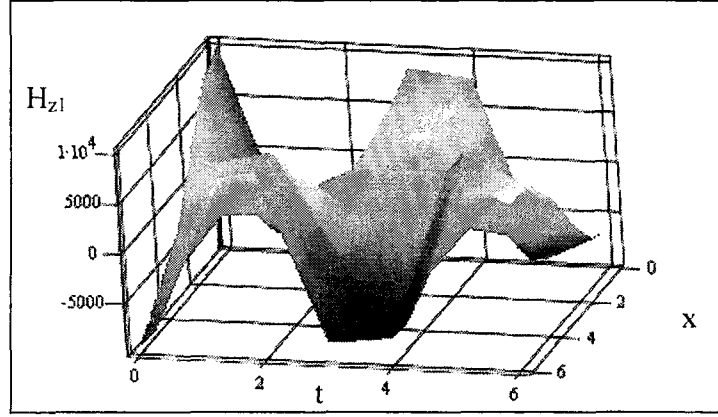


HY2

(f) $b=2\lambda_2$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,0.06)$ saniye

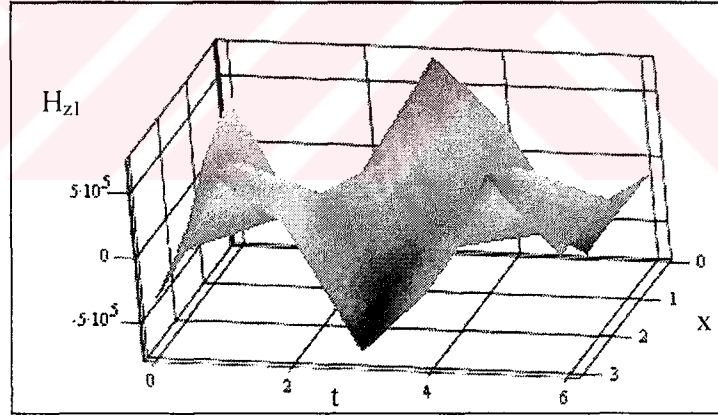
Şekil 5.34 2. Bölgedeki magnetik alanın y bileşenin 50 GHz için levhalar arasındaki uzaklık ile değişimleri

Şekil 5.34 den anlaşılacağı gibi ikinci bölgedeki magnetik alanın y bileşeninin levhalar arası uzaklık ile genlik değişimi göstermekte. Uzaklık dalga boyunun yarısı alındığında faz ötelenmesi görülmemektedir.



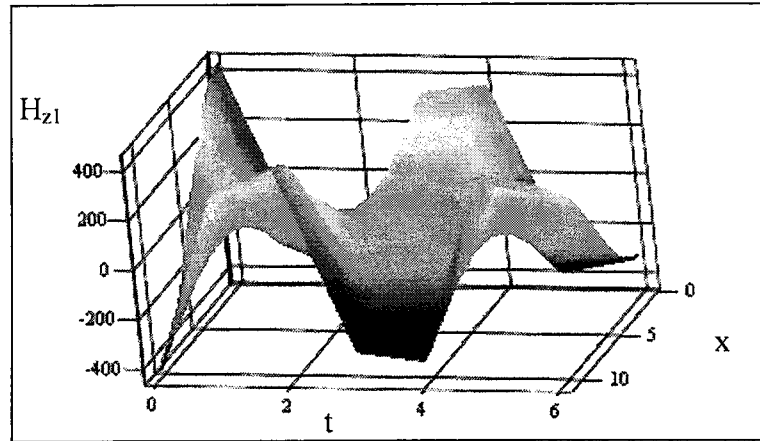
HZ1

(a) $b=\lambda_1$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,0.06)$ saniye



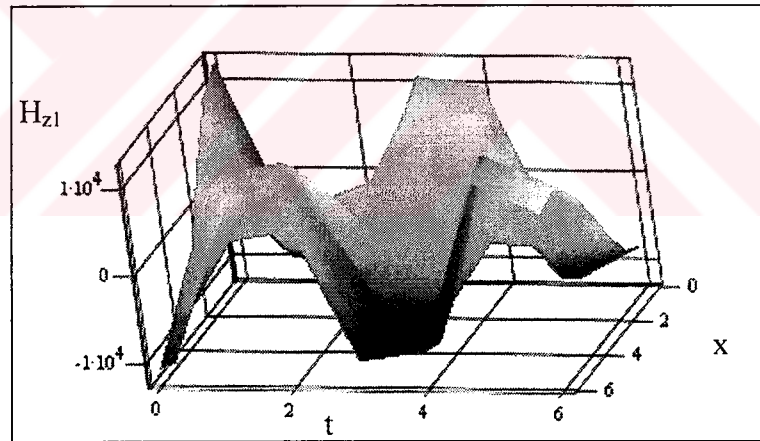
HZ1

(b) $b=\lambda_1/2$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,0.06)$ saniye



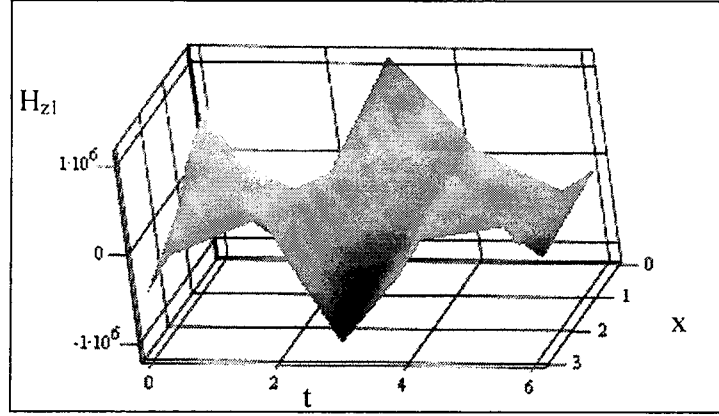
HZ1

(c) $b=2\lambda_1$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,0.06)$ saniye



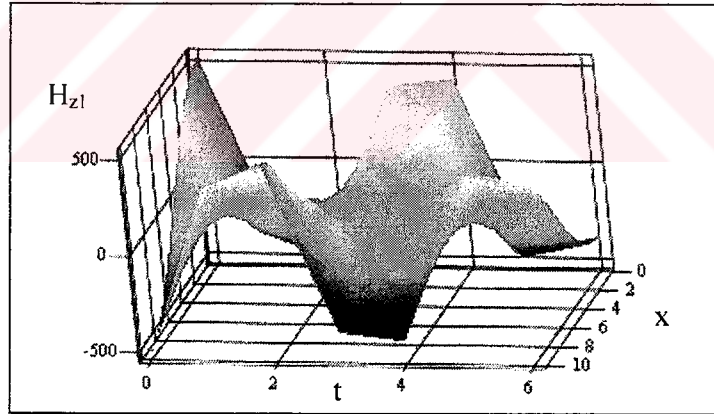
HZ1

(d) $b=\lambda_2$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,0.06)$ saniye



HZ1

(e) $b=\lambda_2/2$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,0.06)$ saniye

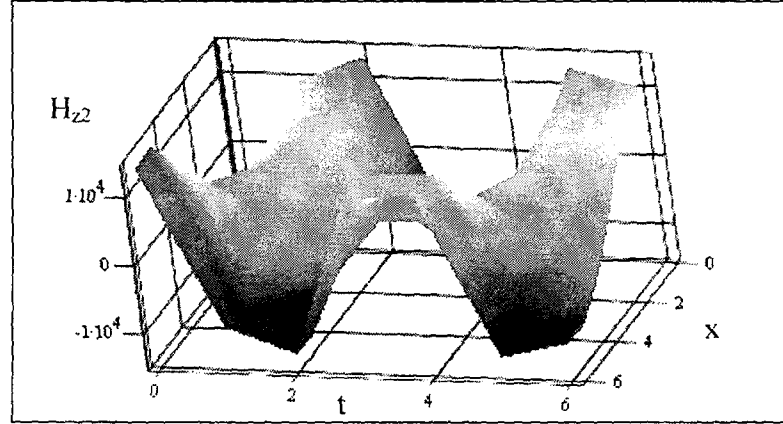


HZ1

(f) $b=2\lambda_2$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,0.06)$ saniye

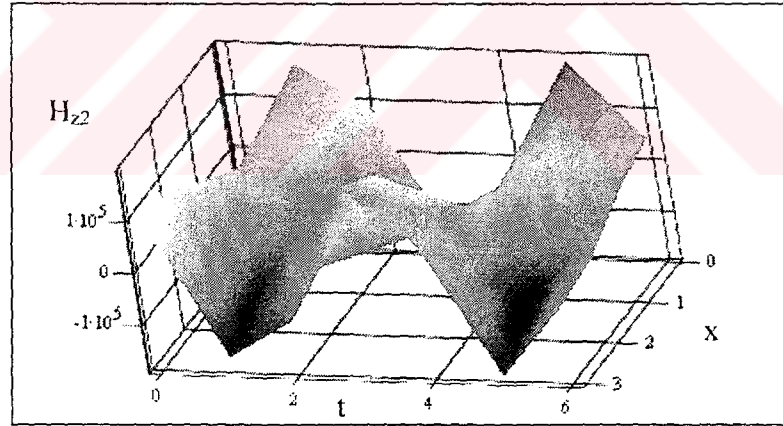
Şekil 5.35 1. Bölgedeki magnetik alanın z bileşenin 50 GHz için levhalar arasındaki uzaklık ile değişimleri

Şekil 5.35 den anlaşılacağı gibi ikinci bölgedeki magnetik alanın z bileşeninin levhalar arası uzaklık ile genlik olarak ters orantılı değişim göstermekte. Uzaklık dalga boyunun yarısı alındığında faz ötelenmesi görülmektedir.



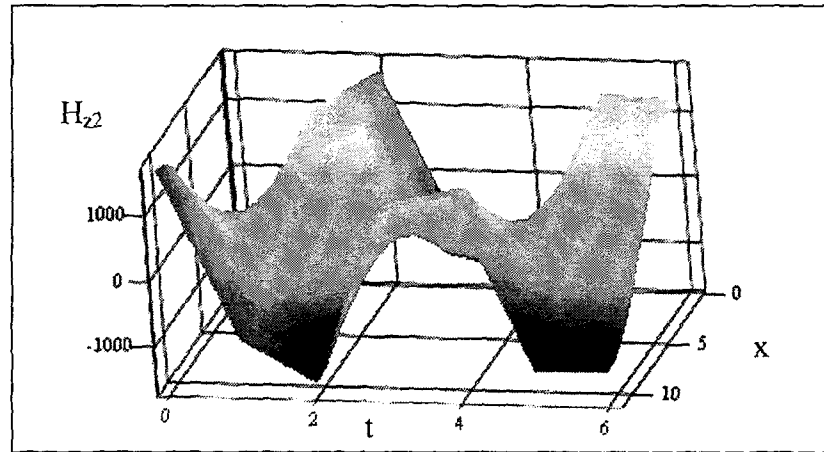
HZ2

(a) $b=\lambda_1$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,0.06)$ saniye



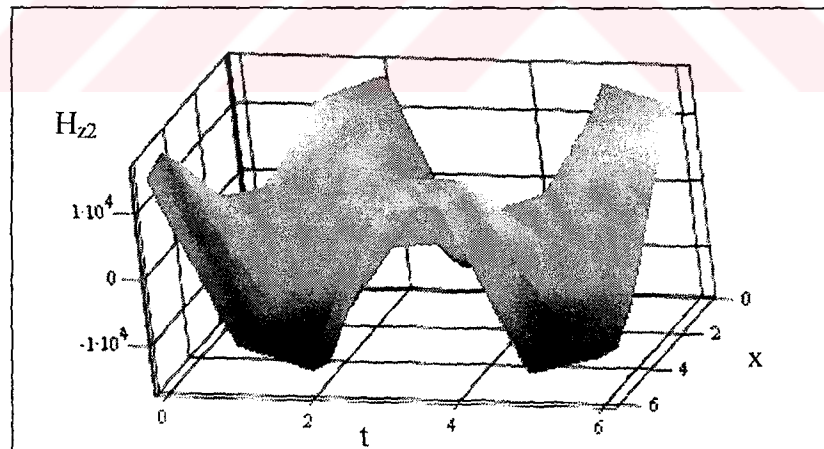
HZ2

(b) $b=\lambda_1/2$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,0.06)$ saniye



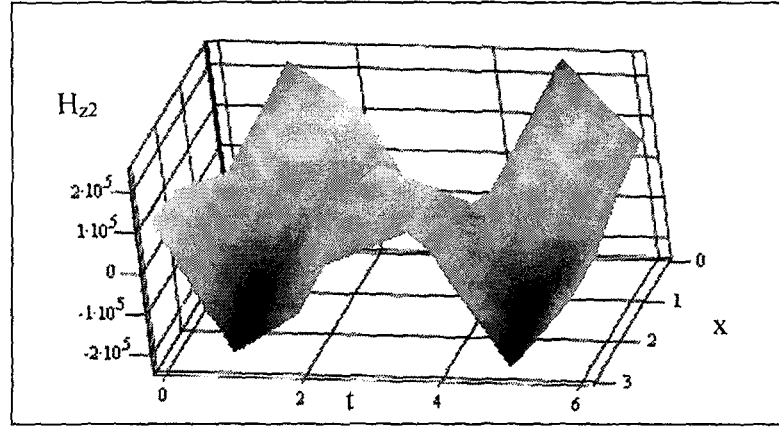
HZ2

(c) $b=2\lambda_1$, $x \in (0, b)$ metre, $t \in (0, 0.06)$ saniye



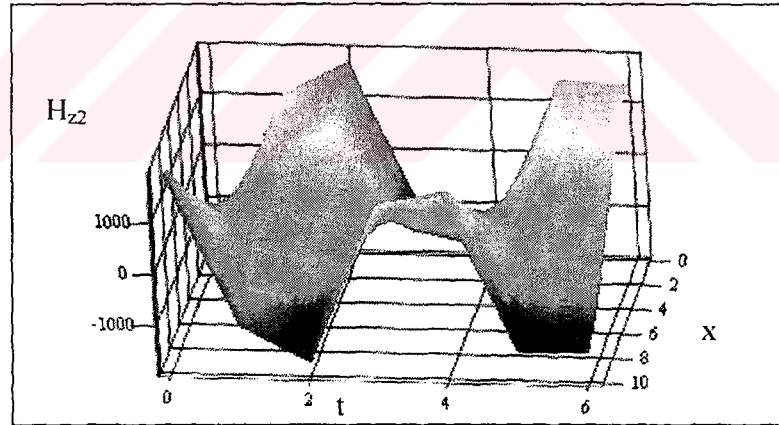
HZ2

(d) $b=\lambda_2$, $x \in (0, b)$ metre, $t \in (0, 0.06)$ saniye



HZ2

(e) $b=\lambda_2/2$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,0.06)$ saniye



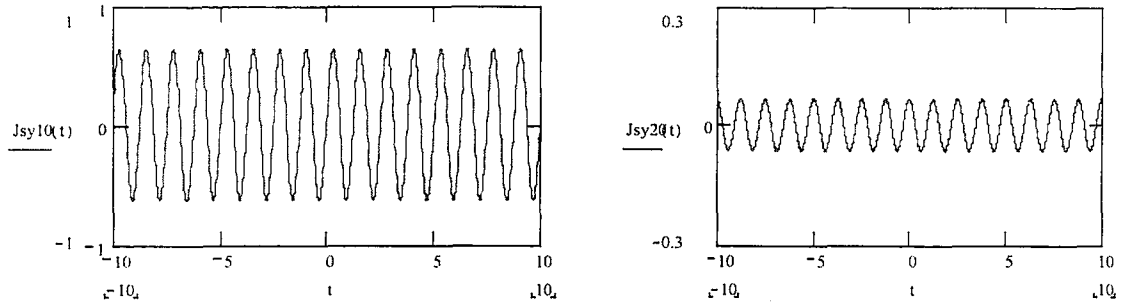
HZ2

(f) $b=2\lambda_2$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,0.06)$ saniye

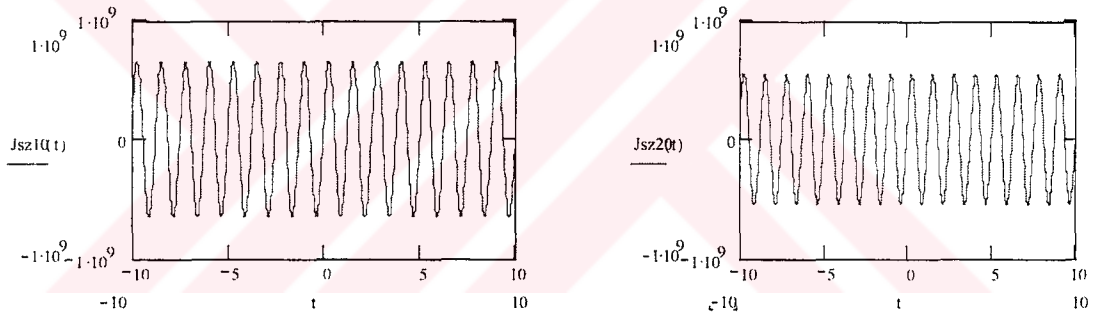
Şekil 5.36 2. Bölgedeki magnetik alanın z bileşenin 50 GHz için levhalar arasındaki uzaklık ile değişimleri

Şekil 5.36 den ikinci bölgedeki magnetik alanın z bileşeninin levhalar arası uzaklık ile genlik olarak ters orantılı değişim gösterdiği görülür. Uzaklık dalga boyunun yarısı alındığında faz ötelenmesi görülmektedir.

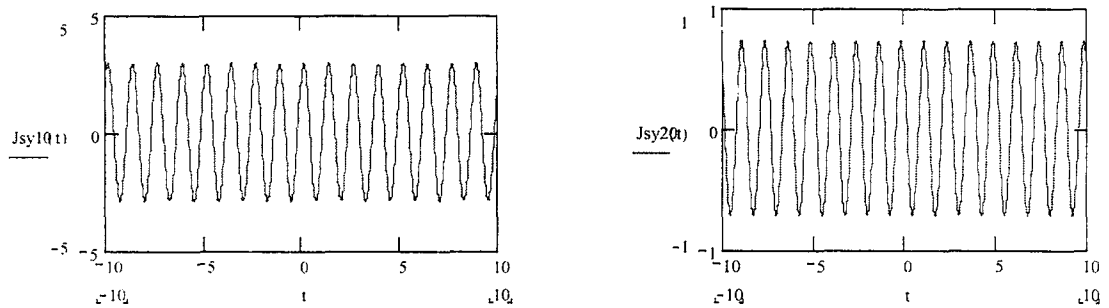
Bundan sonra levhalar üzerindeki akım yoğunluğunun zamanla değişimini gösteren grafikler ve sonuçları incelenmiştir. Aynı zamanda levhalar arasındaki uzaklık değiştirilerek akım yoğunluğuna olan etkisi de aşağıda irdelenmiştir.



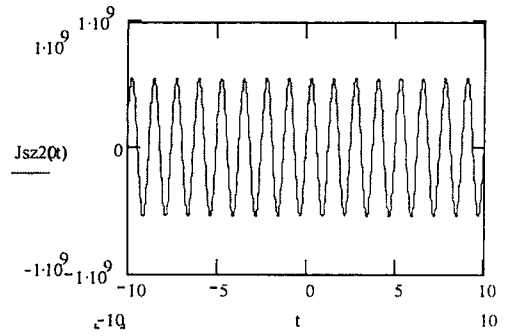
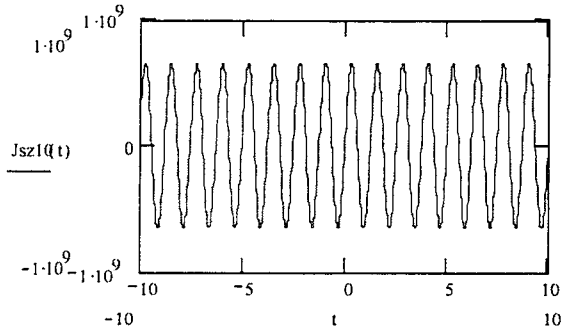
(a) $x=0$, $b=\lambda_1$ için 1. ve 2. Bölgedeki akım yoğunluğunun y bileşeninin zaman ile değişimi



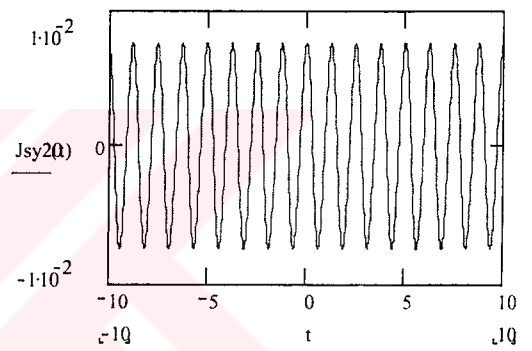
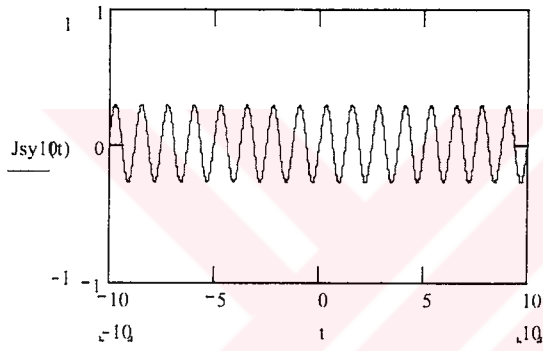
(b) $x=0$, $b=\lambda_1$ için 1. ve 2. Bölgedeki akım yoğunluğunun z bileşeninin zaman ile değişimi



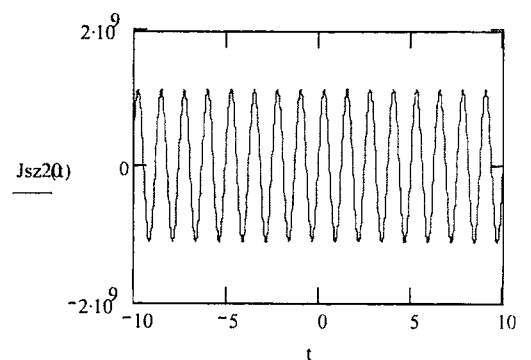
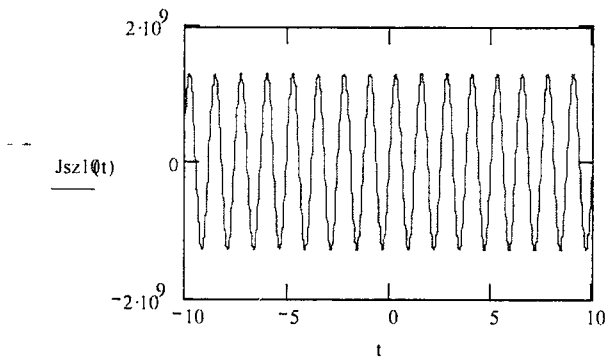
(c) $x=0$, $b=\lambda_1/2$ için 1. ve 2. Bölgedeki akım yoğunluğunun y bileşeninin zaman ile değişimi



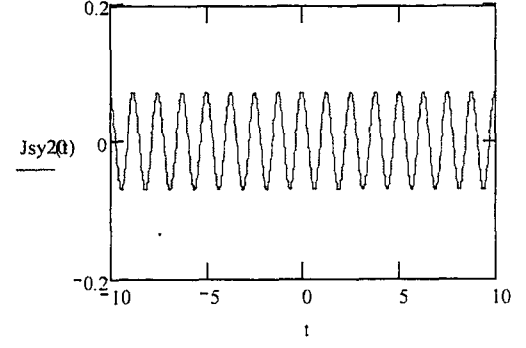
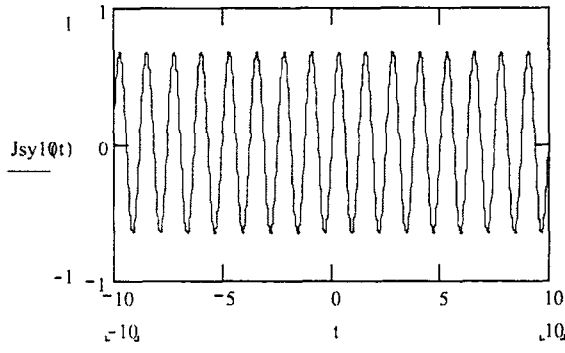
(d) $x=0$, $b=\lambda_1/2$ için 1. ve 2. Bölgedeki akım yoğunluğunun z bileşeninin zaman ile değişimi



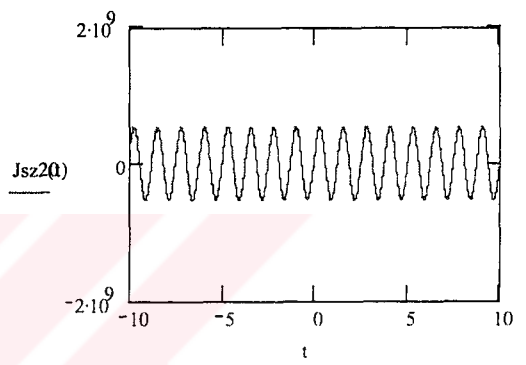
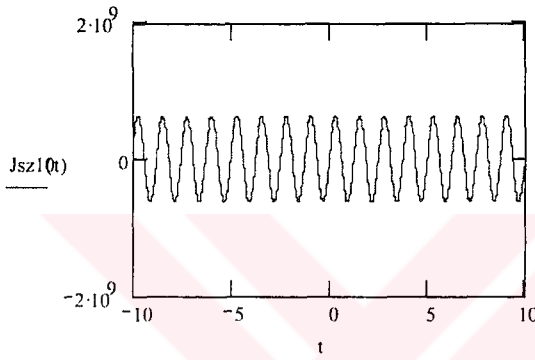
(e) $x=0$, $b=2\lambda_1$ için 1. ve 2. Bölgedeki akım yoğunluğunun y bileşeninin zaman ile değişimi



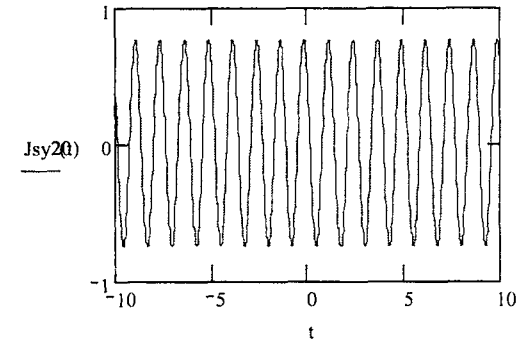
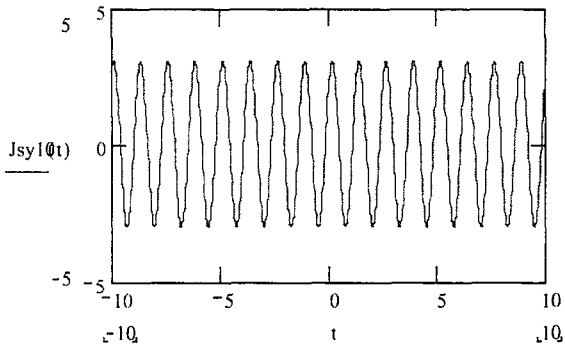
(f) $x=0$, $b=2\lambda_1$ için 1. ve 2. Bölgedeki akım yoğunluğunun z bileşeninin zaman ile değişimi



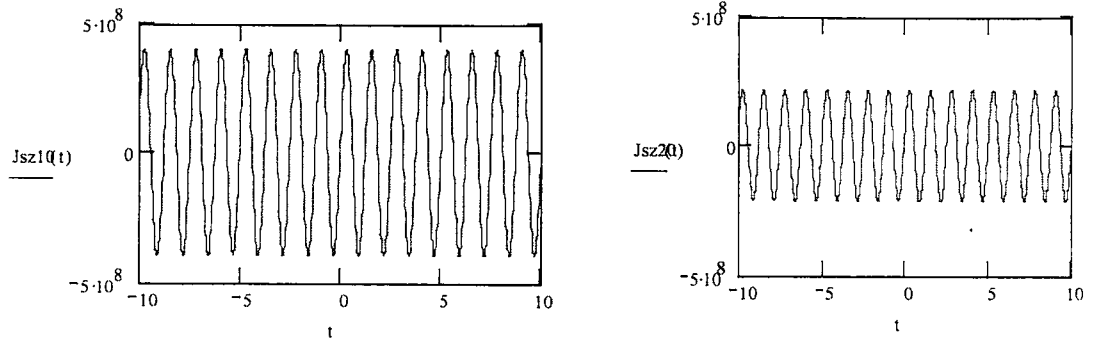
(g) $x=0$, $b=\lambda_2$ için 1. ve 2. Bölgedeki akım yoğunluğunun y bileşeninin zaman ile değişimi



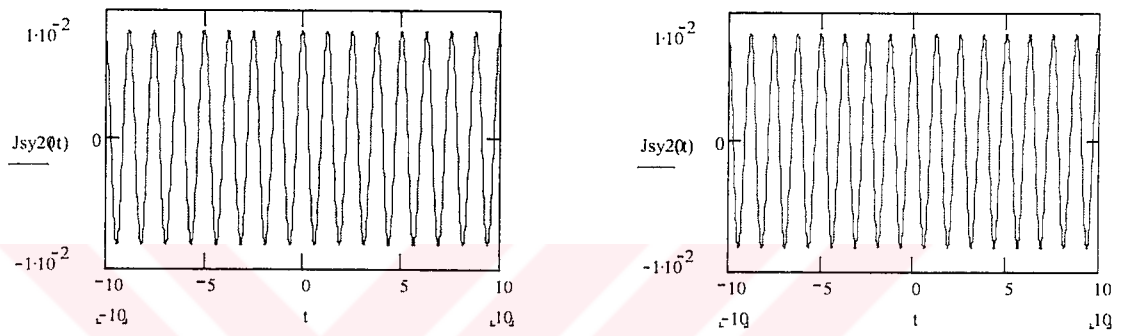
(h) $x=0$, $b=\lambda_2$ için 1. ve 2. Bölgedeki akım yoğunluğunun z bileşeninin zaman ile değişimi



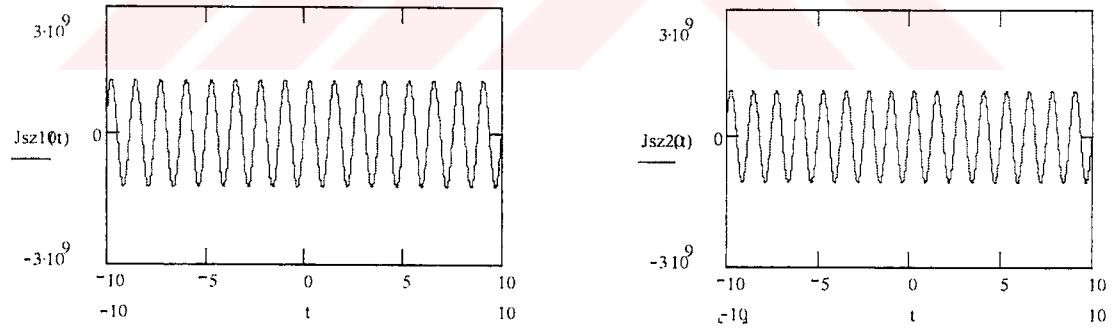
(i) $x=0$, $b=\lambda_2/2$ için 1. ve 2. Bölgedeki akım yoğunluğunun y bileşeninin zaman ile değişimi



(j) $x=0$, $b=\lambda_2/2$ için 1. ve 2. Bölgedeki akım yoğunluğunun z bileşeninin zaman ile değişimi



(k) $x=0$, $b=2\lambda_2$ için 1. ve 2. Bölgedeki akım yoğunluğunun y bileşeninin zaman ile değişimi

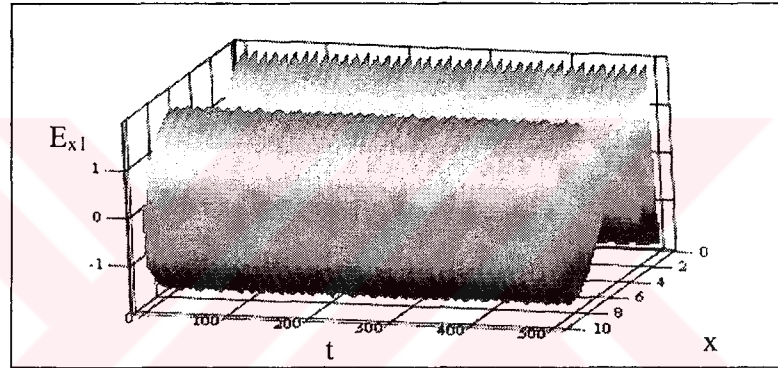


(l) $x=0$, $b=2\lambda_2$ için 1. ve 2. Bölgedeki akım yoğunluğunun z bileşeninin zaman ile değişimi

Şekil 5.37 1. ve 2. Bölgedeki $x=0$ levhası üzerindeki akım yoğunluğunun 40 GHz için levhalar arasındaki uzaklık ile değişimleri

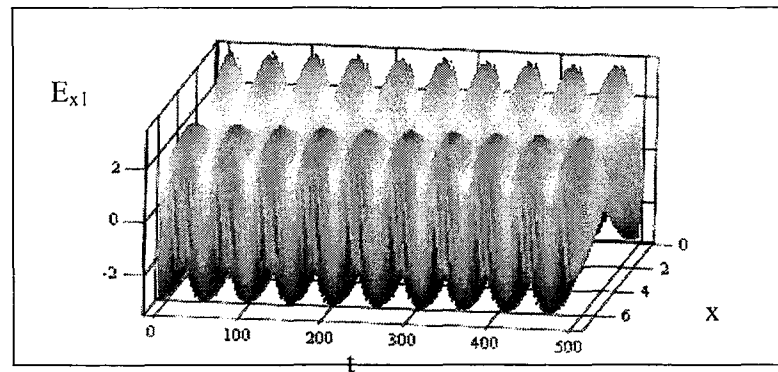
Elde edilen grafiklerden $x=0$ levhası üzerindeki akım yoğunluğunun her iki bölgedeki y ve z bileşeni levhalar arası uzaklık değişimi ile genlik değişimi gösterirken , y bileşenleri levhalar arasındaki uzaklık dalga boyunun yarısı alındığında faz değişimi de göstermektedir. Bu değişimler magnetik alanın z ve y bileşenlerinden kaynaklanan akım yoğunluğunun magnetik alan değişimi ile uyumunu da gösterir. Buradan hareketle $x=b$ üzerindeki akım yoğunluğu değişimlerinin de aynı karakterde olacağı ve bu değişimlerin frekanstan bağımsız olduğu da söylenebilir.

Frekans değişiminin levhalar üzerindeki akım yoğunluğuna etkisini 40GHz , 45GHz ve 50GHz için aşağıda 1.Bölgedeki elektrik alanın x bileşeni için incelenmiştir. Buradan görüleceği gibi 40Hz'den, 45GHz ve/veya 50GHz'e geçilirken genlikte belirgin bir artış gözlenmektedir. 45GHz'den 50GHz'e geçilirken genlikte önemli bir değişim oluşmamakla birlikte her hal için de yerel minimumların konumu kaymaktadır.



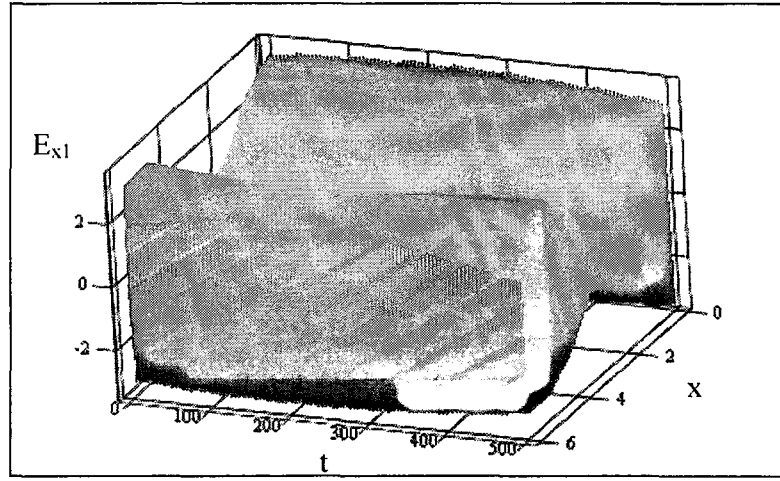
EX1

(a) $b=\lambda_1$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,50)$ saniye, 1. Bölgede 40GHz için elektrik alanın x bileşeni



EX1

(b) $b=\lambda_1$, $x \in (0,b)$ metre, $t \in (0,50)$ saniye, 1. Bölgede 45GHz için elektrik alanın x bileşeni



EX1

(c) $b=\lambda_1$, $x \in (0, b)$ metre, $t \in (0, 50)$ saniye, 1. Bölgede 50GHz için elektrik alanının x bileşeni

Şekil 5.38 1. Bölgedeki elektrik alanının x bileşeninin frekans ile değişimi

5.1 Özel Hal: Dispersiyonun Olmaması Durumu

Problemler uygun seçilmek suretiyle tezdeki problemi ortamın dispersiyonsuz olduğu hale indirmek mümkündür. Buna ilaveten her iki ortamın parametrelerinin birbirlerine eşitlenmesiyle süreksizlik de ortadan kaldırılmış olur. Böylelikle içi boş ve sonsuz geniş paralel levhali düzlemsel dalga kılavuzu hali elde edilir. Bu özel durumdaki literatürde mevcut bilinen çözüm ile tezde uygulanan yöntemin sonuçlarını karşılaştırmak, tezdeki sonuçların sınanması açısından makul bir yaklaşımdır. Bu nedenle önce levhaları arasında serbest uzay bulunan sonsuz geniş paralel levhali bir dalga kılavuzuna ilişkin literatürde mevcut bulunan sonuçlar aşağıda ifade edilerek buna ilişkin sonuçlar Şekil 5.39 ve Şekil 5.40 da verilmiştir.

TM_z modundaki alan denklemleri,

$$E_x(x, z, t) = \frac{1}{\omega \epsilon_0} \frac{n\pi}{b} \cos\left(\pi - \frac{n\pi}{b} x\right) \sin\left(\frac{\pi}{2} - \omega t + k_z z\right) \quad (5.1)$$

$$E_z(x, z, t) = \frac{1}{\omega \epsilon_0} (k^2 - k_z^2) \sin\left(\frac{n\pi}{b} x\right) \cos\left(\frac{\pi}{2} - \omega t + k_z z\right) \quad (5.2)$$

$$H_y(x, z, t) = \frac{n\pi}{b} \cos\left(\frac{n\pi}{b} x\right) \sin(\omega t - k_z z - \frac{\pi}{2}) \quad (5.3)$$

olarak yazılır. Burada,

$$k = \sqrt{\omega^2 \mu_0 \epsilon_0} \quad (5.4)$$

$$k_z = \sqrt{\omega^2 \mu_0 \epsilon_0 - \left(\frac{n\pi}{b}\right)^2} \quad (5.5)$$

olarak ifade edilmektedir. TE_z modundaki alan denklemleri ise,

$$E_y(x, z, t) = -\frac{n\pi}{b} \sin\left(\frac{n\pi}{b} x\right) \cos(\omega t - k_z z) \quad (5.6)$$

$$H_x(x, z, t) = \frac{k_z}{\omega \mu_0} \frac{n\pi}{b} \sin\left(\frac{n\pi}{b} x\right) \cos(\omega t - k_z z) \quad (5.7)$$

$$H_z(x, z, t) = \frac{1}{\omega \mu_0} (k^2 - k_z^2) \cos\left(\frac{n\pi}{b} x\right) \sin(\omega t - k_z z) \quad (5.8)$$

olarak yazılır.

Yukarıda açıklanan problemi tezdeki konfigürasyonla gerçeklemek için önce $\epsilon_1 = \epsilon_2 = \epsilon$ ve $\mu_1 = \mu_2 = \mu$ alınması gerekir. Bu durumda $\epsilon(\omega) = 1$ olur.

$$\epsilon(\omega) = 1 - \frac{\omega_q^2}{\omega^2 + \nu_c^2} - j \frac{\omega_q^2 \nu_c}{\omega(\omega^2 + \nu_c^2)} \quad (5.9)$$

olduğundan frekansa bağıllılığın ortadan kalkması ancak $\omega_q = 0$ halinde mümkündür. Bu durumda $\epsilon = 1$ olur. Propagasyon sabiti aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$\gamma = \sqrt{\left(\frac{n\pi}{b}\right)^2 - \omega^2 \mu_0 \epsilon_0} \quad (5.10)$$

Alan denklemleri,

$$E_{x1}(x, z, t) = \frac{\gamma_{is} b}{n\pi} B_1 \cos\left(\frac{n\pi}{b} x\right) \sin(\omega t - \gamma_{is} z) \quad (5.11)$$

$$E_{y1}(x, z, t) = -\frac{\omega\mu_0}{\gamma_{1s}} D_1 \sin\left(\frac{n\pi}{b}x\right) \cos(\omega t - \gamma_{1s}z) \quad (5.12)$$

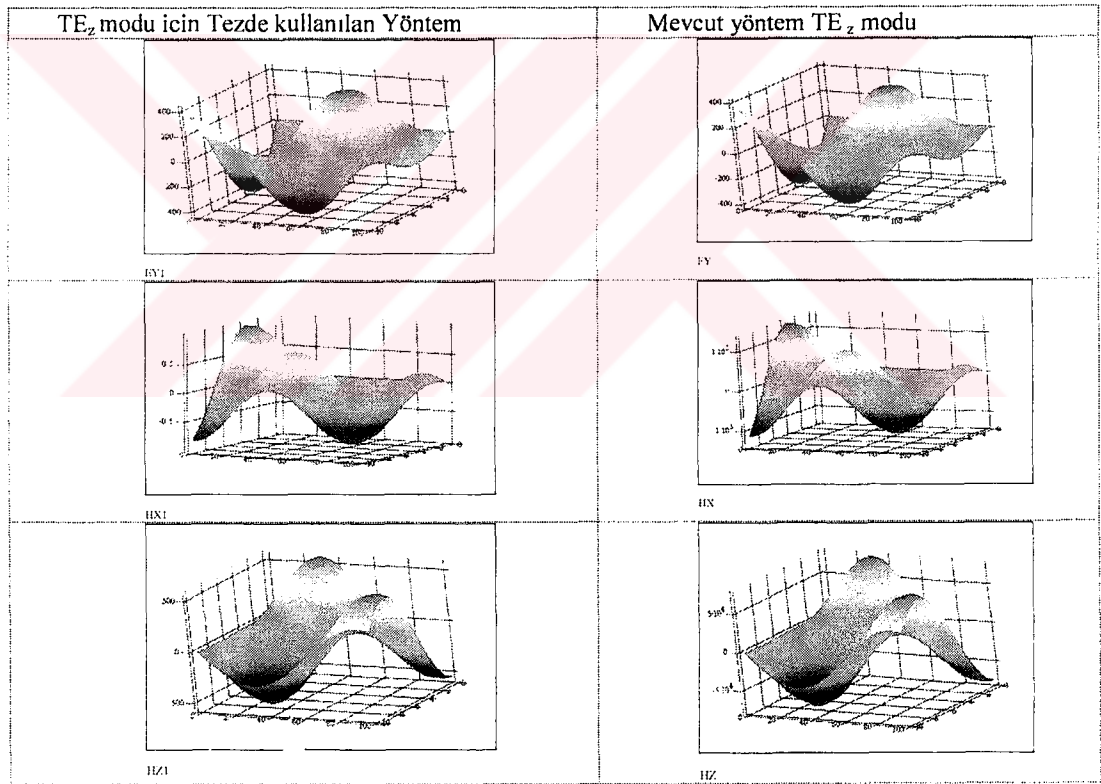
$$E_{z1}(x, z, t) = B_1 \sin\left(\frac{n\pi}{b}x\right) \cos(\omega t - \gamma_{1s}z) \quad (5.13)$$

$$H_{x1}(x, z, t) = D_1 \sin\left(\frac{n\pi}{b}x\right) \cos(\omega t - \gamma_{1s}z) \quad (5.14)$$

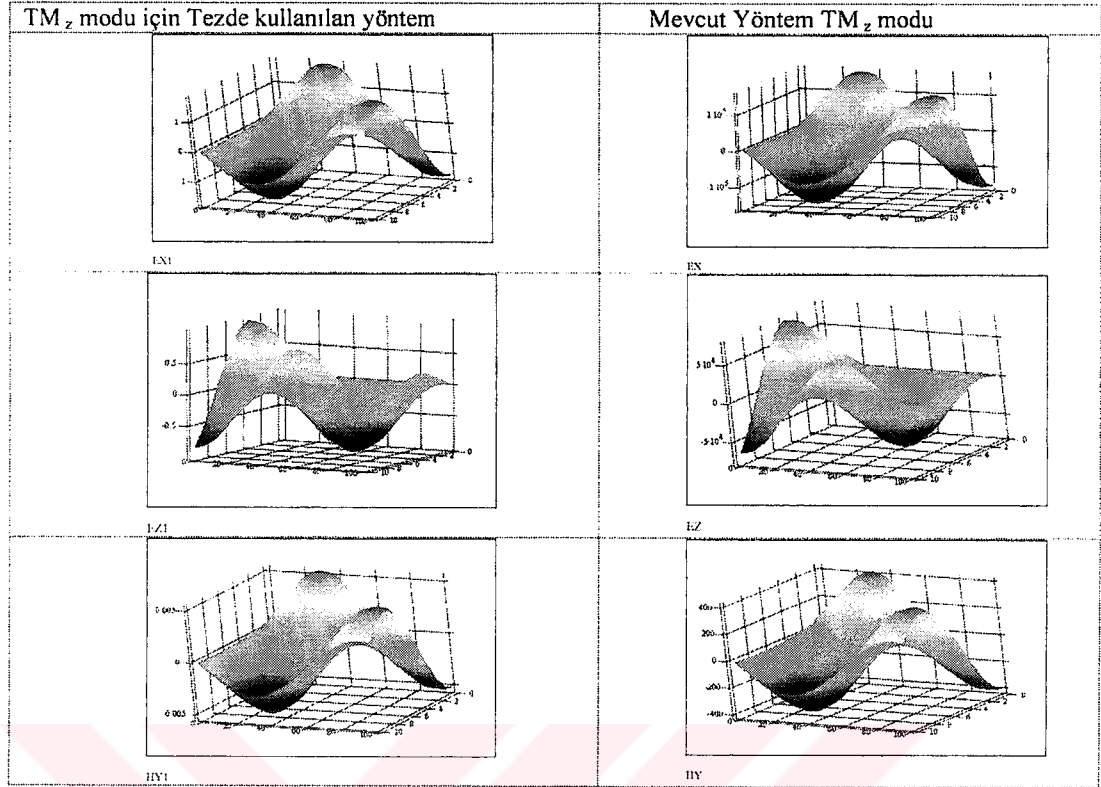
$$H_{y1}(x, z, t) = \frac{b\omega\epsilon_0}{n\pi} B_1 \cos\left(\frac{n\pi}{b}x\right) \sin(\omega t - \gamma_{1s}z) \quad (5.15)$$

$$H_{z1}(x, z, t) = -\frac{D_1}{\gamma_{1s}} \frac{n\pi}{b} \cos\left(\frac{n\pi}{b}x\right) \sin(\omega t - \gamma_{1s}z) \quad (5.16)$$

olarak elde edilir. $D_1=0$, $B_1 \neq 0$ için TM_z modu; $B_1=0$ ve $D_1 \neq 0$ için TE_z modu elde edilir.



Şekil 5.39 TE_z modu için özel halde alan grafikleri



Şekil 5.40 TM_z modu için özel halde alan grafikleri

6. SONUÇLAR

Bu çalışmada Drude dispersiyonuna sahip farklı dielektrik malzemelerin oluşturduğu ve iki adet mükemmel elektrik iletken ve sonsuz geniş düzlemsel levha arasına ve levhalara dik olarak yerleştirilmiş jonksiyon süreksizliklerinin etkileri incelenmiştir. İki adet mükemmel elektrik iletken ve sonsuz geniş düzlemsel levhanın oluşturduğu bir paralel levhalı dalga kılavuzu seçilmiştir. İki farklı karakteristikteki Drude malzemesi aralarındaki jonksiyon levhalara dik olacak şekilde levhalar arasına yerleştirilmiştir. Bu şekilde oluşturulan jonksiyon süreksizliklerinin etkileri incelenmiştir.

$x=0$ ve $x=b$ düzlemlerine birer elektriksel mükemmel elektrik iletken levha konmak suretiyle oluşturulan paralel levhalı dalga kılavuzunun levhaları arasındaki $z<0$ ve $z>0$ bölgeleri Drude tipinde dispersiyon karakteristiğine sahip, iletkenliği bulunmayan ve magnetik olmayan iki farklı malzeme ile doludur.

Levhalar arasındaki uzaklık değişimleri için elde edilen sayısal sonuçlardan x eksenindeki değişimlerin magnetik ve elektrik alan bileşenlerine etkileri irdelenmiştir.

x eksenindeki değişimi elektrik alanının x bileşeni için farklı iki ortamda da ters orantılı genlik değişimleri yaratmış ve dalga boyunun yarısında ise faz ötelemesi görülmüştür (Bkz. Şekil5.1a, Şekil5.1c). Elektrik alanının y bileşeninde de etki aynı özellikte kendini göstermektedir (Bkz. Şekil5.3a, Şekil5.3c). Ancak her iki bölgede de elektrik alanının z bileşeni genlik ve faz olarak herhangi bir değişime uğramamaktadır (Bkz. Şekil5.5a, Şekil5.5c, Şekil5.6a, Şekil5.6c). Aynı şekilde magnetik alanının x ve y bileşenleri yalnız birinci bölgede bir değişime uğramamakta (Bkz. Şekil5.7, Şekil5.9), ancak ikinci bölgede genlik değişimleri göstermektedir (Bkz. Şekil5.7a, Şekil5.8a). Magnetik alanının z bileşeni birinci ve ikinci bölgede genlik değişimleri gösterirken, faz olarak bir değişime uğramaktadır (Bkz. Şekil5.11, Şekil5.12).

Özetle, elektrik alanının x ve y bileşenlerinin x değişiminde etkilendiği z bileşeninin ise etkilenmediği ve magnetik alanının x ve y bileşenlerinin etkilenmeyip z bileşeninin genlik ve faz değişimi olarak etkilendiği sonucu bulunmuştur. Faz değişiminin frekans ile ters orantılı olduğu görülmüştür. Tüm bu sonuçlar 40GHz , 45GHz ve 50GHz için geçerlidir. Yani levhalar arası uzaklık değişiminin etkileri frekanstan bağımsızdır.

Levhalar arası uzaklık değiştikçe levhalar üzerindeki akım yoğunluğunun genliği değişim göstermektedir. Ayrıca y bileşeni levhalar arasındaki uzaklık dalga boyunun yarısı alındığında faz değişimi gösterir (Bkz. Şekil5.37). Bu değişim magnetik alan bileşeninde olduğu gibi

frekanstan bağımsızdır.

Magnetik ve elektrik alan bileşenlerinin frekans ile değişimi ele alındığında ise, 40Hz'den, 45GHz ve/veya 50GHz'e geçilirken genlikte belirgin bir artış gözlenmektedir 45GHz'den 50GHz'e geçilirken genlikte önemli bir değişim oluşmamakla birlikte her hal için de yerel minimumların konumu kaymaktadır (Bkz. Şekil 5.38).



KAYNAKLAR

Costa L. ve Şengör T., (2001), "Time-Harmonic Waves in a Dispersive and Isotropic Medium Between Two Infinite Parallel Plates", Helsinki University of Technology Electromagnetics Laboratory Report Series, Report No:370.

Harrington R.F., (1961), "Time-Harmonic Electromagnetic Fields", McGraw-Hill, 1960, New York.

Kunz K.S. ve Luebbers R.J., (1993), "The Finite Difference Time Domain Method for Electromagnetics", CRC Press, pp.135-138.

Ramiz R., (2000), "Dispersif Malzeme İçeren Dalga Kılavuzlarında Süreksizlik Etkilerinin İncelenmesi", YTÜ Doktora Tezi, İstanbul.

Ramiz R. ve Şengör T., (2000), "A Three-Port Power Divider with Frequency Selective Waveguide", Progress in Electromagnetics Research Symposium, PIERS'2000, Cambridge, MA., 5th – 14th July 2000, (INVITED PAPER).

Ramiz R. ve Şengör T., (2000), "A Rectangular Waveguide Partially Filled with Frequency Dependent Dielectric Materials", Progress in Electromagnetics Research Symposium, PIERS'2000, Cambridge, MA., 5th – 14th July 2000, (INVITED PAPER).

Şengör T., (2000), "Analytical Classification of Time and Frequency Dependence Basics In Dielectric Materials", Helsinki University of Technology Electromagnetics Laboratory Report Series, Report No:344.

Şengör T., (2001), "Boundary Conditions on Time and Frequency Dependable Intersection Surfaces", Helsinki University of Technology Electromagnetics Laboratory Report Series, Report No:362.

Şengör T., (2000), "First Order Multiple Inversion of Randomly Distributed Particles in a Dispersive Slab", Progress in Electromagnetics Research Symposium, PIERS'2000, Cambridge, MA., 5th – 14th July 2000, (INVITED PAPER).

Şengör T., (2002), "Wave Propagation in TVFD/TDFV Cold Plasma", URSI XXVIIth General Assembly, Maastricht, The Netherlands 17-24 August 2002.

EKLER

Ek 1 Grafiklerin çiziminde kullanılan parametre değerleri



Ek 1 Grafiklerin çiziminde kullanılan parametre değerleri

Par. Fre. (Ghz)	ϵ_1'	ϵ_1''	ϵ_2'	ϵ_2''	V_{c1}	V_{c2}	ω_{q1}	ω_{q2}
40	0.95	-0.2	0.99	-0.3	$-1.0048 \cdot 10^{12}$	$-7.536 \cdot 10^{12}$	$2.316 \cdot 10^{11}$	$7.54 \cdot 10^{11}$
45	0.6	-0.97	0.8	-1.05	$-6.85305 \cdot 10^{11}$	$-1.48365 \cdot 10^{12}$	$4.689 \cdot 10^{11}$	$6.754 \cdot 10^{11}$
50	0.7	-0.99	0.81	-1.04	$-1.0362 \cdot 10^{12}$	$-1.718737 \cdot 10^{12}$	$5.931 \cdot 10^{11}$	$7.616 \cdot 10^{11}$

Par. Fre. (Ghz)	σ_1	σ_2	n	b (m)	x (m)	z (m)	t (sn)
40	-0.4726265	-0.6679788	1	$\lambda_1 =$ $7.607 \cdot 10^{-3}$	0.01	+0.001 -0.001	1
				$\lambda_1/2$	0.005		
				$2 \cdot \lambda_1$	0.02		
				$\lambda_2 =$ $7.369 \cdot 10^{-3}$	0.01		
				$\lambda_2/2$	0.005		
				$2 \cdot \lambda_2$	0.02		
45	-0.28398	-0.2722567	1	$\lambda_1 =$ $6.238 \cdot 10^{-3}$	0.007		0.05
				$\lambda_1/2$	0.004		
				$2 \cdot \lambda_1$	0.012		
				$\lambda_2 =$ $5.799 \cdot 10^{-3}$	0.006		
				$\lambda_2/2$	0.003		
				$2 \cdot \lambda_2$	0.012		
50	-0.3005096	-0.2987866	1	$\lambda_1 =$ $5.445 \cdot 10^{-3}$	0.006		0.06
				$\lambda_1/2$	0.003		
				$2 \cdot \lambda_1$	0.006		
				$\lambda_2 =$ $5.222 \cdot 10^{-3}$	0.006		
				$\lambda_2/2$	0.003		
				$2 \cdot \lambda_2$	0.01		

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 13.10.1976

Doğum yeri İstanbul

Lise 1990-1993 Şehremini Lisesi

Lisans 1993-1997 İstanbul Teknik Üniversitesi
Elektrik-Elektronik Fak.
Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü

Çalıştığı kurumlar

1997-1999 Netaş Ar-Ge Yazılım Mühendisi
1999-Devam ediyor Türk Ekonomi Bankası A.Ş. Bilgi İşlem Merkezi
İnternet Yazılımları Uzmanı

