

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**EMP JENERATÖRÜNÜN  
İNCELENMESİ VE TASARIMININ  
OLUŞTURULMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Tayfun YARDIM**

**Enstitü Anabilim Dalı : ELEKTRİK-ELEKTRONİK  
MÜHENDİSLİĞİ**  
**Enstitü Bilim Dalı : ELEKTRONİK**  
**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Osman ÇEREZCİ**

**Haziran 2013**

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**EMP JENERATÖRÜNÜN  
İNCELENMESİ VE TASARIMININ  
OLUŞTURULMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Tayfun YARDIM**

**Enstitü Anabilim Dalı : ELEKTRİK-ELEKTRONİK  
MÜHENDİSLİĞİ  
Enstitü Bilim Dalı : ELEKTRONİK**

**Bu tez 28/06/2013 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.**

**Prof.Dr. Osman ÇEREZCİ  
Jüri Başkanı**

**Doç. Dr. Yılmaz UYAROĞLU  
Üye**

**Yrd. Doç. Dr. Mesut KAHRİMAN  
Üye**

## TEŞEKKÜR

Çalışmalarında bana her zaman destek olan bu tezin ortaya çıkmasında büyük katkı sağlayan tez danışmanı hocam Prof. Dr. Osman ÇEREZCİ'ye, simülasyon çalışmalarım için bana yardımcı olan Neslihan YASAV (Aktif Nesor Elektronik-CST MWS Programının deneme sürümünün sağlanması teknik desteğinin verdirilmesi), Davide TALLINI (CST-CST MWS teknik desteğinin birebir sağlanması) ve diğer CST çalışanlarına, bu tez konularında daha önce çalışmış Johanna ROSENLİND'e (KTH Royal Institute of Technology-e-mail desteği), Felix VEGA'ya (EPFL-e-mail desteği) teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca bana her zaman her konuda yardımcı olan çalışmalarım sırasında beni destekleyen ve sabreden eşime, anneme, babama ve varlığıyla bana mutluluk veren sevgili kızım Medine Ayşe'ye sonsuz şükranlarımı sunarım.

## İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	ix
TABLolar LİSTESİ.....	xii
ÖZET.....	xiii
SUMMARY.....	xiv
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.	
GERİLİM DARBESİNİN ÜRETİLMESİ.....	4
2.1. Giriş.....	4
2.2. Transmisyon Hattı.....	4
2.3. PFL'in Çalışma Prensipleri.....	6
2.4. PFL Parametreleri.....	7
2.4.1. Karakteristik empedans.....	8
2.4.2. Gerilim, uzunluk ve transmisyon süresi.....	9
2.4.3. Kıvılcım aralığı.....	11
2.4.3.1. Kırılma gerilimi ve aralık mesafesi.....	11
2.4.3.2. Darbe yükselme zamanı.....	12
2.5. PFL Devre Modeli.....	14
BÖLÜM 3.	
DARBE YAYIMLAYAN YARIM ANTEN.....	20

3.1. Giriş.....	20
3.2. Darbe Yayımlayan Anten.....	20
3.2.1. UWB teknolojileri.....	20
3.2.1.1. Radar ve sensör.....	21
3.2.1.2. Veri iletişimi.....	21
3.2.1.3. Kasıtlı elektromanyetik parazit.....	22
3.2.2. UWB antenleri.....	23
3.2.3. IRA geometrisi.....	24
3.2.4. IRA bileşenleri.....	25
3.2.4.1. Reflektör.....	25
3.2.4.2. Besleme kolları.....	26
3.2.4.3. Rezistörler.....	27
3.2.5. IRA çalışması.....	28
3.2.6. Kırınım.....	29
3.2.7. Elektriksel kırılma.....	31
3.3. Darbe Yayımlayan Yarım Anten.....	32
3.3.1. Topraklanmış düz iletken yüzey.....	33
3.3.2. HIRA eşdeğer devresi.....	33
3.3.3. HIRA darbesi.....	35

#### BÖLÜM 4.

HIRA SİMÜLASYONU.....	37
4.1. Giriş.....	37
4.2. Üç Boyutlu Çizim.....	37
4.2.1. Parabolik reflektör.....	38
4.2.2. Koaksiyel besleme noktası.....	39
4.2.3. Besleme kolları.....	40
4.2.4. Rezistör.....	41
4.2.5. Topraklanmış iletken düz plaka (TİDP).....	42
4.3. Port Tanımlaması.....	43
4.4. Simülasyon Sonuçları.....	43

BÖLÜM 5.	
SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	58
KAYNAKLAR.....	61
ÖZGEÇMİŞ.....	62

## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

$B$	: Band genişliği
$c$	: Işık hızı
cm	: Santimetre
$C$	: Kanal kapasitesi
$C_L$	: Şarj etme hattının toplam kapasitansı
CST MWS	: CST Macrowave Studio
$d$	: İdeal kıvılcım aralığının uzunluğu
dB	: Desibel
$D$	: Reflektörün çapı
DC	: Doğru akım
$E_t$	: Toplam enerji
ECC	: Elektronik iletişim komitesi
EM	: Elektromanyetik
EMP	: Elektromanyetik darbe
$\epsilon_0$	: Boşluğun permitivitesi
$\epsilon_r$	: Göreceli permitivite
$f$	: Frekans
$f_l$	: Band genişliğinin alt frekansı
$f_u$	: Band genişliğinin üst frekansı
$F$	: Reflektörün odak noktası uzunluğu
GHz	: Gigahertz
HIRA	: Darbe yayımlayan yarım anten
$I_{DC}$	: Şarj etme akımı
IRA	: Darbe yayımlayan anten
IEMI	: Kasıtlı elektromanyetik parazit
kHZ	: Kiloherz
$l$	: Kritik mesafe
L	: Hatların toplam uzunluğu

$L$	: Kanalın indüktansı
$L_1$	: Şarj etme hattının toplam uzunluğu
$L_2$	: Şarj olma hattının toplam uzunluğu
MHz	: Megahertz
ns	: Nanosaniye
$p$	: Basınç
$\rho_0$	: Normal koşullardaki hava yoğunluğu
$\rho$	: Yoğunluk
ps	: pikosaniye
PFL	: Darbe üretme hattı
PRF	: Darbe tekrarlama frekansı
$r_1$	: Transmisyon hattının dış iletkeninin yarıçapı
$r_2$	: Transmisyon hattının iç iletkeninin yarıçapı
$R_1$	: Besleme kollarıyla reflektör arasındaki direnç değeri
$R_G$	: Akım sınırlama direnci
$S/N$	: Sinyal-gürültü oranı
SF6	: Sülfür hexaflorid
$t_L$	: Elektron katlama indüktif zamanı
$t_r$	: Yükselme zamanı
$t_{res}$	: Elektron-katlama zamanı
$T_{bd}$	: Şarj etme hattının şarj olma süresi
$T_p$	: Transmisyon hattının gidiş-dönüş geçiş zamanı
TDR	: Zaman domeni yansıtıcı
TDS	: Zaman domeni çözücü
TEM	: Enine elektromanyetik
TİDP	: Topraklanmış iletken düz plaka
UWB	: Ultra geniş band
$V_{bd}$	: Kırılma gerilimi
$V_C$	: Kapasitör gerilimi
$V_{DC}$	: Besleme gerilimi
$Z_L$	: Yük empedansı



$Z_0$  : Karakteristik empedans  
 $Z_1$  : Sonlandırma empedansı  
 $\lambda$  : Dalgaboyu

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1.	DC-şarjlı bir darbe yayımlama sisteminin genel diyagramı.....	1
Şekil 2.1.	Bir koaksiyel transmisyon hattı örneği $d_2$ , iç iletkenin çapı $d_1$ ise dış iletkenin çapıdır.....	4
Şekil 2.2.	Bir Transmisyon hattının eşdeğer devresi.....	5
Şekil 2.3.	Koaksiyel kablo transmisyon hattı yapısı.....	5
Şekil 2.4.	PFL'in genel şeması.....	7
Şekil 2.5.	Değişik basınçlarda aralık mesafesine bağlı olarak kırılma gerilimi....	12
Şekil 2.6.	PFL'in LTSPICE® ile yapılmış devre modeli.....	14
Şekil 2.7.	50 kV'luk yüksek gerilim kaynağı ve $R_g = 200k\Omega$ için, kıvılcım aralığının kırılma gerilimine karşılık darbe tekrarlama frekansı eğrisi.....	16
Şekil 2.9.	Besleme gerilimi 50 kV ve kırılma gerilimi 15 kV için şarj etme hattındaki ve yükteki gerilimin zamana göre değişimi.....	17
Şekil 2.10.	Besleme gerilimi 50 kV ve kırılma gerilimi 29 kV için şarj etme hattındaki ve yükteki gerilimin zamana göre değişimi.....	17
Şekil 2.11.	Besleme gerilimi 50 kV ve kırılma gerilimi 39 kV için şarj etme hattındaki ve yükteki gerilimin zamana göre değişimi.....	18
Şekil 2.12.	Besleme gerilimi 50 kV ve kırılma gerilimi 49 kV için şarj etme hattındaki ve yükteki gerilimin zamana göre değişimi.....	18
Şekil 2.13.	Besleme gerilimi 50 kV, kırılma gerilimi 49 kV için devre modelinin yükündeki darbe şekli.....	19
Şekil 3.1.	IRA şematığı, Reflektör ve besleme kolları gösterilmiştir.....	24
Şekil 3.2.	Küresel simetrik dalgaların yansıtılarak yüzey dalgalarına dönüştürülmesi.....	25
Şekil 3.3.	IRA'nin besleme kollarının ön ve yandan görünüşü.....	26
Şekil 3.4.	Besleme kolları odak noktasında birleşir ve çiftli şekilde bağlanırlar..	27

Şekil 3.5. Besleme kollarıyla reflektör arasındaki birleşme noktasına yerleştirilen rezistör.....	27
Şekil3.6 Yüzey akımları elektromanyetik alan meydana getirir. Değişik potansiyellerdeki besleme kolları arasında küresel olarak simetrik TEM dalgası ortaya çıkar ve reflektöre doğru yayılır.....	28
Şekil 3.7. Besleme kol kenarıyla gelen TEM dalgası arasındaki etkileşim.....	30
Şekil 3.8. Gelen TEM dalgasıyla besleme kolları arasındaki etkileşim.....	30
Şekil 3.9. Dalgalarla reflektör kenarı arasındaki etkileşim.....	30
Şekil 3.10. Darbe yayımlayan yarım antenin üç boyutlu dış görünüşü.....	33
Şekil 3.11. HIRA'nın eşdeğer devresi.....	34
Şekil 3.12. Tipik bir HIRA darbesi ve alt bileşenleri.....	35
Şekil 4.1. Parabolik reflektörün uygun bir açıdan görünüşü.....	39
Şekil 4.2. Besleme noktasının HIRA'daki konumu.....	40
Şekil 4.3. Besleme kollarının geometrik şekili ve HIRA üzerindeki konumu....	40
Şekil 4.4. Rezistörlerin bağlantı durumu.....	41
Şekil 4.5. TİDP'nin boyutları ve HIRA'daki konumu.....	42
Şekil 4.6. Elektrik alanın reflektörün merkezinden 2 metre uzaklıkta zamana göre değişimi.....	44
Şekil 4.7. Elektrik alanın reflektörün merkezinden 3 metre uzaklıkta zamana göre değişimi.....	44
Şekil 4.8. Elektrik alanın reflektörün merkezinden 4 metre uzaklıkta zamana göre değişimi.....	45
Şekil 4.9. Elektrik alanın reflektörün merkezinden 5 metre uzaklıkta zamana göre değişimi.....	45
Şekil 4.10. HIRA'nın merkezinden uzaklıkla maksimum elektrik alanın değişimi.....	46
Şekil 4.11. Elektrik alanın reflektörün merkezinden 2 metre uzaklıkta frekansa göre dB cinsinden değişimi.....	46
Şekil 4.12. Elektrik alanın reflektörün merkezinden 3 metre uzaklıkta frekansa göre dB cinsinden değişimi.....	47
Şekil 4.13. Elektrik alanın reflektörün merkezinden 4 metre uzaklıkta frekansa göre dB cinsinden değişimi.....	47

Şekil 4.14. Elektrik alanın reflektörün merkezinden 5 metre uzaklıkta frekansa göre dB cinsinden değişimi.....	48
Şekil 4.15. EMP'nin, $x=0$ ve HIRA'nın yüzeyindeki ilerleyişi 1. ns'deki durum ..	48
Şekil 4.16. EMP'nin, $x=0$ ve HIRA'nın yüzeyindeki ilerleyişi 2. ns'deki durum....	49
Şekil 4.17. EMP'nin, $x=0$ ve HIRA'nın yüzeyindeki ilerleyişi 3. ns'deki durum...	49
Şekil 4.18. EMP'nin, $x=0$ ve HIRA'nın yüzeyindeki ilerleyişi 4. ns'deki durum....	49
Şekil 4.19. EMP'nin, $x=0$ ve HIRA'nın yüzeyindeki ilerleyişi 5. ns'deki durum....	50
Şekil 4.20. EMP'nin, $x=0$ ve HIRA'nın yüzeyindeki ilerleyişi 6. ns'deki durum....	50
Şekil 4.21. EMP'nin, $x=0$ ve HIRA'nın yüzeyindeki ilerleyişi 7. ns'deki durum....	50
Şekil 4.22. EMP'nin, $x=0$ ve HIRA'nın yüzeyindeki ilerleyişi 8. ns'deki durum....	51
Şekil 4.23. EMP'nin, $x=0$ ve HIRA'nın yüzeyindeki ilerleyişi 9. ns'deki durum....	51
Şekil 4.24. EMP'nin, $x=0$ ve HIRA'nın yüzeyindeki ilerleyişi 10. ns'deki durum...	51
Şekil 4.25. EMP'nin, $x=0$ ve HIRA'nın yüzeyindeki ilerleyişi 11. ns'deki durum...	52
Şekil 4.26. EMP'nin, $x=0$ ve HIRA'nın yüzeyindeki ilerleyişi 12. ns'deki durum...	52
Şekil 4.27. EMP'nin, $x=0$ ve HIRA'nın yüzeyindeki ilerleyişi 13. ns'deki durum...	52
Şekil 4.28. EMP'nin, $x=0$ ve HIRA'nın yüzeyindeki ilerleyişi 14. ns'deki durum..	53
Şekil 4.29. EMP'nin, $x=0$ ve HIRA'nın yüzeyindeki ilerleyişi 15. ns'deki durum...	53
Şekil 4.30. EMP'nin, $x=0$ ve HIRA'nın yüzeyindeki ilerleyişi 16. ns'deki durum...	53
Şekil 4.31. EMP'nin, $x=0$ ve HIRA'nın yüzeyindeki ilerleyişi 17. ns'deki durum...	54
Şekil 4.32. EMP'nin, $x=0$ ve HIRA'nın yüzeyindeki ilerleyişi 18. ns'deki durum...	54
Şekil 4.33. EMP'nin, $x=0$ ve HIRA'nın yüzeyindeki ilerleyişi 19. ns'deki durum...	54
Şekil 4.34. EMP'nin, $x=0$ ve HIRA'nın yüzeyindeki ilerleyişi 20. ns'deki durum...	55
Şekil 4.35. EMP'nin, $x=0$ ve HIRA'nın yüzeyindeki ilerleyişi 21. ns'deki durum...	55
Şekil 4.36. EMP'nin, $x=0$ ve HIRA'nın yüzeyindeki ilerleyişi 22. ns'deki durum...	55
Şekil 4.37. EMP'nin, $x=0$ ve HIRA'nın yüzeyindeki ilerleyişi 23. ns'deki durum...	56
Şekil 4.38. EMP'nin, $x=0$ ve HIRA'nın yüzeyindeki ilerleyişi 24. ns'deki durum...	56
Şekil 4.39. EMP'nin, $x=0$ ve HIRA'nın yüzeyindeki ilerleyişi 25. ns'deki durum...	56
Şekil 4.40. EMP'nin, $x=0$ ve HIRA'nın yüzeyindeki ilerleyişi 26. ns'deki durum...	57
Şekil 4.41. EMP'nin, $x=0$ ve HIRA'nın yüzeyindeki ilerleyişi 27. ns'deki durum...	57

## **TABLolar LİSTESİ**

Tablo 2.1. PFL'in tasarım parametrelerine verilen sayısal değerler.....	8
Tablo 5.1. Literatürden EMP Jeneratörüne örnekler.....	59

## ÖZET

Anahtar kelimeler: EMP, Elektronik Malzeme, Bilgisayar Simülasyonu

Kısa süreli Elektromanyetik Darbelerin (EMP) günümüzdeki önemi, uygulama alanları genişledikçe gitgide artmaktadır. Bu darbeler en çok savunma sektöründe kullanılmaktadır. Fakat bunların en bilinen uygulamasının, elektronik malzemelerin geçici, yüksek genlikli elektromanyetik darbelerle karşı dayanıklılığını incelemek olduğunu söylemek mümkündür. Bunun yanında son zamanlarda EMP'den, savaş ortamında düşmanın haberleşme sistemlerinin çökertilmesi ve polisten kaçan otomobillerin geçici ani elektromanyetik (EM) darbelerle durdurulması için yararlanılması düşünülmektedir.

Yukarda bahsedilen uygulamaları gerçekleştirmek için öncelikle EMP üretmek gerekir. Birçok tasarımın ilk aşaması olarak görülen bilgisayar simülasyonu aşaması, fiziksel tasarımda meydana gelebilecek aksaklıkları kolay bir şekilde düzeltip, optimal bir tasarım mekanizması sunacağından genelde EMP jeneratörü tasarımında da ilk aşama olarak görülmektedir.

Bu çalışma, EMP fenomeninin incelenmesi, literatürde araştırılması ve bir EMP sisteminin fiziksel olarak inşa edilmesinden önce bilgisayar ortamında tasarımının gerçekleştirilmesinden ibarettir. Tasarımın sonunda elde edilen çıktılarından sistemin elektronik malzemelerin hassaslık testlerinde kullanıp kullanılamıyacağı tartışılmıştır.

# **INVESTIGATION AND DESIGN OF AN EMP GENERATOR**

## **SUMMARY**

Key Words: EMP, Electronics Component, Computer Simulation

The importance of short duration Electromagnetic Pulses (EMP) nowadays as the application areas of it extending is increasing. These pulses mostly used in defence sector. However most known application of these pulses is investigating the hardness of the electronics components to the transient high amplitude short pulses. Besides lately it is thought that it can be used for damaging the communication equipment of the enemy in war conditions and to stop the automobiles which escape from the police.

Realizing the above mentioned applications first of all it is necessary to generate the EMP. Computer simulation stage which is seen as a first stage of many designs, is generally first stage of the EMP generator design to correct the mistakes that can be occurred in physical design and provide an optimal design mechanism.

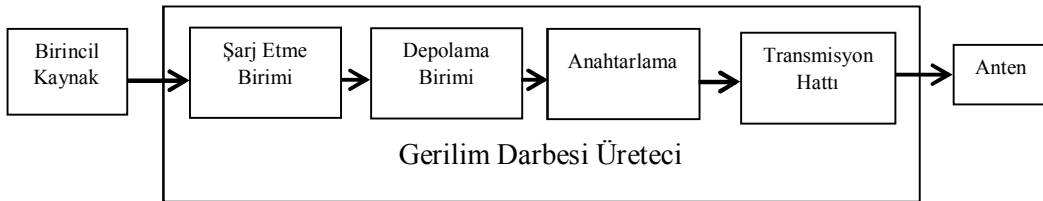
This study consists of investigating the EMP phenomenon, researching it in literature and before building a physical system, realizing the design in the computer simulation environment. At the result of the design it is discussed that if it can be used in electronics components susceptibility investigations or not.

## BÖLÜM 1. GİRİŞ

1960'lı yıllarda nükleer araştırmacılar pasifik okyanusunun üstünde birçok hidrojen bombası denemesi yapmışlardı. Fakat bir tanesinde yüksek irtifada yaptıkları denemede patlamanın olduğu yerden binlerce kilometre ötede bulunan Hawai'de sokak lambalarının söndüğünü gördüler. ve bu durum saatlerce sürmüştü. Bu olayın bombanın direkt etkisi yüzünden meydana geldiği söylenebilir. Fakat gerçekte sebep, bombanın patlaması sonucu etrafa yayılan ani Elektromanyetik Darbe (EMP)'dir.

Sokak lambalarının bu şekilde sönmesi olayı EMP'yi kullanan yeni bir sistemin icat edilmesini sağlamıştı. Bu sistem hedefini ani EM darbeleriyle etkilemektedir. EMP hedefin elektronik sistemiyle etkileşip bozabilir veya yok edebilir. Son zamanlarda nükleer patlama haricinde de böyle sistemlerin yapılabileceği gösterilmiştir. Fakat bunların etkisi nükleer patlamada meydana gelen etkiden çok daha sınırlıdır. Bu sistemleri kullanan teknolojilere Ultra Geniş-Band (UWB) teknolojileri de denilmektedir [1].

Nükleer patlama haricinde darbe oluşturan tipik bir DC beslemeli darbe yayımlayan sistem Şekil 1.1'de gösterildiği gibi üç ana alt birimden oluşur: Birincil yüksek gerilim kaynağı, gerilim darbesi üretici (buda birkaç alt birime ayrılabilir) ve anten [2].



Şekil 1.1. DC-şarjlı bir darbe yayımlama sisteminin genel diyagramı



Darbe yayımlayan sistemlerin çalışması darbeli-güç sistemlerine çok benzerdir. Bu sistemlerin çalışmalarının kısa bir özeti şöyle verilebilir:

- a. Bir yüksek gerilim düşük enerji kaynağı belli bir zaman periyodunda bir enerji depolama birimini (bir kapasitör yada kapasitörler) şarj eder. Belli bir şarj eşliğine ulaşıldıktan sonra depolanan enerji, hızlıca empedans uyumu olan bir transmisyon hattına oradan da yayımlanması için bir antene verilir.
- b. Yüksek gerilim birincil kaynak, sistemin maksimum teorik çalışma gerilimini belirler. Diğer taraftan, birincil kaynaktan elde edilen maksimum DC akımı ise, hem kaynak tarafından verilen enerjiyi ve depolama sisteminin şarj olma zamanını, hem de elde edilen maksimum teorik darbe tekrarlama frekansını belirler.
- c. Depolama birimi bir kapasitörden veya kapasitör takımından oluşur. Bu birim sistemin maksimum şarj olma gerilimine dayanabilmelidir. ve deşarj olurken düşük bir eşdeğer indüktans sergilemelidir.
- d. Depolanan enerji transmisyon hattının üstüne bir kapama anahtarı vasıtasıyla deşarj edilir. Bu elemanın dizaynı antene enjekte edilen darbenin genliğini ve yükselme zamanını belirler. Bu çeşitteki çoğu sistem, yüksek gerilimler, yüksek akımlarla ve 100 ps'ler civarına kadar düşebilen konum değiştirme zamanlarıyla çalışmaları yüzünden, kıvılcım aralığı anahtarını kullanır.
- e. Darbe, antene bir transmisyon hattı aracılığıyla enjekte edilir. Antenin ve transmisyon hattının karakteristik empedansları uyduğunda, maksimum transfer başarılı demektir.

- f. Yüksek genlikli elektromanyetik darbelerin yayımlanması için kullanılan antenler, yayımlanan darbe bandında düşük mekân ve frekans dispersiyonuna sahip olmalıdır. Bu, geniş-band sürekli dalga sinyallerinin transmisyonu için kullanılan geleneksel antenlerden farklıdır. Dahası, anten ark oluşturmadan, ortaya çıkan yüksek genlikli elektrik alanlara dayanabilmelidir. darbe yayımlayan anten ve yarı darbe yayımlayan anten gibi varyasyonlar bu şartları karşılar ve bu uygulamalarda yaygın olarak kullanılır.

Bu çalışma beş bölümden oluşmaktadır. Birinci bölüm girişde, darbe yayımlayan sistem hakkında genel bilgiler verilmiştir. İkinci bölümde darbe yayımlayan sistemin ilk aşaması olan gerilim darbesinin üretilmesi için Darbe Üretme Hattı (PFL) teorik olarak tanıtılıp bir devre modelleme programıyla böyle bir PFL'den bir gerilim darbesi üretilmiştir. Üçüncü bölümde Darbe Yayımlayan Yarım Antenin (HIRA) tanıtımı yapılmış, ilk olarak, bu antenin temeli olan Darbe Yayımlayan Anten (IRA) açıklanmış, sonunda ise HIRA açıklanıp, IRA'dan farkı ve üstünlükleri anlatılmıştır. Dördüncü bölümde ikinci bölümde üretilen gerilim darbesini girişine besleme olarak alan bir HIRA simülasyon tasarımı CST MWS programıyla yapılmış simülasyon sonunda alınan çıktılar için yorumlar yapılmıştır. Beşinci ve son bölümde ise bu çalışmanın sonunda elde edilen sonuçlar genel olarak yorumlanıp EMP jeneratörünün nerelerde kullanılabileceği tartışılmıştır.

## BÖLÜM 2. GERİLİM DARBESİNİN ÜRETİLMESİ

### 2.1. Giriş

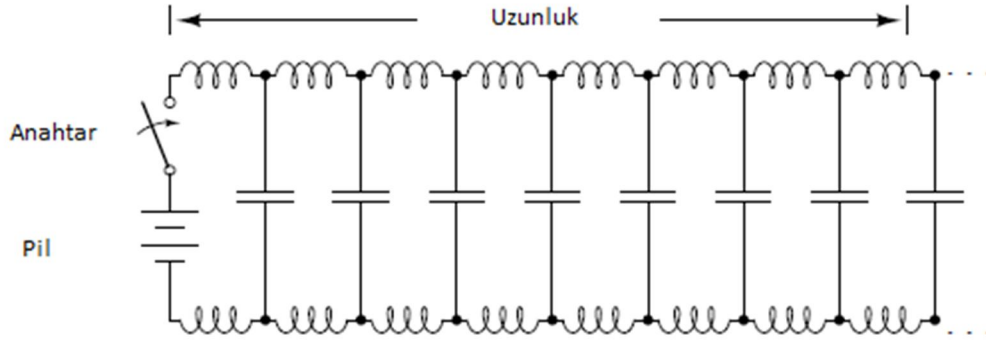
EMP sisteminin ortama darbe yayımlaması için ilk olarak IRA'ya uygun bir gerilim darbesi üretilip uygun bir şekilde bu darbenin antene verilip beslemesi yapılması gerekir. Gerilim darbesini üretmek ve bu darbeye anteni beslemek için çeşitli yöntemler mevcuttur. Bunlardan biriside koaksiyel tip besleme metodudur. Bu tezde basitliği nedeniyle bu metod kullanılacaktır. Bu besleme metodu ani gerilim darbeleri üretmek için Darbe Üretme Hattı (PFL)'ni kullanır. Bir PFL, çıkış koaksiyel hattına bağlanan, bir yük tarafından sonlandırılmış, kıvılcım aralığına deşarj olan DC beslemeli bir koaksiyel transmisyon hattından ibarettir. Transmisyon hatları elektromanyetikte olduğu gibi EMP sisteminde en önemli bileşenlerinden birisidir.

### 2.2. Transmisyon Hattı

Bir transmisyon hattı elektrik sinyallerini bir yerden bir yere taşımak için kullanılır. Özünde içinde bir iletken dışında bir iletken ve ortada bir dielektrik malzeme şeklinde inşa edilir. Böyle bir transmisyon hattı Şekil 2.1'de verilmiştir.



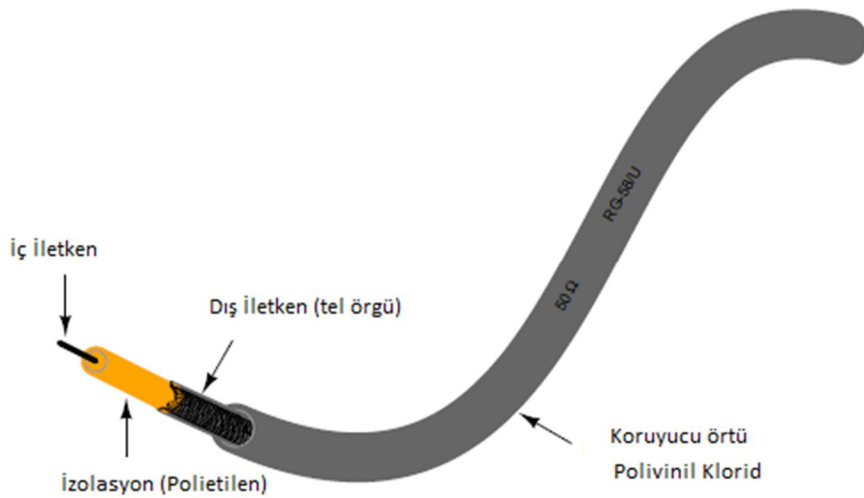
Şekil 2.1. Bir koaksiyel transmisyon hattı örneği  $d_2$ , iç iletkenin çapı  $d_1$  ise dış iletkenin çapıdır (Kuphaldt, 2007)



Şekil 2.2. Bir Transmisyon hattının eşdeğer devresi (Kuphaldt, 2007)

Dış iletkenle iç iletken arasında dielektrik malzeme olması demek, iki iletken arasında zıt yükler mevcutsa bu yüklerin iletkenlerde depolanabilmesi demektir. Buda transmisyon hattının uzunluğu boyunca kapasitörlerden meydana geldiğini gösterir. Ayrıca transmisyon hattı uzunluğu boyunca iletkenleri içinden akımda geçirdiğinden, iletkenlerinde indüktörlerden meydana geldiği söylenebilir. Böylece bir transmisyon hattının eşdeğer devresi Şekil 2.2'deki gibi düşünülebilir [3].

Anahtar açıldığında yükler kapasitörlerde depolanacak ayrıca indüktörlerden akım geçecektir. Kapasitörler burda elektrik enerjisini, indüktörler ise manyetik enerjiyi depolayacaktır. Gerilim darbesi paralel olarak akım darbeside seri olarak transmisyon hattının uzunluğu boyunca ilerleyecektir. Böyle bir transmisyon hattının günümüzde çok kullanılan haliyle bir örneği Şekil 2.3'de gösterilmiştir.

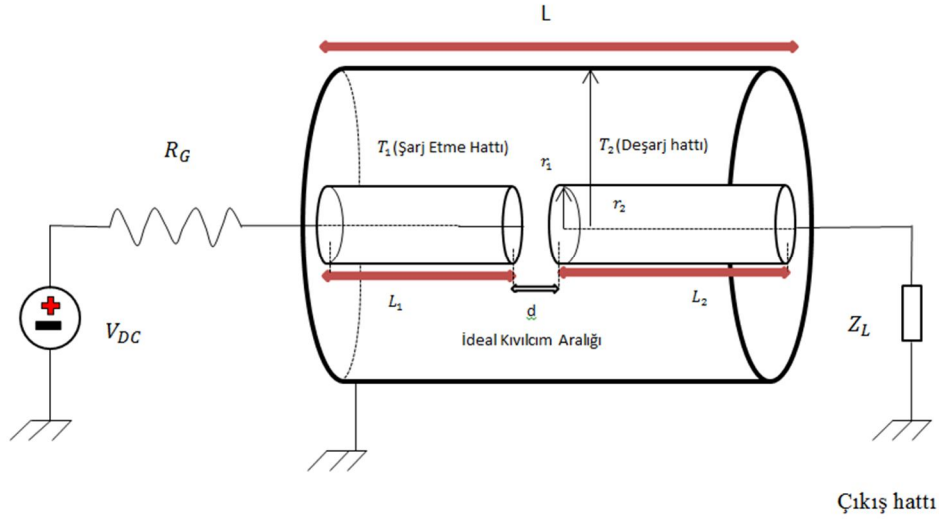


Şekil 2.3. Koaksiyel kablo transmisyon hattı yapısı (Kuphaldt, 2007)

### 2.3. PFL'in Çalışma Prensipleri

Genel olarak bir PFL sisteminin şeması Şekil 2.4'deki gibidir. Şekilde,  $V_{DC}$ , DC besleme gerilimini,  $R_G$ , Akım sınırlama direncini,  $T_1$ , şarj edilen Transmisyon hattını,  $T_2$ , yükün deşarj olduğu Transmisyon hattını,  $Z_L$ , yük empedansını,  $r_2$ , hatların dış iletkenlerinin yarıçapını,  $r_1$ , hatların iç iletkenlerinin yarıçapını  $d$ , ideal kıvılcım aralığının uzunluğunu,  $L_1$ , şarj etme hattının uzunluğunu,  $L_2$ , deşarj olma hattının uzunluğunu,  $L$  ise hattın toplam uzunluğunu ifade etmektedir. PFL'in çalışması şöyledir: Birincil enerji kaynağı olan DC besleme ile  $T_1$  transmisyon hattı şarj edilir. Hat şarj olurken kıvılcım aralığının kırılma gerilimine ulaşıldığında  $T_1$  transmisyon hattı kıvılcım aralığı üzerinden  $T_2$  transmisyon hattına ve  $Z_L$  yük empedansına deşarj olur. Kıvılcım aralığı üzerinden akım geçmeye başladığı anda iki adet darbe ortaya çıkar bunlardan birisi  $T_2$  transmisyon hattına ve  $Z_L$  yük empedansına doğru gider. Tam bir empedans uyuşması olursa darbe orda harcanır. Geri yansımaz. Diğer darbe ise kaynak tarafına doğru ilerler.  $T_1$  transmisyon hattı üzerinden  $R_G$  direncine ulaşır. Direnç yüksek bir değerde seçilirse darbe burda harcanmayıp empedans uyumsuzluğu yüzünden tam olarak geri yansıyacaktır. Bu darbenin gidiş geliş süresi boyunca kıvılcım aralığı kapalı olduğundan yük çıkışında bir gerilim darbesi meydana gelecektir. Gerilim darbesinin genliği, eğer  $T_1$  ve  $T_2$  arasında empedans uyuşmazlığı yoksa yaklaşık DC besleme değerinin yarısına eşit olacaktır. ( $V_{DC}/2$ ). Süresi ise  $T_1$  transmisyon hattından ilerleyen darbenin gidiş geliş süresine karşılık gelmektedir [4].

Kıvılcım aralığının diğer tarafındaki  $T_2$  transmisyon hattının girişinde darbe yükselme süresi ise kıvılcım aralığının indüktansına, kıvılcım aralığındaki elektrik alana ve kıvılcım aralığından karşı tarafa geçen elektronların mobilitesine bağlıdır.



Şekil 2.4. PFL'in genel şeması

## 2.4. PFL Parametreleri

PFL'in çalışma prensibi anlatıldıktan sonra tasarımı yapılmadan önce parametrelerinin belirlenmesi gerekir. Parametreler belirlendikten sonra bu parametrelere, tasarım için uygun değerler verilecektir. Sayısal değerler verildikten sonra ise son olarak PFL'in devre modeli olarak tasarımı gerçekleştirilecektir. PFL'in parametrelerine verilen sayısal değerlerin özeti Tablo 1.1'de verilmiştir.

Tablo 2.1. PFL'in tasarım parametrelerine verilen sayısal değerler

Nicelik	Sembol	Min. Değer	Tipik Değer	Maks. Değer
Karakteristik Empedans	$Z_0$		100 $\Omega$	
Çıkış Pik Gerilimi	$V_p$	7500 V		25000 V
Yükselme Zamanı	$t_r$	500 ps	680 ps	1 ns
Şarj olma gerilimi	$V_c$		50 kV	
Darbe genişliği	$T_p$	2 ns		
Darbe tekrarlama frekansı	PRF	264 kHz		2.89 MHz
Şarj etme akımı	$I_{DC}$		250 mA	
Kapasitans	$C_L$		5 pF	
Kırılma gerilimi	$V_{bd}$	15 kV		49 kV
Ortamin göreceli dielektrik sabiti	$\epsilon_r$		1.002	
İç iletkenin yarıçapı	$r_1$		5.656 mm	
Dış iletkenin yarıçapı	$r_2$		30 mm	
Akım Sınırlama Direnci	$R_g$		200 k $\Omega$	
Ortamin Basıncı	$p$	2 Bar		10 Bar

#### 2.4.1. Karakteristik empedans

Hattın dış ve iç iletkenlerinin boyutları, genel olarak hattın istenen karakteristik empedansına ve gerekli elektrik izolasyonunun seviyesine bağlıdır.

Hattın karakteristik empedansı ( $Z_0$ ) şöyle ifade edilebilir.

$$Z_0 = \frac{60}{\sqrt{\epsilon_r}} \ln \left( \frac{r_2}{r_1} \right) \quad (2.1)$$

Burda;

$r_2, r_1$ , sırasıyla dış ve iç iletkenlerin yarıçapları ve

$\epsilon_r$ , hattı dolduran dielektriğin göreceli permitivitesi'dir.

Buradan şu eşitliğe varılır:

$$\frac{r_2}{r_1} = e^{(Z_0 \sqrt{\epsilon_r}/60)} \quad (2.2)$$

$$r_1 = \frac{r_2}{e^{(Z_0 \sqrt{\epsilon_r}/60)}} \quad (2.3)$$

Tasarımda tayin edilen karakteristik empedans iki transmisyon hattı içinde  $Z_{T_1} = Z_{T_2} = 100\Omega$  olarak belirlenmiştir. Hattı dolduran dielektrik ise, sülfür hexaflorid (SF6) gazı olarak belirlenmiştir. SF6 için  $\epsilon_r = 1.002$ 'dir. hatların dış yarıçapları  $r_2 = 30 \text{ mm}$ 'dir.

Eşitlik (2.3)'den iç iletkenin yarıçapı;

$$r_1 = \frac{r_2}{e^{(Z_0 \sqrt{\epsilon_r}/60)}} = 5.656 \text{ mm} \quad (2.4)$$

olarak bulunur.

#### 2.4.2. Gerilim, uzunluk ve transmisyon süresi

Transmisyon hattı teorisine göre, PFL tarafından üretilen ve  $Z_L$  yüküne deşarj edilen gerilim, genlikleri, yük ve hat arasındaki empedans uyumsuzluğuna bağlı olan ardışık darbeler olarak ifade edilebilir. bu durumda  $Z_L$  yükündeki gerilim;

$$V(t) = \frac{V_{DC} Z_L}{Z_0 + Z_L} \left[ 1 - H(t - T_p) - \frac{Z_0 - Z_L}{Z_0 + Z_L} (H(t - T_p) - H(t - 2T_p)) + \left( \frac{Z_0 - Z_L}{Z_0 + Z_L} \right)^2 (H(t - 2T_p) - H(t - 3T_p)) - \dots \dots \dots \right] \quad (2.5)$$

olarak ifade edilir [2].



Burda;

$H(t)$ , Heaviside adım fonksiyonu

$V_{DC}$ , DC şarj etme gerilimi

$T_p$ , transmisyon hattının gidiş-dönüş geçiş zamanıdır.

$T_p$ , transmisyon hattının gidiş-dönüş geçiş zamanı şöyle tanımlanmaktadır:

$$T_p = \frac{2L_1}{c\sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.6)$$

Burda;

$c$ , ışık hızı,

$\epsilon_r$ , hattı dolduran dielektriğin göreceli permitivitesi,

$L_1$ , PFL'in şarj etme hattının uzunluğudur.

Şekil 2.4'de ( $Z_L = Z_0$ ) ise eşitlik (2.5) aşağıdaki eşitliğe indirgenir;

$$V(t) = \frac{V_{DC}}{2} [1 - H(t - T_p)] \quad (2.7)$$

Bu fonksiyon, süresi  $T_p$ , genliği  $0.5V_{DC}$  olan dikdörtgense bir darbe gerilimine denk gelmektedir.

Darbenin süresi maksimum yükselme zamanından daha büyük olmalıdır. Darbenin süresinin uzaması demek deşarj başına DC enerji miktarının daha fazla olması demektir. Böyle bir enerji anten tarafından yayımlanmayacaktır. Çünkü antenin darbe yayınına katkıda bulunan etkeni yalnızca uygulanan gerilimin türevidir. Bununla birlikte, darbe tekrarlama frekansı (PRF) hattın uzunluğuyla değişen hattın toplam kapasitansına bağlı olarak düşmektedir [2].

Bu parametrelerin hepsi hesaba katılarak  $T_1$  transmisyon hattı için uzunluğu  $L_1=15$  cm olan bir hattın kullanılması uygun bulunmuştur. Bu da darbe süresinin şu değerde olması demektir;

$$T_{p1} = \frac{2L_1}{c\sqrt{\epsilon_r}} = 1 \text{ ns} \quad (2.8)$$

$T_2$  transmisyon hattı için ise uzunluk  $L_2 =10$  cm olarak düşünülmüştür. Burdan;

$$T_{p2} = \frac{2L_2}{c\sqrt{\epsilon_r}} = 0.66 \text{ ns} \quad (2.9)$$

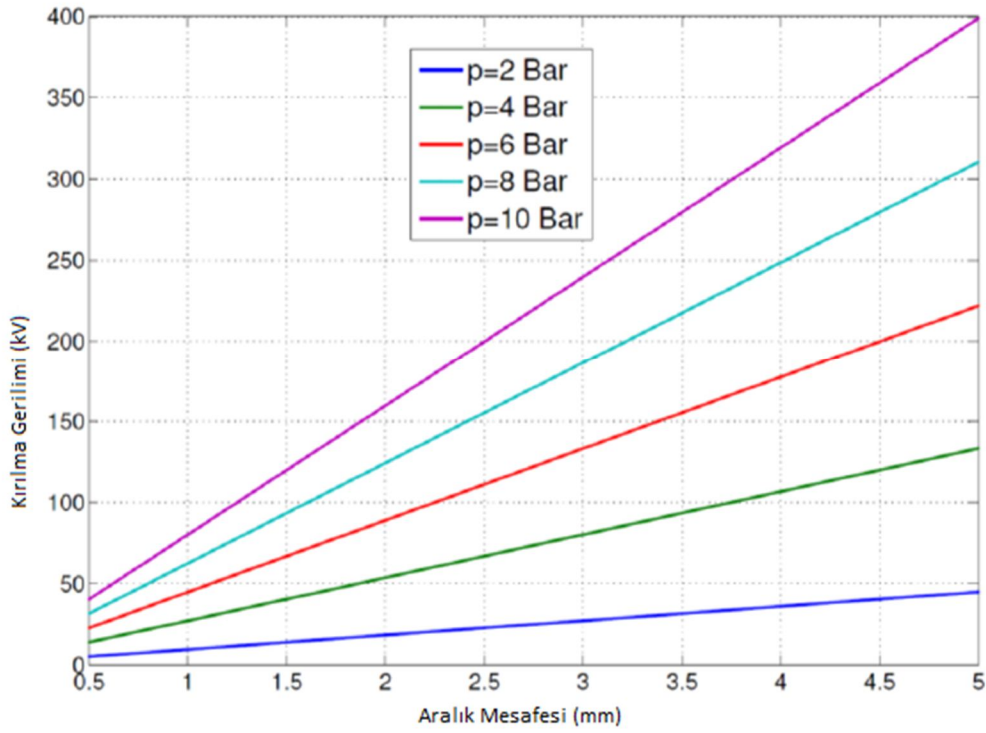
olarak belirlenir.

### 2.4.3. Kıvılcım aralığı

Kıvılcım aralığı anahtarı PFL'nin kritik bileşenlerinden birisidir. Bu elemanın dizayn parametreleri darbenin genliğini ve yükselme zamanını belirler.

#### 2.4.3.1. Kırılma gerilimi ve aralık mesafesi

Kırılma gerilimi ortama bağlı olarak değişmektedir. Bu çalışmada kıvılcım aralığının ortamı SF6 olarak belirlenmiştir. SF6'nın bulunduğu ortamda kıvılcım aralığında meydana gelecek elektriksel deşarj gerilimi kıvılcım aralığının uzunluğuna ve SF6'nın basıncına bağlıdır. Bu bağıntı Şekil 2.5'de gösterilmiştir. 50 kV'luk bir giriş beslemesi için sistemin 49 kV'luk bir gerilimde deşarj olması istenirse, seçilmesi gereken kıvılcım aralığının mesafesi basınca bağlı olarak grafikten bulunabilir. Grafikten görülmektedir ki, düşük basınçlı bir SF6 tercih edilirse, aynı kırılma gerilimi için daha uzun bir aralık mesafesi kullanılması gerekir.



Şekil 2.5. Değişik basınçlarda aralık mesafesine bağlı olarak kırılma gerilimi (Stavro, 2011)

#### 2.4.3.2. Darbe yükselme zamanı

Darbenin yükselme zamanı, aralığa uygulanan elektrik alanı, kanalın indüktansı ve elektrodlar-arası boşluktaki iyonların mobilitesine bağlıdır.

Darbenin toplam yükselme zamanı;

$$t_r = \sqrt{t_L^2 + t_{res}^2} \quad (2.10)$$

şeklinde verilebilir.

Burda  $t_{res}$ , deşarjın rezistif parçasıyla ilgili olan elektron-katlama zamanı ve  $t_L$  'de elektron-katlama indüktif zamanıdır ve bunlar;

$$t_L = \frac{L}{Z} \quad (2.11)$$

$$t_{res} = \frac{88}{Z^{\frac{1}{3}} E^{\frac{4}{3}}} \sqrt{\frac{\rho}{\rho_0}} \quad (ns) \quad (2.12)$$

şeklinde ifade edilebilir.

Burda;

$L$ , kanalın indüktansı,  $14 \text{ nH/cm}$  'dir.

$Z$ , kıvılcım aralığını harekete geçiren devrenin empedansıdır. ( $Z_0$ )

$\rho$ ,  $p$  basıncındaki gaz yoğunluğudur.

$\rho_0$ , normal koşullardaki hava yoğunluğudur.

$E$ ,  $MV/m$  olarak elektrik alan şiddetidir.  $E = V_{bd}/d$  ( $MV/m$ ) olarak ifade edilebilir.

Aralıkta tekdüze bir elektrik alan olduğu varsayılmaktadır. Eğer elektrodlar arasındaki elektrik alan tekdüze değilse aralığın geometrisine bağlı olarak iyileştirme faktörü ( $F$ ) eşitliğe eklenmelidir böylece  $E = F V_{bd}/d$  ( $MV/m$ ) olarak ifade edilecektir.

Eğer en kısa yükselme zamanı elde edilmek istenirse, basınç 10 bar seçilmelidir.

Basınç 10 bar seçildiğinde (2.12)'den  $t_{res} = 378 \text{ ps}$  ve  $t_L = 7 \text{ ps}$  olarak bulunabilir.

Elektron-katlama zamanı aşağıdaki eşitlikler kullanılarak %10-%90 yükselme zamanlarına çevrilebilir.

$$t_{res(10-90)} = 1.8 t_{res} \quad (2.13)$$

$$t_{L(10-90)} = 2.2 t_L \quad (2.14)$$

ve sonuçta ortaya çıkan yükselme zamanı (%10-%90) şöyle olacaktır;

$$t_{r(10-90)} = \sqrt{t_{L(10-90)}^2 + t_{res(10-90)}^2} \quad (2.15)$$

Elde edilen değerler formüllerde yerine konursa  $t_{r(10-90)} = 680 \text{ ps}$  olarak bulunur.

Bu değer yükselme zamanı için iyi bir değerdir. Hattın akım sınırlama direnci tarafında kullanılan direnç SF6 gazını sol taraftan kapatacak ve dışarı sızmasına

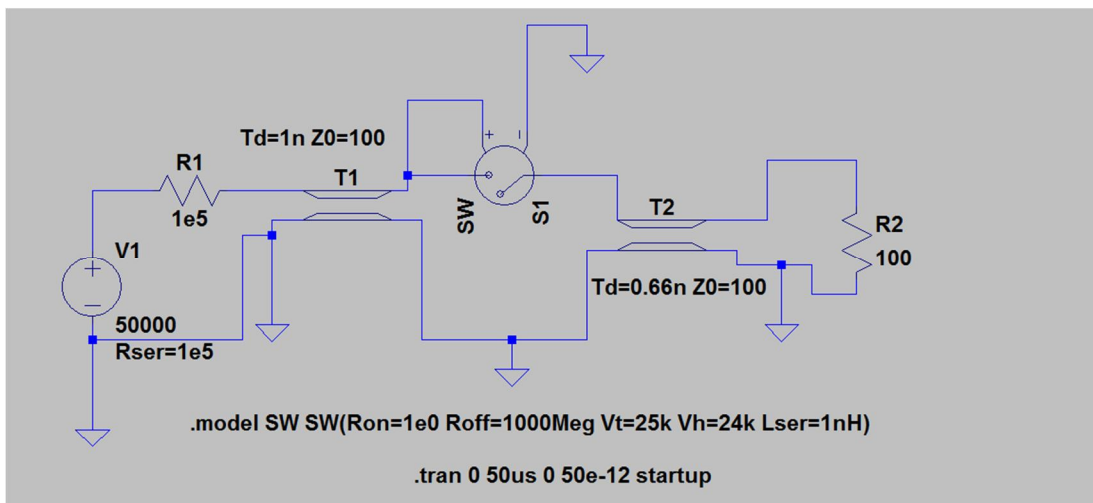
engel olacaktır. Sağ tarafta ise SF6'nın sızması için plastik kapak kullanılabilir. Fakat plastik kapaklar hattın karakteristik empedansına yeni bir karakteristik empedans ekleyecek bu empedansda hatla uyumsuzluk meydana getirecektir. Bu uyumsuzluk yük tarafında yansımalar neden olacaktır. Bu empedans uyumsuzluğunu önlemek için genelde hattın sağ tarafında elektromanyetik lensler kullanılır. Böylece empedans uyumsuzluğu olmadan SF6 gazı lensle kapatılıp dışarı sızdırılmayacak, hemde yansımalar önlenmiş olacaktır.

## 2.5. PFL Devre Modeli

Sistemin darbe tekraralama frekansı, Şekil 2.6'daki, PFL'in devre modeli kullanılarak hesaplanabilir.

Şekil 2.6'da, V1 birincil yüksek gerilim kaynağı, R1, akım sınırlayan direnç,  $C_L$ , şarj etme hattının toplam kapasitansıdır. Şarj etme hattı kırılma gerilimine ulaştığında, gerilim kontrollü anahtar aktif olur ve böylece kaynakla çıkış transmisyon hattı birbirine bağlanır.

Eğer PFL'in deşarj zamanı şarj zamanından daha kısa olursa, aralık kapasitansı  $C_L$ 'den küçük olursa, ve kıvılcım aralığı ideal bir anahtar olarak düşünülürse, PRF şöyle tanımlanabilir.



Şekil 2.6. PFL'in LTSPICE® ile yapılmış devre modeli

$$PRF = \frac{1}{T_{bd}} \quad (2.16)$$

Burda;

$T_{bd}$ ,  $C_L$ 'nin, kıvılcım aralığının kırılma gerilimine ( $V_{bd}$ ) şarj olması için gereken süredir.

Şarj etme zamanı boyunca, kapasitörün gerilimi şöyle hesaplanabilir;

$$V_C = V_{DC}(1 - e^{-t/R_g C_L}) \quad (2.17)$$

Burdan;

$$T_{bd} = R_g C_L \ln\left(\frac{V_{DC}}{V_{DC} - V_{bd}}\right) \quad (2.18)$$

$$PRF = \frac{1}{R_g C_L \ln\left(\frac{V_{DC}}{V_{DC} - V_{bd}}\right)} \quad (2.19)$$

olarak bulunabilir.

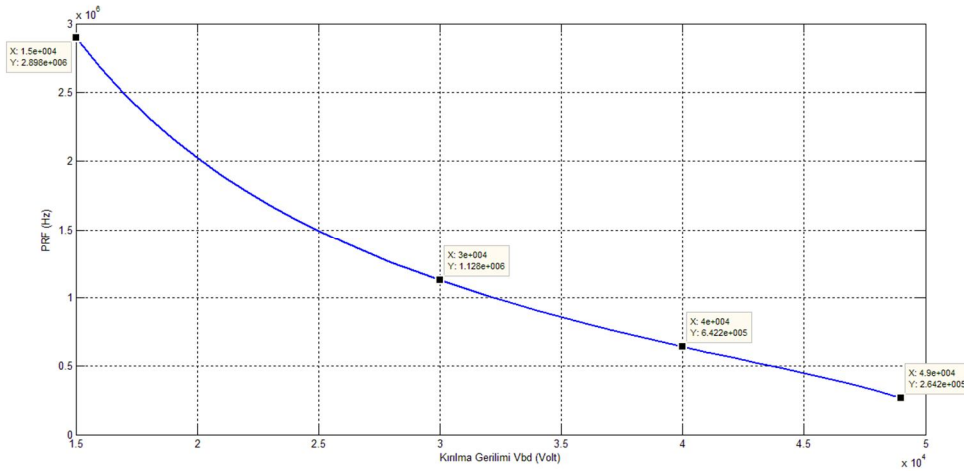
PFL'in şarj etme hattının kapasitansı şöyledir;

$$C_L = \frac{2\pi\epsilon_0}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)} (F/m) \times L(m) = 33.32 \left(\frac{pF}{m}\right) \times 0.15(m) = 5 pF \quad (2.20)$$

$R_g$  direnci kaynağın kısa-devre akımını maksimum 250 mA'ye sınırlayan dirençdir.

Buda şu değere tekabül eder;

$$R_g = \frac{V_{DC}}{250 mA} = \frac{50 kV}{250 mA} = 200 k\Omega \quad (2.21)$$

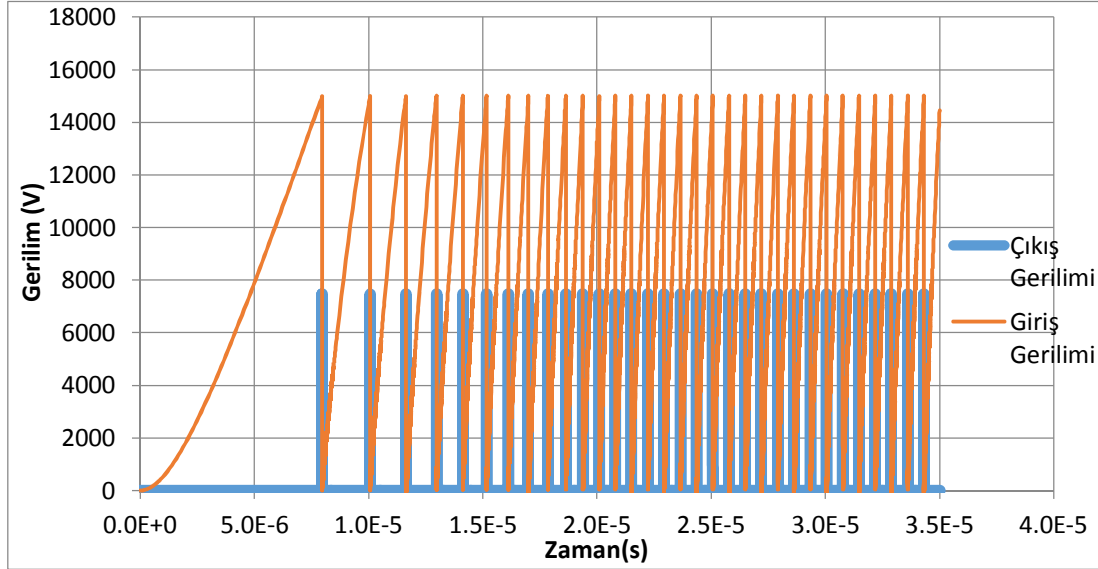


Şekil 2.7. 50 kV'luk yüksek gerilim kaynağı ve  $R_g = 200 \text{ k}\Omega$  için, kıvılcım aralığının kırılma gerilimine karşılık darbe tekrarlama frekansı eğrisi

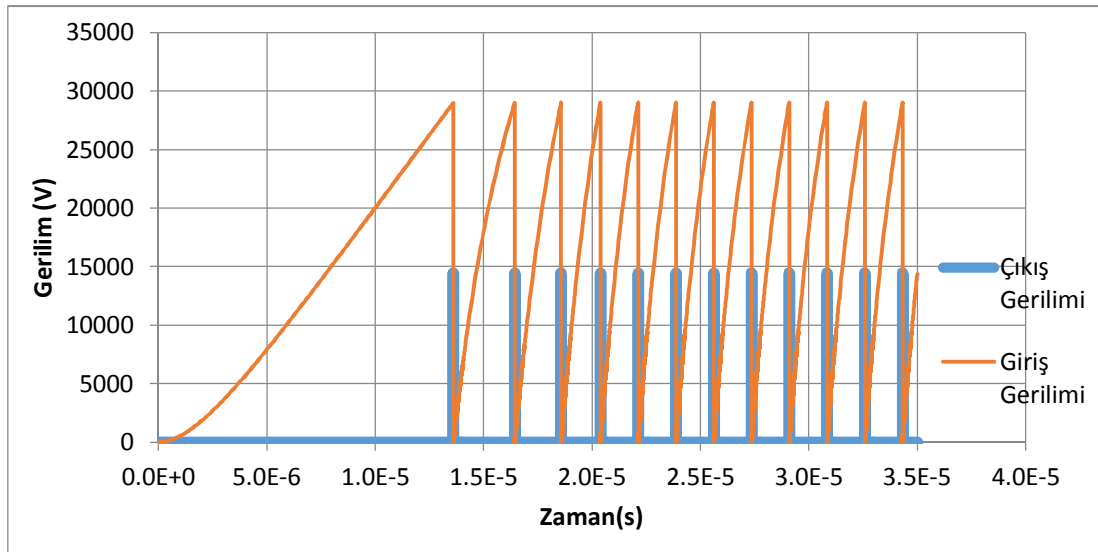
Kıvılcım aralığının kırılma gerilimine karşılık PRF'in teorik değerleri Şekil 2.7'de gösterilmiştir. PRF'in aralığı  $264 \text{ kHz} < PRF < 2.89 \text{ MHz}$  'dir.

Şarj etme hattındaki giriş gerilimleri ve yükteki çıkış gerilimlerinin dalga şekilleri kıvılcım aralığındaki kırılma geriliminin 15, 29, 39 ve 49 kV değerleri için Şekil 2.8.a,b,c,d'de gösterilmiştir. Şekilde şarj etme hattındaki gerilim turuncu renk, yükteki gerilim ise mavi renk ile gösterilmiştir

Şekil 2.8'den jeneratör tarafından verilen toplam gücün ( $W_t$ ), darbe başına enerji çarpı saniyedeki darbe sayısı olarak hesaplanabileceği ve bu niceliğin  $V_{bd}$ 'ye bağlı olarak değiştiği çıkarılabilir.

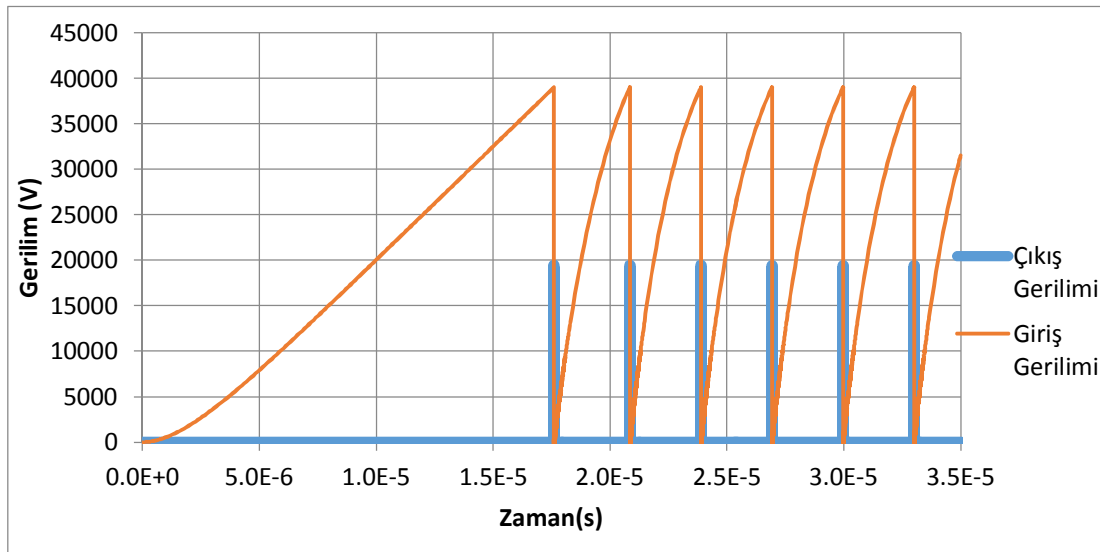


Şekil 2.8. Besleme gerilimi 50 kV ve kırılma gerilimi 15 kV için şarj etme hattındaki ve yükteki gerilimin zamana göre değişimi

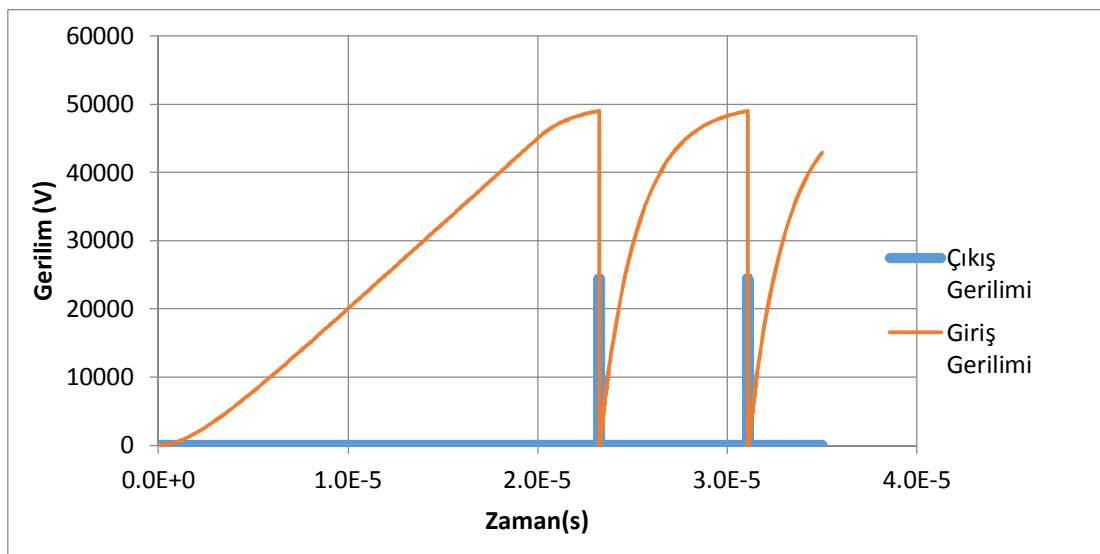


Şekil 2.9. Besleme gerilimi 50 kV ve kırılma gerilimi 29 kV için şarj etme hattındaki ve yükteki gerilimin zamana göre değişimi



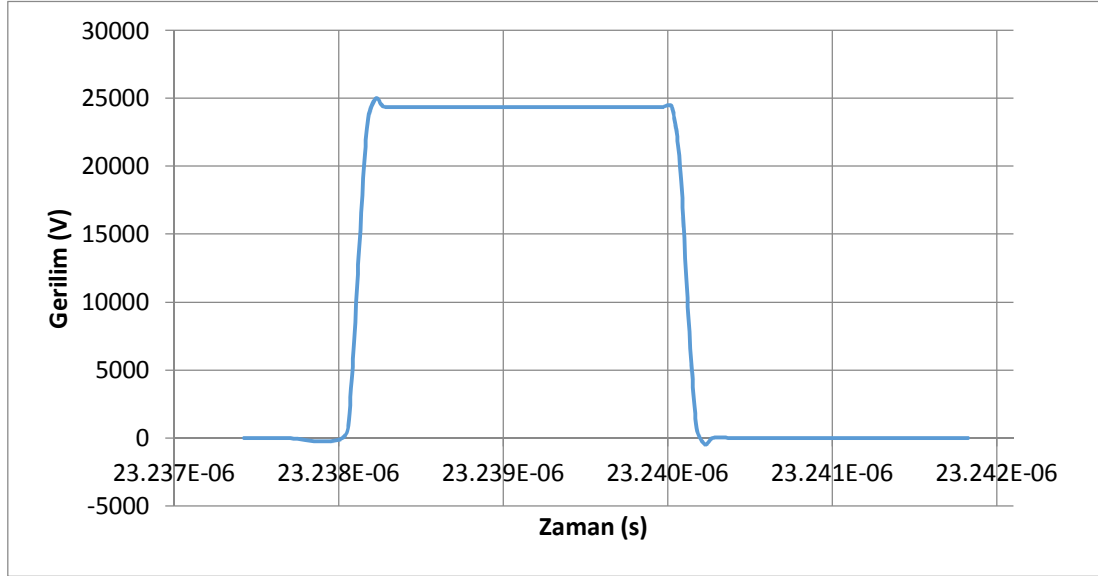


Şekil 2.10. Besleme gerilimi 50 kV ve kırılma gerilimi 39 kV için şarj etme hattındaki ve yükteki gerilimin zamana göre değişimi



Şekil 2.11. Besleme gerilimi 50 kV ve kırılma gerilimi 49 kV için şarj etme hattındaki ve yükteki gerilimin zamana göre değişimi

PFL'in devre modeli olarak tasarımından sonra yükte elde edilen gerilim darbesi kırılma geriliminin 49 kV'luk değeri için Şekil 2.9'da gösterilmiştir. Şekil 2.9'daki darbe şekli Şekil 2.6'daki PFL devresinin simülasyonu sonucunda elde edilmiştir. Bu sonuca göre darbenin yükselme ve düşme zamanı yaklaşık olarak 200 ps civarındadır. Bu çok ideal bir değerdir. Gerçekte bu değere ulaşmak zordur. Darbenin süresi 2 ns civarındadır. Buda beklenen bir değerdir. Çünkü şarj etme hattından darbenin gidiş dönüş süresi 2 ns olacaktır.



Şekil 2.12. Besleme gerilimi 50 kV, kırılma gerilimi 49 kV için devre modelinin yükündeki darbe şekli

## **BÖLÜM 3. DARBE YAYIMLAYAN YARIM ANTEN**

### **3.1. Giriş**

Darbe Yayımlayan Yarım Anten (HIRA), gerilim darbesinin elde edilmesinden sonra darbenin uygulandığı antendir. Bu anten bir IRA'nın yarısının ortadan kesilip, tabana düz bir iletken plaka konulmasıyla elde edilir. Bu antenlerin tanıtılması ve antene darbenin uygulanmasından önce IRA'yı incelemek ve tanımak yerinde olacaktır.

### **3.2. Darbe Yayımlayan Anten**

Darbe Yayımlayan Anten (IRA) EMP jeneratörünün ikinci ve en önemli bileşenidir. IRA kritik bir bileşendir. Çünkü sinyaldeki frekanslar için band geçiren filtre görevi görmektedir. IRA kısa darbeleri ilettiği ve yaydığı için bir Ultra Geniş Band (UWB) antendir. Uygulamada tüm resmi kavramak için UWB teknolojilerini iyi anlamak gerekir.

#### **3.2.1. UWB teknolojileri**

2002 yılında Elektronik İletişim Komitesi (ECC) radyo spektrumunun kullanımının daha uyumlu hale gelmesi amacıyla toplanmıştır. Bu toplantıda elektronik iletişim için ortak bir zemin geliştirilmiş böylece UWB teknolojilerinin diğer teknolojilere olumsuz etkileri önlenmiştir.

ECC sanıldığı gibi aksine UWB uygulamalarının spesifik bir frekans bandında olacağı hakkında bir sınırlama getirmemiş, UWB teknolojilerinin kullanım şartlarını içeren birkaç madde eklemiştir. Mesela UWB teknolojisini kullanan ve 10.6 GHz'e kadar frekans bandında çalışan bir aygıt için radyo istasyonlarına verilen parazitlerin

azaltılması gibi bir şart eklenmiştir. UWB'nin bina ve mesken dışı etkilerini kesmek çok önemli bir meseledir.

ECC sadece UWB'nin kullanım koşullarını belirlememiş ayrıca aygıtların teknik gerekliliklerini de belirlemiştir. Bu, gönderilen sinyalin spektral yoğunluğu miktarında bir üst sınır tahsis etmek demektir. Spektral yoğunluk frekans başına sinyal tarafından taşınan güçle orantılıdır. Üst sınırlar belirli bir frekans aralık fonksiyonuna set edilmiştir [1].

UWB teknolojilerine uygulanan bu şartlar onun yüksek veri değerleri için kısa mesafe iletişimlerde, meskende ve kablosuz uygulamalarında, düşük veri değerleri için ise uzun mesafelerde kullanımına olanak vermiştir. Bu UWB'yi radar, sensör ve veri iletişimi gibi uygulamalar için ideal hale getirmiştir. Bu çalışmadaki uygulamada kullanılacak anten bu şartları yerine getirmemektedir fakat fiziksel olarak anten gerçekleştirilse dahi testler dış kısmı faraday kafesiyle kaplanmış bir ortamda gerçekleştirilecektir. UWB teknolojilerinin genel olarak kullanım alanları şunlardır.

### 3.2.1.1. Radar ve sensör

Radar ve sensörlerdeki UWB uygulamaları yüksek zaman domeni çözünürlüğünün elde edilmesinin zorluğundan dolayı daha geliştirme aşamasındadır. Nanosaniye aralığındaki darbeler santimetre civarında uzaysal çözünürlüğe olanak vermektedir. Bununla birlikte uygulamalar düşük güç yoğunluğu spektrumuyla sınırlanmıştır. Örnek uygulamalar kısa mesafe radarlar, duvarın içini gösteren radar, toprağa nüfuz edip içini gösteren radarlardır.

### 3.2.1.2. Veri iletişimi

UWB'yi veri iletişimi için kullanmanın başarısı kanal kapasitesini ifade eden Shannon-Hartley teoreminden anlaşılabilir.

$$C = B * \log \left( 1 + \frac{S}{N} \right) \quad (3.1)$$

Burda  $C$ , kanal kapasitesi,  $B$  band genişliği,  $S/N$  sinyal gürültü oranıdır. Kanal kapasitesi band genişliğiyle direk olarak orantılıdır. Artan band genişliği kanal kapasitesini direk olarak artıracaktır. Band genişliğinin etkisi diğer parametrelerin değişiminin etkisinden çok daha fazladır.

UWB'nin veri iletişimine uygulanması WLAN gibi ofis ve ev ağlarının performansını artırmıştır. Çünkü UWB, Gbps aralığında veri hızına olanak sağlamıştır.

### 3.2.1.3. Kasıtlı elektromanyetik parazit

Kasıtlı Elektromanyetik Parazit (IEMI) için kullanılan cihazlar askeri cihazlardır. Bu yüzden sivil piyasada kullanılanlara oranla çok daha fazla spektral yoğunluğa izin verilmiştir. UWB teknolojisine getirilen sınırlamaların sebebi, aygıtları UWB teknolojilerinden kaynaklanan parazitlerden korumaktır.

IEMI tarafından hedeflere etki eden etkileri dört kategoride toplayabiliriz.

- a. Gürültü: Uygulanan elektromanyetik sinyal kullanıcının alıcısında gürültüye neden olur.
- b. Yanıltıcı bilgi: Elektromanyetik sinyal alıcıda yanıltıcı bir bilgi oluşturacak şekilde tasarlanabilir.
- c. Geçici Hasar: Sistemin normal çalışma durumunu bozmak mümkündür. Etki, arızadan sonra sistemin tekrar düzelmesi için gereken ihtiyaca bağlıdır.
- d. Kalıcı Hasar: Örneğin, yüksek elektrik alanlar yarı iletken jonksiyonlarına aşırı gerilim verir ve yarıiletken malzeme kalıcı olarak hasar görür.

Geçici hasar ve kalıcı hasar gürültü ve yanıltıcı bilgi üretmek için gerekenden daha fazla elektrik alana ihtiyaç duyar. Spesifik elektrik alan şiddet değerleri duruma göre değişmektedir.

### 3.2.2. UWB antenleri

UWB anteni diğer antenlerden ayıran özellik adından da anlaşılacağı üzere frekans band genişliğidir. Frekans band genişliğinin birkaç çalışma tanımı konsepti mevcuttur. Anten band-genişliği tanımı ise antende istenen band genişliği frekansıyla ilgilidir.

UWB antenin geniş band olması onun geniş frekans aralığındaki sinyalleri işlemesini sağlar. 1950'lerden önce geniş band antenler 2:1 oranından daha büyük değildi. Bu şu demektir. Antenin üst band frekansı alt band frekansının iki katından büyük değildir. Fakat aynı senelerde yaşanan bir atılım sayesinde band genişlikleri 40:1 oranına kadar çıkmıştı. Bu antenler o kadar çok geniş bandlarda kullanılıyorlardı ki bunlar için frekansdan bağımsız denmişti.

Bir geniş band antenin bu sıfatı elde edebilmesi için 500 MHz'den daha fazla frekans band genişliğinde sinyaller yayımlaması gerekir. Buda;

$$|f_u - f_l| = 500 \text{ MHz} \quad (3.2)$$

olması demektir. Burda  $f_u$  ve  $f_l$  sırasıyla frekans band genişliğinin üst ve alt frekanslarını ifade etmektedir.

UWB antenin geniş band genişliğine sahip olması yüzünden anten tarafından gönderilen sinyalin dispersiyonunun olabildiğince küçük olması gereklidir. Dispersiyon gönderilen sinyalin distorsiyonu ve genişlemesidir. Dispersiyonsuz anten için bağıntı şöyle verilebilir;

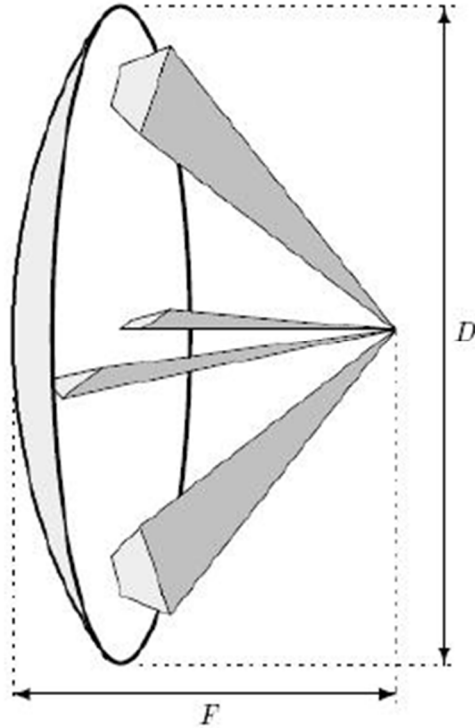
$$c = \lambda f \quad (3.3)$$

Burda,  $\lambda$  metre cinsinden dalga boyudur.  $f$  Hz cinsinden frekans ve  $c$ , m/s cinsinden ışık hızıdır. Frekansı ikiye katlamak dalgaboyunu ikiye bölmek demektir. Bu çalışmada kullanılan UWB anten dispersiyonsuz olarak düşünülecektir. Çünkü TEM (Enine Elektromanyetik) dalgalarıyla beslenen transmisyon hatlarının doğası

böyledir. Bu, darbe yayımlayan antene verilen darbelerle, antenin yayımlayacağı darbelerin aynı olması demek değildir. Aynı olmamasının nedeni, kırınım, geometrideki asimetriklikler, empedansı uyuşmayan rezistif yükler ve empedans uyumsuzluklarıdır [1].

### 3.2.3. IRA geometrisi

IRA'nın öne çıkan en önemli bileşenleri yansıtıcı ve besleme kollarıdır. Bu bileşenler Şekil 3.1'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. IRA şematığı, Reflektör ve besleme kolları gösterilmiştir (Rosenlind, 2009)

Şekil aynı zamanda reflektör anteni karakterize etmede kullanılan iki parametreyi de göstermektedir. Anteni karakterize etmede kullanılan parametre bu iki parametreye bağlıdır ve  $FD$  oranı diye isimlendirilir  $FD$  oranı şöyle tanımlanır:

$$FD \text{ oranı} = \frac{F}{D} \quad (3.4)$$

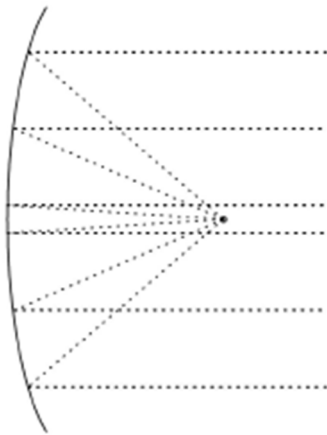
Burda  $F$  reflektörün odak noktası uzunluğu,  $D$  ise çapıdır. Bu oranın genel olarak değeri 0.35-0.60 arasında değişmektedir.

### 3.2.4. IRA bileşenleri

IRA'nin üç bileşeni vardır. Bunlar Şekil 3.1'de görülmektedir; reflektör, besleme kolları (gri) ve besleme kollarıyla reflektör arasındaki kesişim yerinde resistor (açık gri). Bu bileşenler tek tek incelenecektir.

#### 3.2.4.1. Reflektör

Parabolik reflektör IRA'da, küresel olarak simetrik gelen dalgaları yüzey dalgalarına çevirip reflektöre dik olarak ileriye doğru yönlendiren elemandır. Şekil 3.2'de bir parabolik reflektörün küresel simetrik dalgaları yansıtması gösterilmektedir.



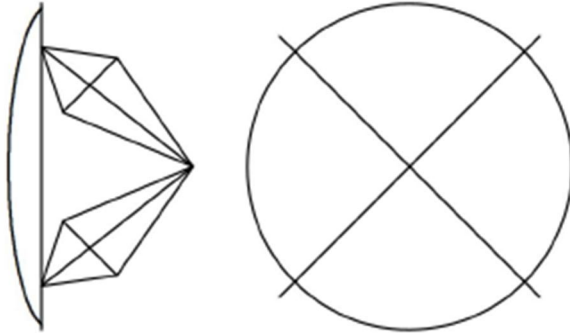
Şekil 3.2. Küresel simetrik dalgaların yansıtılarak yüzey dalgalarına dönüştürülmesi (Rosenlind, 2009)



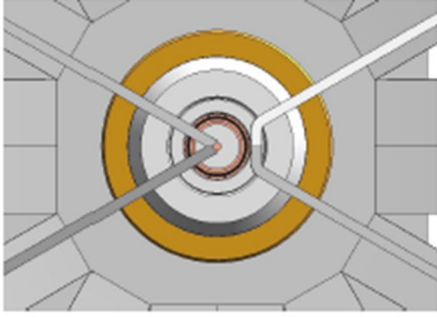
### 3.2.4.2. Besleme kolları

IRA'da çarpıya benzer şekli olan besleme kolları IRA'nın yapısal bileşenleridir. Reflektörün kenarından odak noktasına kadar uzanırlar. Besleme kolları Şekil 3.3'de gösterilmiştir. Genelde bunlar alüminyum plakadan imal edilirler.

Odak noktasında besleme kolları Şekil 3.4'deki gibi çiftli olarak bağlanmıştır. Değişik potansiyeldeki iki besleme kolu, değişen genişlik ve yükseklikte transmisyon hattıdır. ve ucu sivrilen koniksel plaka transmisyon hattı diye isimlendirilir. Bunlar dahili besleme kolu açısıyla ayarlanabilen karakteristik empedansa sahiptirler. Kol genişledikçe empedans azalmaktadır. Kolların açısı çok geniş yapılmamalıdır. Geniş bir besleme kolu çifti aralık blokajına neden olur ve antenin performansını düşürür. Antende aralık blokajına neden olmadan empedansın %25'lere kadar düşürülmesi besleme kollarının inceltilmesiyle mümkündür.



Şekil 3.3. IRA'nın besleme kollarının ön ve yandan görünüşü (Rosenlind, 2009)

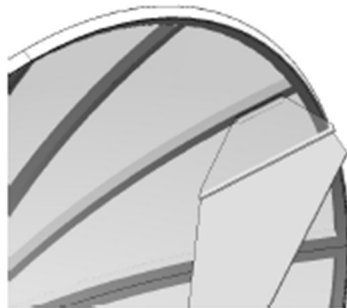


Şekil 3.4 Besleme kolları odak noktasında birleşir ve çiftli şekilde bağlanırlar (Rosenlind, 2009)

Antenin çalışması sırasında yüzey akımları besleme kollarının kenarları boyunca birikir. Bu yüzden besleme kolları kenarlarının hatalardan mümkün olduğunca arındırılması ve destek yapılarının değişen yük dağılımlarını bozmasının engellenmesi esastır. Aksi takdirde çok fazla kırınım meydana gelir. Aynı zamanda keskin kenarların besleme noktalarına yakın olmamasıda çok önemli bir faktördür. Çünkü buralarda biriken yükler elektriksel kırılmaya neden olabilir.

### 3.2.4.3. Rezistörler

Rezistörler Şekil 3.5'deki gibi besleme koluyla reflektör arasındaki kesişme noktasına yerleştirilir. Rezistörler iki sebepten dolayı kullanılırlar: Zaman Domeni Yansıtıcı (TDR)'da görünen yansımaları minimize etmek için, antendeki yüzeylerde birikmiş olan yüklerin akışını sağlamak için [1].



Şekil 3.5. Besleme kollarıyla reflektör arasındaki birleşme noktasına yerleştirilen rezistör (Rosenlind, 2009)

### 3.2.5. IRA çalışması

Besleme süresi boyunca herbir besleme kolu çiftinde gerilim farkı vardır. Besleme kollarında indüklenmiş yüzey akımları odak noktasından reflektör kenarına doğru kenarlar boyunca yayılacaktır. Değişik potansiyellerdeki kollar arasında bu, küresel olarak simetrik TEM dalgalarının reflektöre doğru yayılmasına neden olacaktır. Küresel olarak simetrik olan elektrik alan Şekil 3.6'da gösterilmiştir.

Reflektörün kenarında rezistörler henüz yayımlanmamış olan enerjiyi harcayacaklardır. Bu harcama TEM dalgalarındaki yansımayı azaltır. ve olabildiğince fazla enerji yayımlanmış olur. besleme kol çiftlerinde kalan yük dağılımları reflektör yüzeyine dağıldığında basitçe yok olacaktır [1].

Antendeki darbe iletiminde ana tasarım prensipleri, değişik bileşenlerdeki empedans uyumsuzluğunu giderme, yüksek gerilimden kaynaklanan elektriksel kırılmadan kaçınma ve kırınım etkilerini minimize etme üzerine kuruludur.



Şekil 3.6. Yüzey akımları elektromanyetik alan meydana getirir. Değişik potansiyellerdeki besleme kolları arasında küresel olarak simetrik TEM dalgası ortaya çıkar ve reflektöre doğru yayılır (Rosenlind, 2009)

### 3.2.6. Kırınım

IRA, transmision hatlarının iletim boyunca gelen sinyali deęiřtirmemesi açısından dispersiyonsuz bir anten olarak dūřunūlebilir. Fakat yayımlanan sinyal antene besleme olarak verilen darbeden farklıdır. Sinyalin bu deęiřimi kırınımdan kaynaklanmaktadır. IRA’da kırınım, i etkileřim yūzünden gerçekleřir. Bu etkileřimler elektrik alan ve;

- a. Besleme kollarının kenarları
- b. Besleme kollarının kendisi veya
- c. Reflektōr kenarları

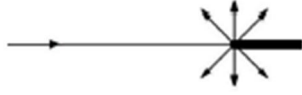
arasında gerçekleşir. Her etkileşim tek tek incelenecektir.

Reflektōr tarafından dik bir řekilde yōnlendirilen kūresel olarak simetrik TEM dalgaları uzak alan bōlgesine doęru yayılırken besleme kol kenarlarıyla karřılařırlar. Bu bir yūzey akımı indūkler. Uzak alan bōlgesindeki elektrik alan ifadesini elde etmek için bu yūzey akımının integrali alınmıřtır. İntegral ifadesinden etkileřimin etkileri çıkartılabilir. Besleme kenar etkileřimi yayımlanan son darbedeki ilk dibe batmaya karřılık dūřmektedir.

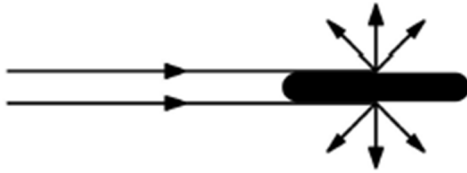
Besleme kollarıyla TEM alanının etkileşimine gelince besleme kollarındaki toplam akım ۆnemlidir. Besleme kollarındaki toplam akımla kolların kenarlarındaki yūzey akımını ayırmak imkansızdır. Bu yūzden besleme kollarındaki toplam akımın, uzak alandaki elektrik alan ifadesini elde etmek için integrali alınmıştır. Burdan bu kırınımın zamanla uzak alanda kenar kırınımlarından daha fazla negatif bir etki yapacağı gōrūlebilir.

Bu iki etkinin ortak yōnū kırınımsal bir etkide bulunmalarıdır. Besleme kollarındaki akımlar uzak alan bōlgesindeki elektrik alanı artıracaktır. Elektromanyetik alanla reflektōr kenarı arasındaki etkileşim, reflektōrde yūzey akımı indūklemesi açısından diğer etkileşimlerden farklıdır. Aynı zamanda uzak elektrik alanda pozitif bir etkiye

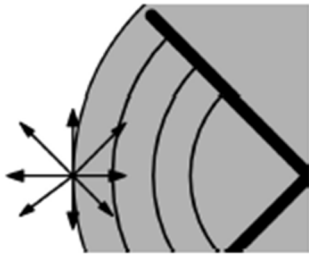
sahip olması yüzünden bu etkileşim diğerlerinden farklıdır. TEM alanı reflektör kenarlarına paraleldir. Bu etkileşimin etkileri pozitifdir.



Şekil 3.7. Besleme kol kenarıyla gelen TEM dalgası arasındaki etkileşim (Rosenlind, 2009)



Şekil 3.8. Gelen TEM dalgasıyla besleme kolları arasındaki etkileşim (Rosenlind, 2009)



Şekil 3.9. Dalgalarla reflektör kenarı arasındaki etkileşim (Rosenlind, 2009)

(Oklar gelen ve kırılan ışınları ifade etmektedir)

Kırınımsal etkiler istenilmeyen etkilerdir. Çünkü son darbenin görünüşünü pozitif veya negatif bileşen eklemeleriyle değiştirirler. Bu etkileri ince besleme kolları kullanarak azaltmak mümkündür. Fakat gerçekte kaçınılmaz olarak böyle problemlerle karşılaşılır.

### 3.2.7. Elektriksel kırılma

Yüksek gerilim uygulamaları yapısal bileşenlerde bazı problemler yaratmaktadır. İki iletken arasında göreceli olarak gerilim farkından kaynaklanan elektriksel kırılma riski, IRA'nın değişik parçalarında çok fazladır. Üç çeşit elektriksel kırılma vardır bunlar; yüzey kırılması, hacim kırılması ve gazlarda gerçekleşen kırılmadır.

Besleme noktasında yüzey elektrik kırılması riski vardır. Açık havayla koaksiyel kablunun dielektriği arasındaki arayüz kritik bir alandır. İletkenler arasında gerilim farkı 50 kV'dur. İletkenler arasındaki serbest elektronlar metale atlayabilir ve metallere arasında iletken bir yol meydana getirebilir. Yol boyunca ortaya çıkan akım, deşarj oluşturursa elektriksel kırılmaya neden olabilir. Katod ve anod arasındaki mesafe kritik mesafedir ve yeterince geniş tutulmalıdır. Doğru olarak tasarlanmış arayüz kırılma olasılığını azaltacaktır. Arayüz anod ile katod arasındaki mesafeyi maksimum yapacaktır.

İletken yol elektronlar katoddan anoda doğru yayılırken ortaya çıkar. İletkenler arasında elektriksel kırılma ortaya çıkması için gerilim farkı uzun süre iletkenler arasında kalmalıdır. Bu çalışmada nanosaniye süresindeki darbeler söz konusu olduğundan kırılma olasılığı azalmaktadır.

Hacim elektriksel kırılması malzemelerde meydana gelir. IRA'nın hacim kırılması riskiyle karşılaşan bileşeni koaksiyel kablodur. Koaksiyel kablunun içinde hatalar varsa bu hatalardan elektronlar iletken bir yol bularak hacim elektriksel kırılmasına neden olabilir. Bu yüzden kabloların hatasız olması gereklidir.

Gazdaki elektriksel kırılma hacimsel kırılmaya benzemektedir. Fark, bu sefer maddenin gaz halinde olmasıdır. Deşarj durumunda iletken yolda elektronlar deşarj

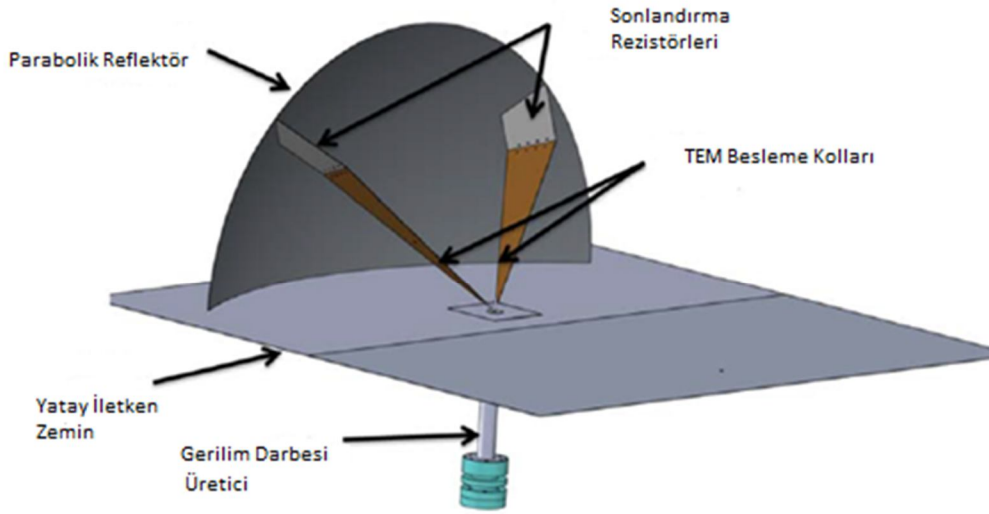
olurken korona şeklinde görünmektedir. Havanın dielektrik dayanımını normalde 3 kV/mm'dir. Uygulamada iletkenlerdeki potansiyel farkı 50 kV olacaktır. Buda iki iletken arasındaki kritik mesafeyi;

$$l = \frac{50}{3} = 16.67 \text{ mm} \quad (3.6)$$

yapmaktadır. Bu şu demektir. iki iletken arasındaki en yakın mesafe en az 1.66 cm olmalıdır. Aksi takdirde elektriksel kırılma olasılığı vardır. Antene birkaç nanosaniyelik darbeler verilecektir. Elektriksel kırılma süreci zamana bağlı bir süreçtir. O yüzden EMP için bu durum avantajdır. Eğer iki iletken arasındaki mesafe yukarıda sözü edilen değerden yakın bir değere getirilirse iletkenin diğer iletkene yakın kısımları polimer veya plastik bir örtüyle örtülerek elektriksel kırılma riski azaltılabilir.

### 3.3. Darbe Yayımlayan Yarım Anten

Darbe yayımlayan anten tanıtıldıktan sonra darbe yayımlayan yarım antenin (HIRA) anlaşılması daha kolay olacaktır. Çünkü HIRA, IRA'dan türetilmiş bir antendir. IRA'nın reflektörünün yarısının kesilip tabandaki yatay eksene bir yatay düz iletken yüzeyin konulması ve besleme kollarının bu yüzey üzerine yerleştirilmesiyle HIRA elde edilir. HIRA'da IRA'dan farklı olarak besleme kolları, besleme noktasında koaksiyel kablunun iç iletkenine bağlanır. Dış iletken ise yatay düz yüzeye bağlanıp topraklanmıştır. Böyle bir HIRA Şekil 3.8'de gösterilmiştir.



Şekil 3.10. Darbe yayımlayan yarım antenin üç boyutlu dış görünüşü (Stavro, 2011)

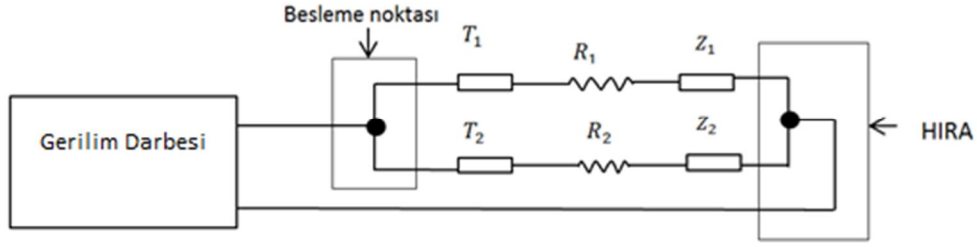
### 3.3.1. Topraklanmış düz iletken yüzey

Topraklanmış yatay düz iletken yüzey plakası, elektrik alanın yüzeye paralel bileşenlerini sıfırlar. Böylece yalnızca bu yüzeye dik elektrik alan bileşenleri ortama yayılabilir. Bu yüzeyin kullanılmasının diğer bir avantajıda besleme kollarının mekanik olarak sarsıntılardan koruyacak bir dayanak olmasıdır. Besleme kolları bu yüzey sayesinde küçük sarsıntılardan etkilenmeyecek hale gelecektir.

### 3.3.2. HIRA eşdeğer devresi

Gerilim darbesi oluşturulduktan sonra darbenin yük üzerine gönderildiği belirlenmişti. Bu sistemde yük HIRA'dır. HIRA'nın transmisyon hattı eşdeğer devresi Şekil 3.9'da gösterilmiştir.





Şekil 3.11. HIRA'nın eşdeğer devresi

Bu eşdeğer devrede  $T_1$  ve  $T_2$  transmisyon hatları, besleme kollarının iletken yatay yüzeyle arasındaki potansiyel farkından kaynaklanan transmisyon hatlarının empedansı,  $R_1$  ve  $R_2$ , besleme kollarıyla reflektörün kesişim noktasındaki rezistor değerleri  $Z_1$  ve  $Z_2$  ise sonlandırma empedanslarıdır. Herbir paralel koldaki transmisyon hatlarının empedansını, sonlandırma empedanslarını ve rezistörleri toplayıp paralel kollardaki kolektif empedansı bulabiliriz. Sonrada bu değeri ikiye bölerek HIRA'nın toplam empedansını bulabiliriz. Gerilim darbesinin geldiği koaksiyel kablonun empedansı  $100\Omega$  olarak belirlenmişti. Dolayısıyla sistemde herhangi bir yansımanın meydana gelmemesi için HIRA'nın toplam empedansı  $100\Omega$  olmalıdır.

$$R_1 = R_2 \quad (3.7)$$

$$Z_{T_1} = Z_{T_2} \quad (3.8)$$

$$Z_1 = Z_2 \quad (3.9)$$

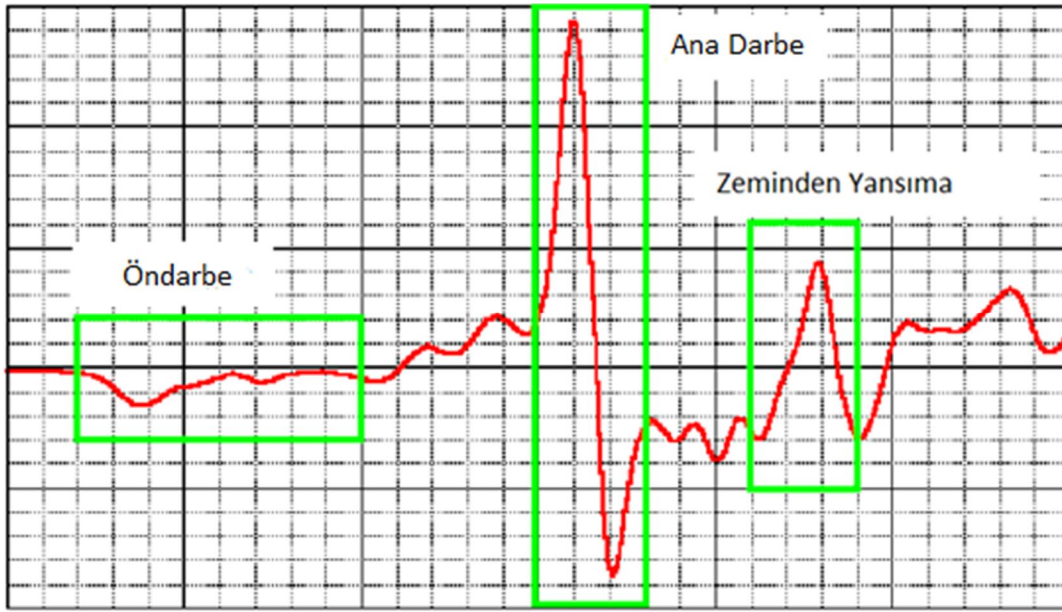
$$\frac{Z_{T_1} + R_1 + Z_1}{2} = 100\Omega \quad (3.10)$$

Bu değeri tutturmak için elektrik ve manyetik dipol momentinin ve besleme kollarının empedansları bilinmesi gerekir. Bunların hesaplanması yerine pratikte TDR kullanılarak doğru empedans bulunur. TDR yansıyan darbeleri hisseder. Eğer gönderilen darbeye yansıma olmazsa TDR bunu hissedecektir. TDR'da yansımanın

olmadığı bir rezistor ve besleme kolu açısı konfigürasyonu yakalanıp bu konfigürasyonda sistem sabit tutulursa, yansımanın minumuma indirgenmesi sayesinde sistemden optimum verim elde edilebilir [5].

### 3.3.3. HIRA darbesi

HIRA'dan normal şartlar altında yönlendiriciliğin en büyük olduğu yönde elde edilen darbe biçimi Şekil 3.10'da gösterilmiştir.



Şekil 3.12. Tipik bir HIRA darbesi ve alt bileşenleri (Sallin, 2012)

Anten tarafından üretilen elektromanyetik darbe üç alt bileşenden oluşmaktadır.

Bunlar;

- a. Öndarbe: Besleme noktasındaki direkt ışımadan kaynaklanır.
- b. Zamana göre türevi alınmış darbe: Reflektör tarafından yansıtılan elektromanyetik alanı ifade eder.
- c. Zeminden yansıma: toprağın durumuna bağlı olarak zeminden yansıma hedefe belli bir gecikmeyle ulaşır [6].

## **BÖLÜM 4. HIRA SİMÜLASYONU**

### **4.1. Giriş**

HIRA'nın fiziksel olarak kurulumundan önce bir bilgisayar programı vasıtasıyla antenin simülasyonunun gerçekleşmesi ilk aşama olarak mantıklı bir uygulama olacaktır. Bunun nedeni sistemdeki eksikliklerin ve aksaklıkların simülasyonla düzeltilmesinin daha kolay ve maliyetsiz olmasıdır. Böylece optimal bir sistem bilgisayar ortamında kurulup fiziksel dünyada sistem optimal olarak kurulacaktır.

HIRA'nın simülasyonu için en uygun benzetim ortamlarından biriside CST MWS elektromanyetik simülasyon programıdır. Bu bölümde bu program kullanılarak HIRA üç boyutlu olarak çizilecek ardından portlar vasıtasıyla beslemesi girilerek sonuçlar grafik olarak ortaya konulacaktır.

### **4.2. Üç Boyutlu Çizim**

HIRA'nın geometrik olarak çiziminde beş ana parça mevcuttur. Bunlar:

- a. Parabolik Reflektör
- b. Koaksiyel Besleme Noktası
- c. Besleme Kolları
- d. Rezistör
- e. Topraklanmış İletken Düz Plaka (TİDP)

Bu beş bileşenin modellenmesi tek tek anlatılacaktır.

#### 4.2.1. Parabolik reflektör

Parabolik reflektörün çizimi CST MWS'de analitik tanımlamaların fonsiyon olarak yapılması ve parametre aralıklarının sayısal olarak girilmesiyle gerçekleşir. Yazılımda parabolik reflektör için kullanılan kartezyen koordinatlar şu şekilde tanımlanmaktadır:

$$X(u, v) = a \sqrt{\frac{u}{h}} \cos(v) \quad (4.1)$$

$$Y(u, v) = a \sqrt{\frac{u}{h}} \sin(v) \quad (4.2)$$

$$z(u, v) = u \quad (4.3)$$

Burda;

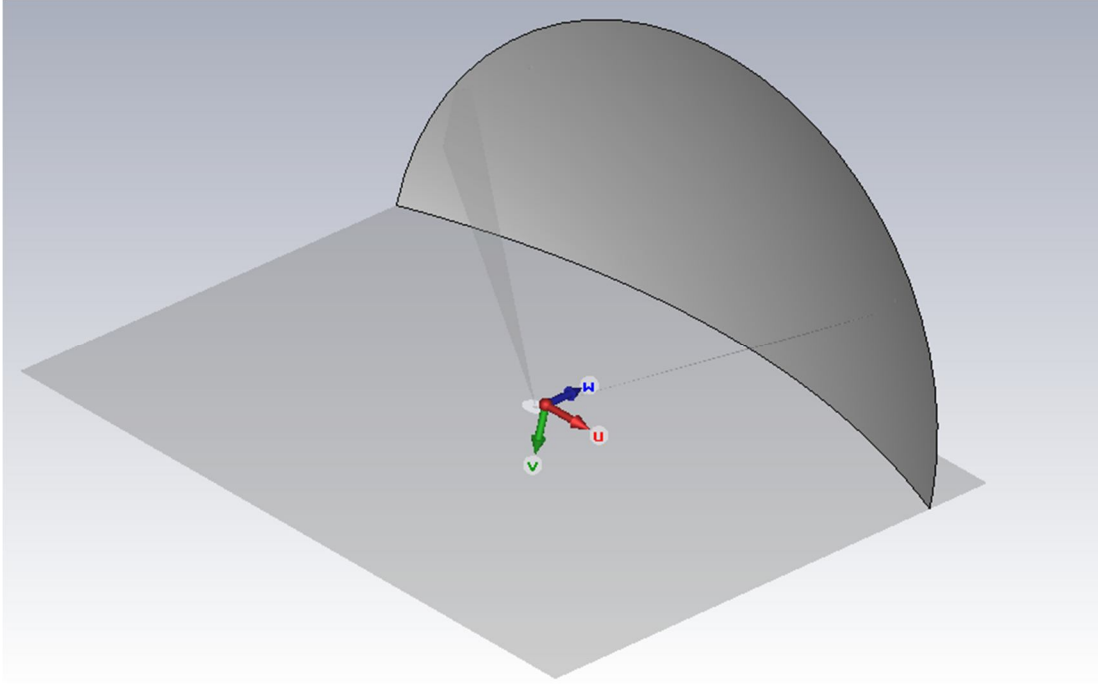
$$a = 76 \text{ cm} \quad (4.4)$$

$$h = 20 \text{ cm} \quad (4.5)$$

$$u \in [0 \text{ cm}, 20 \text{ cm}] \quad (4.6)$$

$$v \in [0 \text{ rad}, \pi \text{ rad}] \quad (4.7)$$

olarak belirlenirse Şekil 4.1'deki gibi bir geometri ortaya çıkacaktır.

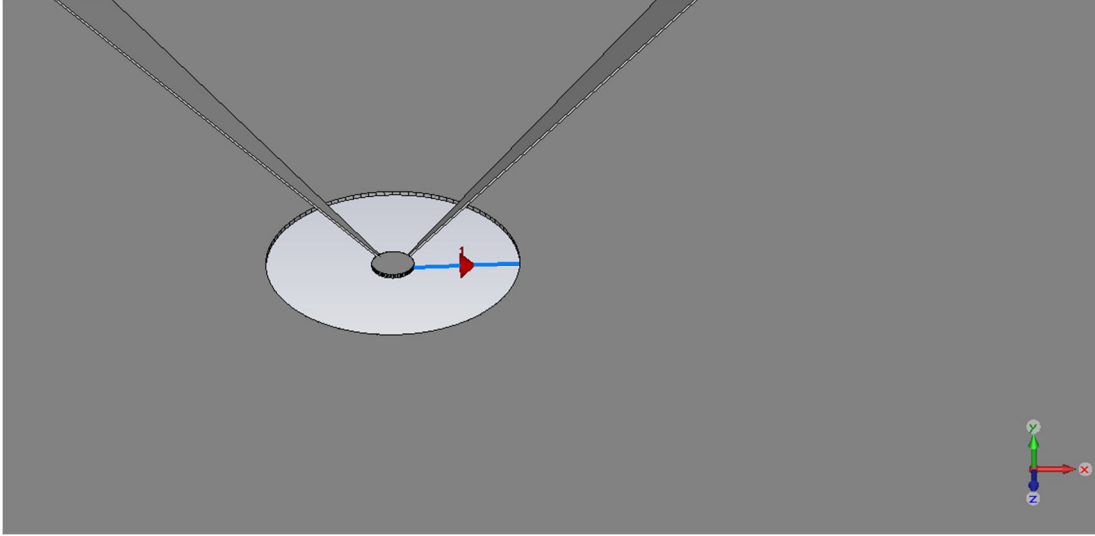


Şekil 4.1. Parabolik reflektörün uygun bir açıdan görünüşü

Parabolik reflektörün malzemesi mükemmel iletken olarak belirlenmiştir. Normalde böyle reflektörlerde çelik veya demir kullanılmaktadır. Modellemede bu çeşit malzemelerin kullanılmamasının nedeni, malzemelerin kayıplı olması ve nüfuz etme derinliğinin yüzey akımları indükleyip elektrik alanda kırınımsal alan bileşenleri oluşturmasıdır.

#### 4.2.2. Koaksiyel besleme noktası

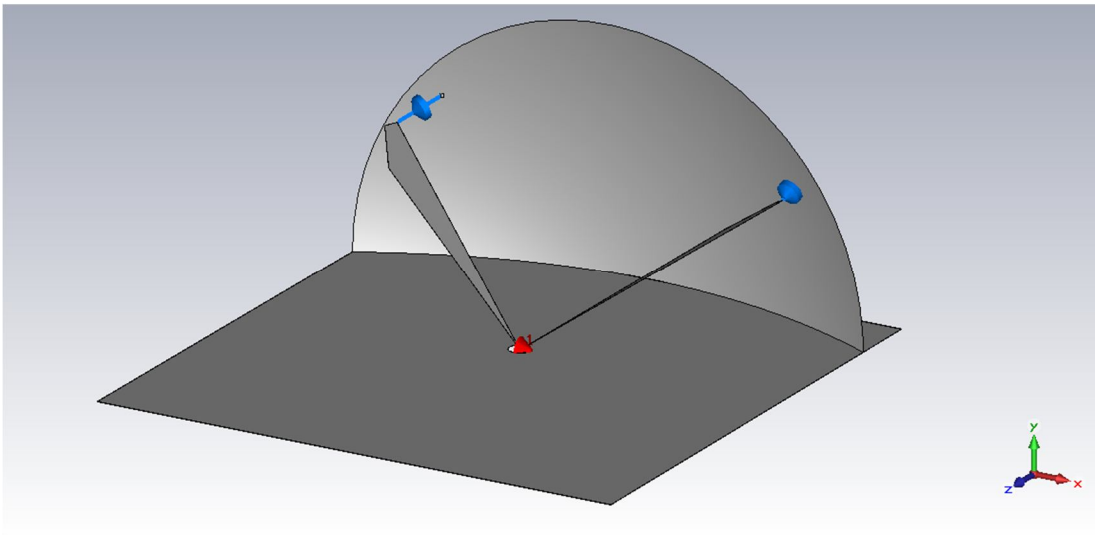
Besleme noktası, dışardan gelen koaksiyel kablunun HIRA ile birleştiği yerdir. Burası TİDP üstüne bir delik açılıp gerçekleşir. Programda bu kısım Boolean çıkarma yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Boolean çıkarma yönteminde yüzey içinden açılacak deliğin çapı kadar bir silindir yüzeyden geçirilir. Silindirin iç çapı ve dış çapı mevcuttur. Bu uygulamada silindirin iç çapı 0.5 cm dış çapı ise 3 cm olarak seçilmiştir. Eğer silindiri TİDP'den çıkar komutu yürütülürse TİDP üzerinde şekil 4.2'deki gibi bir delik açılır. Deliğin ortasında 0.5 cm çapında bir silindir kalacaktır. Bu silindire PFL'den gelen koaksiyel kablunun iç iletkeni bağlanır. koaksiyel kablunun dış iletkeni ise TİDP'ye bağlanır. TİDP topraklanmıştır.



Şekil 4.2. Besleme noktasının HIRA'daki konumu

#### 4.2.3. Besleme kolları

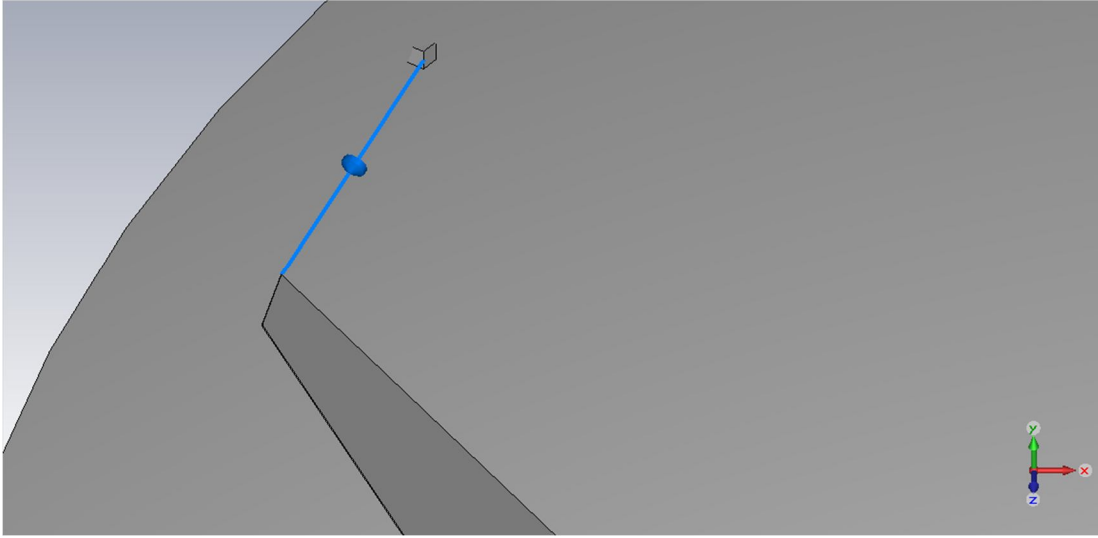
Besleme kolları 0.1 cm kalınlığında tasarlanmıştır. Kolların düşeyle olan açıları yaklaşık olarak  $45^\circ$  olarak ayarlanmıştır. Bu kolların HIRA'daki konumu Şekil 4.3'de gösterilmiştir. Kolların tasarımı “define extrude” komutuyla yapıлып sistemdeki konumu “translation” ve “rotation” komutlarıyla gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.3. Besleme kollarının geometrik şekili ve HIRA üzerindeki konumu

#### 4.2.4. Rezistör

Rezistörler, besleme kollarıyla parabolik reflektör arasındaki boşluğa yerleştirilirler. Programda rezistörler “lumped element network” olarak düşünülmüş ve besleme kollarıyla parabolik reflektör arasına bir “lumped element network” yerleştirilmiştir. Rezistörün değeri kolların ve besleme noktasındaki empedansın durumuna göre değişmektedir. Rezistörlerin birisinin konumu Şekil 4.4’de gösterilmiştir.

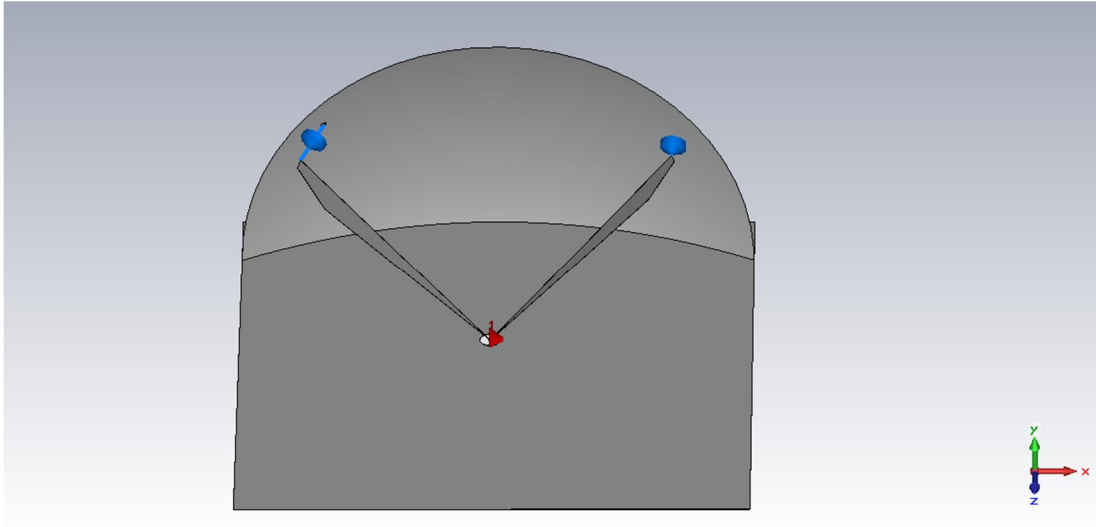


Şekil 4.4. Rezistörlerin bağlantı durumu



#### 4.2.5. Topraklanmış iletken düz plaka (TİDP)

TİDP programda, 152 cm genişliğinde 150 cm uzunluğunda ve 0.1 cm kalınlığında ince düz bir plaka olarak tasarlanmıştır. Bu bileşenin geometrisi “define brick” komutuyla elde edilmiştir. Plakanın HIRA tabanındaki konumu ve boyutları Şekil 4.5’de tepeden gösterilmiştir.



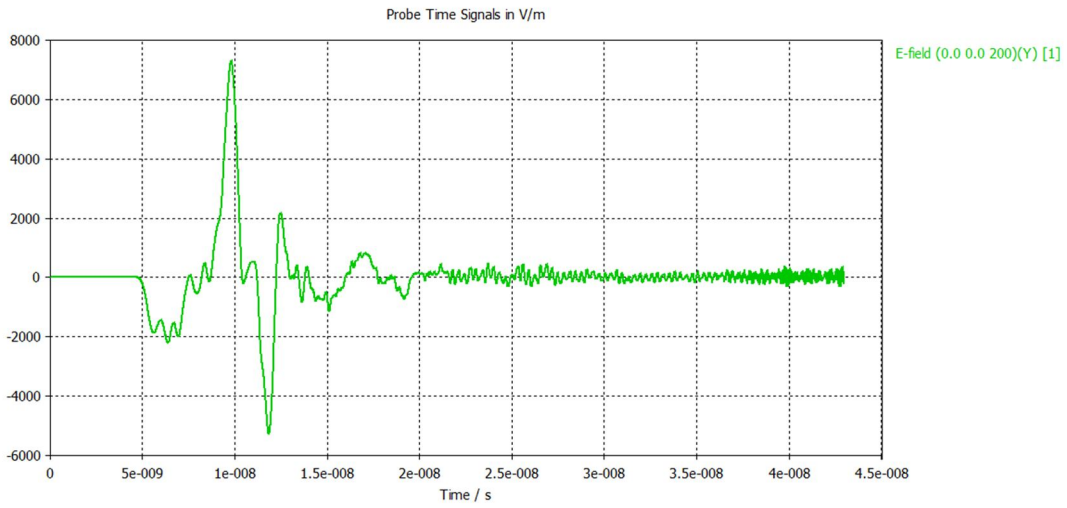
Şekil 4.5. TİDP'nin boyutları ve HIRA üzerindeki konumu

### 4.3. Port Tanımlaması

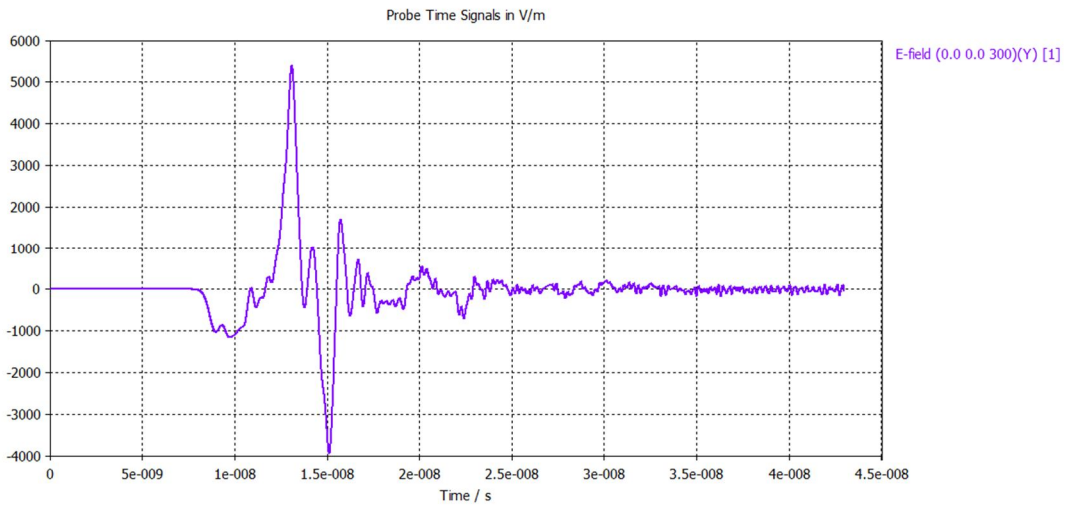
CST MWS programında üç boyutlu olarak çizilen modelin beslemesinin verilip çıkışların elde edilmesi için port tanımı yapılması gerekir. Portlar modelin beslendiği arayüzlerdir. Programda iki çeşit port bulunmaktadır. Bunlar “Waveguide port” ve “Discrete port” dur. Bu çalışmaya daha uygun olması sebebiyle burda discrete port kullanılacaktır. Discrete port üzerinden HIRA’ya verilen darbe Şekil 2.8’deki darbedir. Portun besleme noktasındaki konumu ve sembolü Şekil 4.2’de gösterilmiştir. Bu şekilde iç iletkenin dış iletkene doğru giden ok, portu temsil etmektedir.

### 4.4. Simülasyon Sonuçları

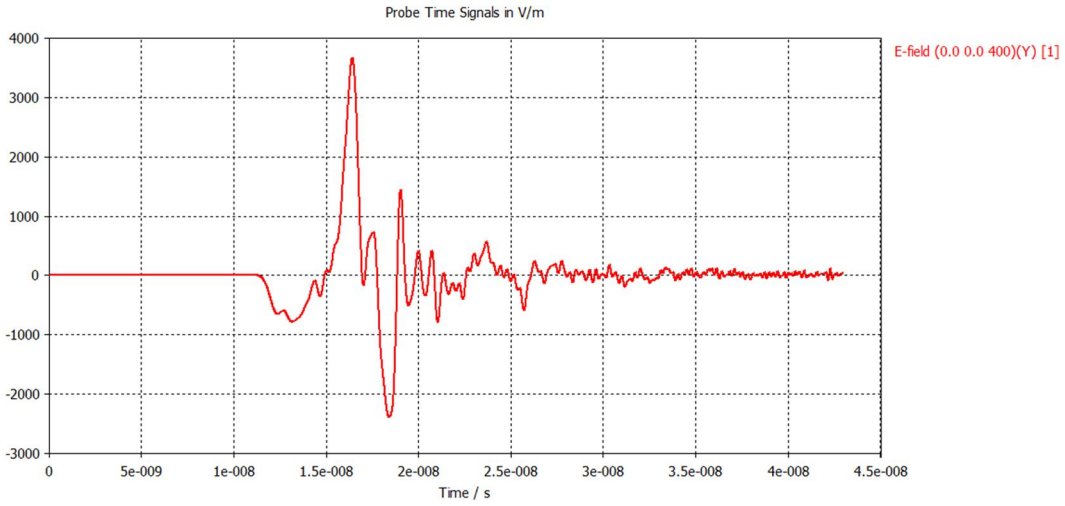
Simülasyon sonuçları, CST MWS programında Zaman Domeni Çözücü (TDS) kullanılarak elde edilmiştir. TDS genelde geçici ani darbeler için, CST MWS’da uygun bir çözücüdür. Sonuçlar, zaman ve frekansa bağlı olarak elektrik alan grafikleridir. Bu grafikler, parabolik reflektörün 2 metre ötesinden başlayıp 1 metre aralıklarla ilerleyip 5 metre ötesine kadar problemlerin yerleştirip elektrik alanın ölçülmesi sonucu ortaya çıkmaktadır. Ayrıca elektrik alanın  $x=0$  yüzeyindeki değerleri ve HIRA’nın tüm yüzeylerindeki değerleri üç boyutlu olarak ölçülmüştür. Bu yüzeylerdeki 1 ns aralıklarla meydana gelen elektrik alanın değişimi gözlemlenmiştir. Böylece darbenin ilerleyişi hakkında bir fikir elde edilmiştir. Elektrik alan  $x, y$  ve  $z$  ekseninin tamamında mevcuttur. Fakat olması gereken sadece  $y$  eksenindeki elektrik alanıdır. Diğer eksenlerdeki elektrik alanlar kırınım etkileridir. Buna göre Şekil 4.6 a,b,c,d’de elektrik alanın  $y$  ekseninde zamanla değişimi parabolik reflektörün merkezinden geçen  $z$  ekseninde merkezden 2 metre, 3 metre, 4 metre, 5 metre uzaklıkta gösterilmiştir.



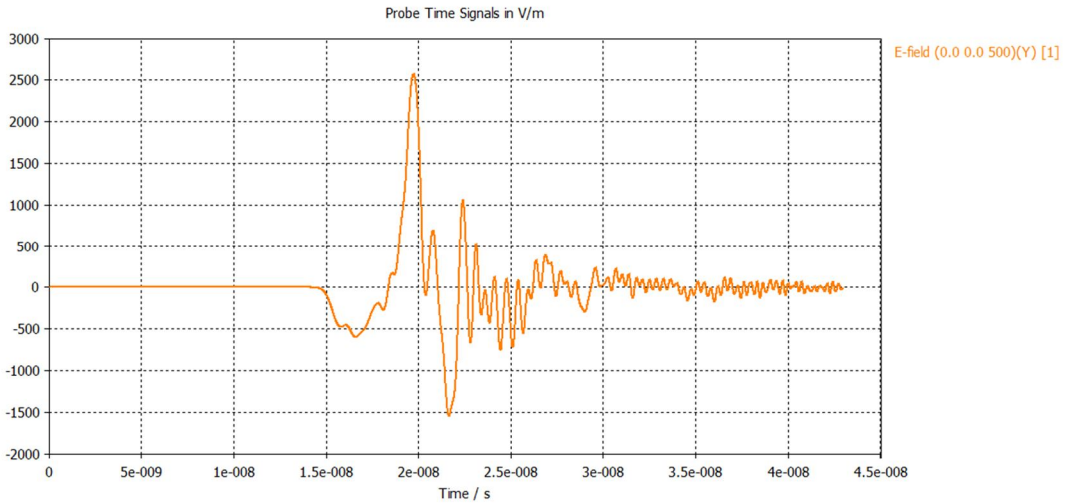
Şekil 4.6. Elektrik alanın reflektörün merkezinden 2 metre uzaklıkta zamana göre değişimi



Şekil 4.7. Elektrik alanın reflektörün merkezinden 3 metre uzaklıkta zamana göre değişimi

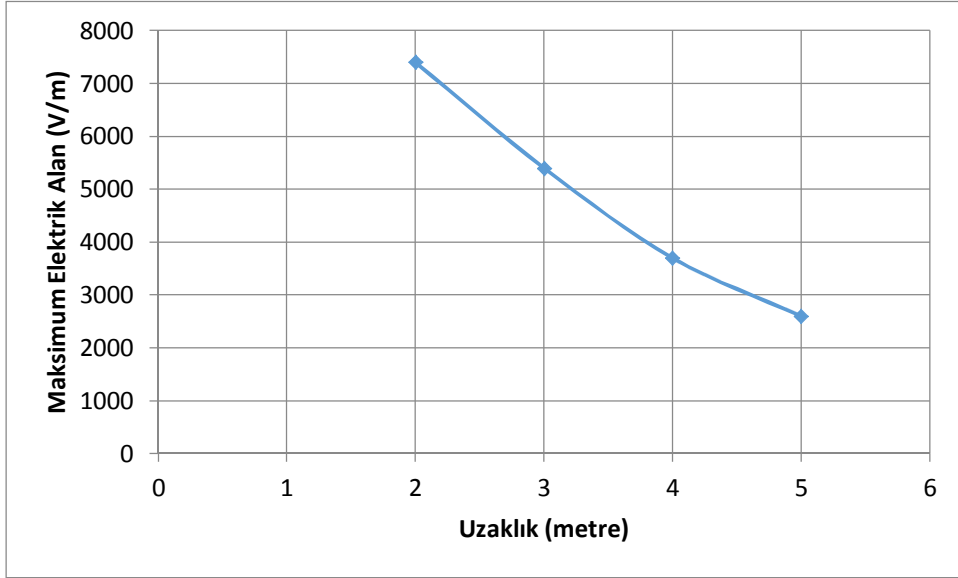


Şekil 4.8. Elektrik alanın reflektörün merkezinden 4 metre uzaklıkta zamana göre değişimi



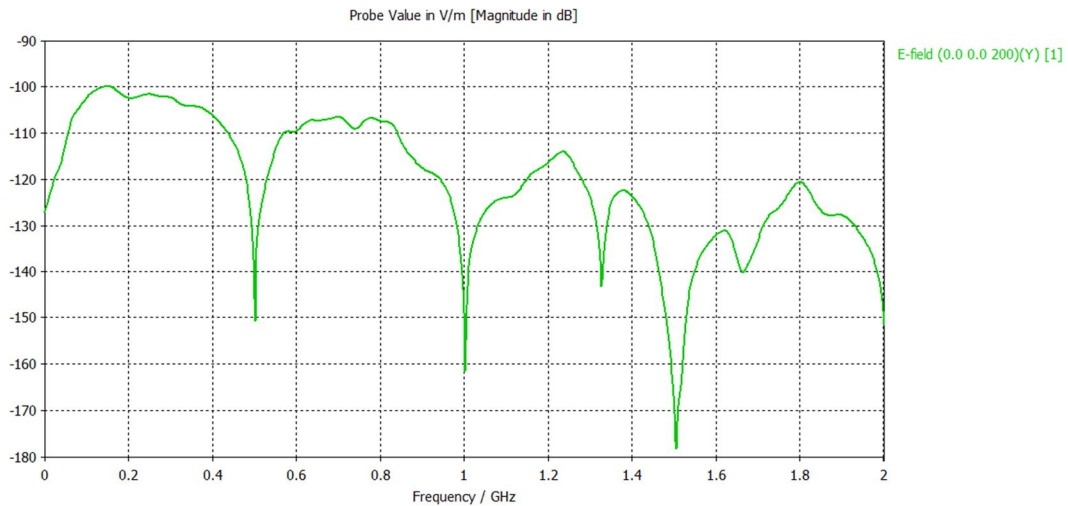
Şekil 4.9. Elektrik alanın reflektörün merkezinden 5 metre uzaklıkta zamana göre değişimi

Elde edilen elektrik alan değerleri parabolik reflektörün merkezinden uzaklaştıkça düşmektedir. Şekil 4.7 merkezden uzaklaştıkça elektrik alanın maksimum genliğinin değişimini göstermektedir. Şekilden anlaşıldığı gibi değişim paraboliktir. Bunun sebebi HIRA için Elektrik Alan değerinin uzaklık ile olan ters orantısıdır.

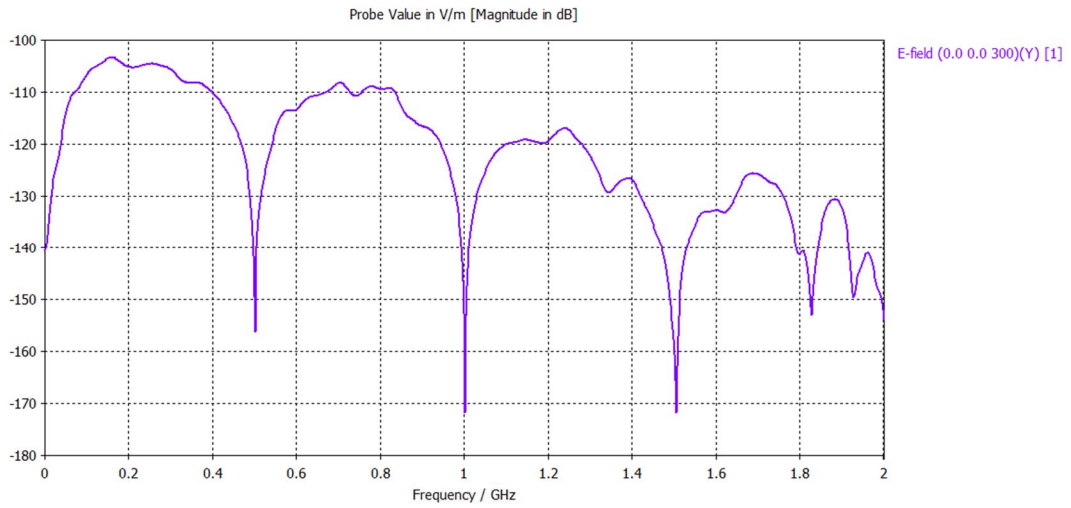


Şekil 4.10. HIRA'nın merkezinden uzaklıkla Maksimum Elektrik Alanının değişimi

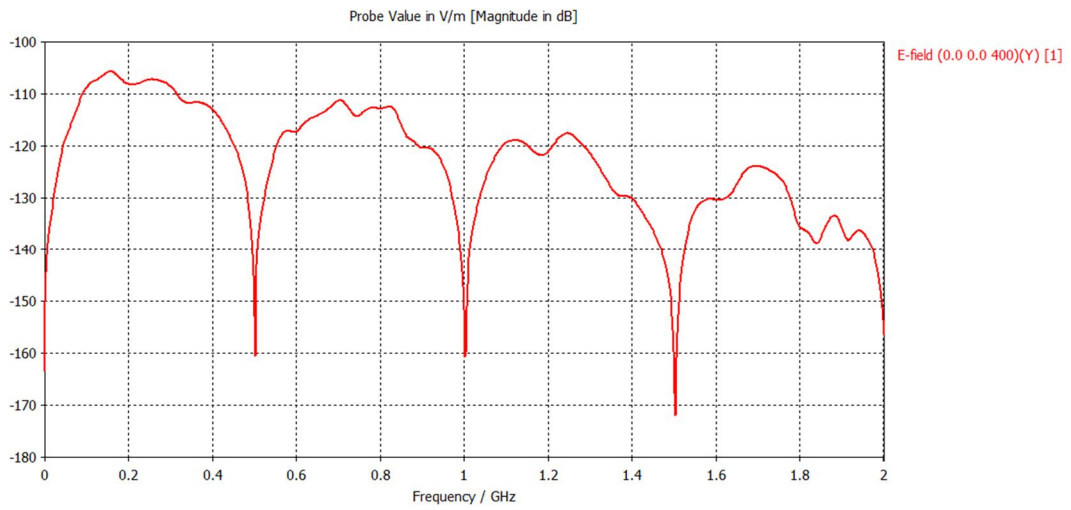
Elektrik alanın frekansa bağlı olarak değişimi EMP'nin önemli parametrelerinden birisidir. Bu parametrenin incelenmesi, elektrik alanının 0 ila 2 GHz arasındaki frekans değerleri için, parabolik reflektörün merkezinden 2 metre, 3 metre, 4 metre ve 5 metre uzaklıkta z ekseninde ölçülmesi ve grafik olarak Şekil 4.8.a,b,c,d'de gösterilmesiyle ortaya konulmuştur. Elektrik alan bu grafiklerde dB cinsinden verilmektedir.



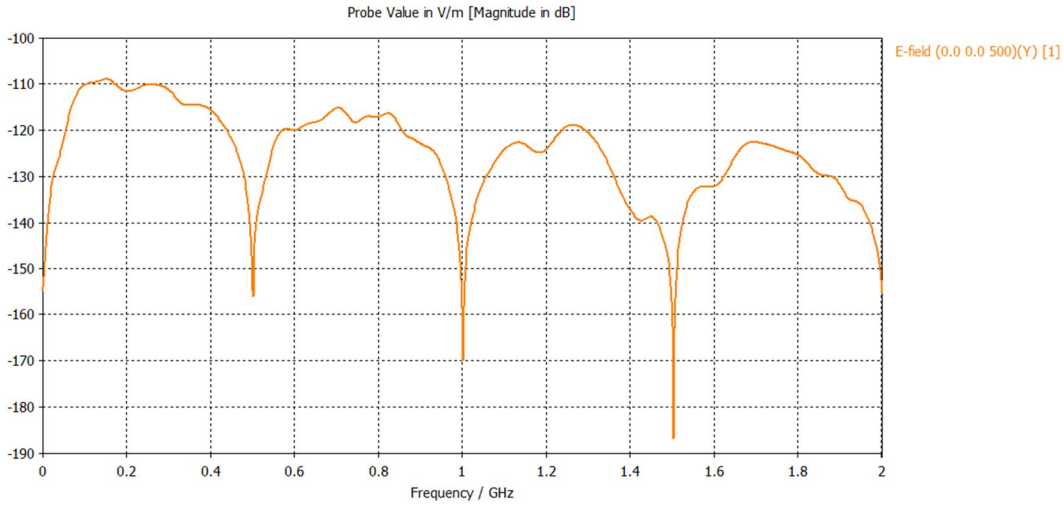
Şekil 4.11. Elektrik alanın reflektörün merkezinden 2 metre uzaklıkta frekansa göre dB cinsinden değişimi



Şekil 4.12. Elektrik alanın reflektörün merkezinden 3 metre uzaklıkta frekansa göre dB cinsinden değişimi



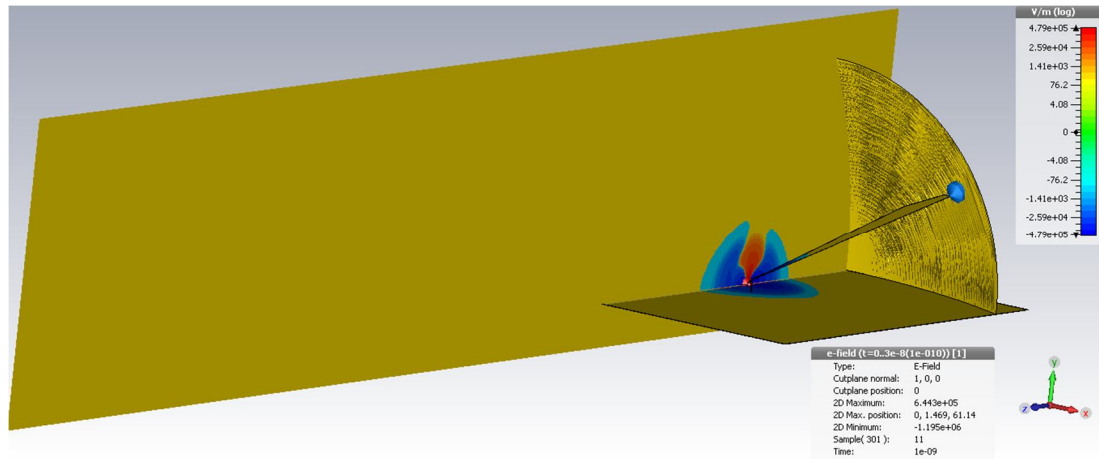
Şekil 4.13. Elektrik alanın reflektörün merkezinden 4 metre uzaklıkta frekansa göre dB cinsinden değişimi



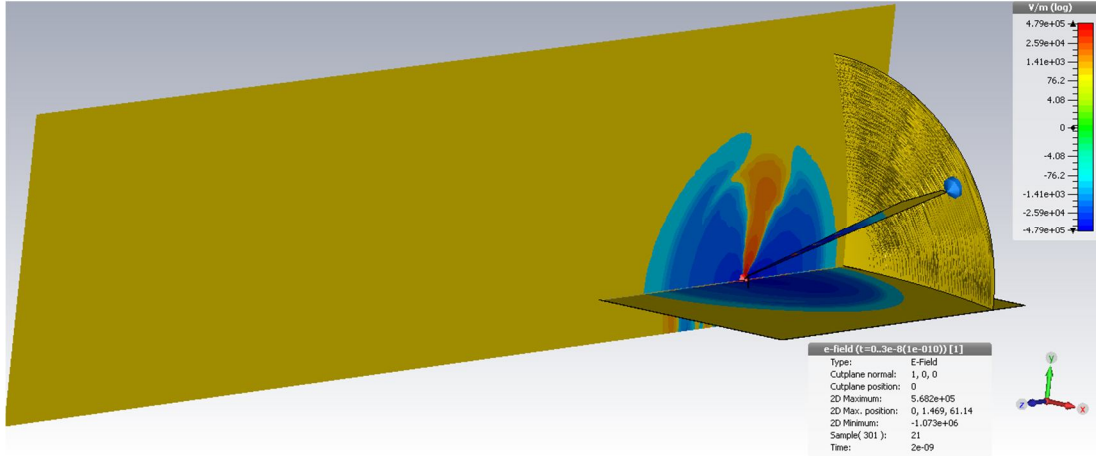
Şekil 4.14. Elektrik alanın reflektörün merkezinden 5 metre uzaklıkta frekansa göre dB cinsinden değişimi

Elektrik alanın frekansı bağılı olarak değişiminde grafiğin dB cinsinden verilmesi değerlerin belli bir frekans bandında büyük oranda düşmesinden kaynaklanır. Bu grafikte her 10 dB'lik düşüş elektrik alanında 10 kat düşüşü ifade etmektedir.

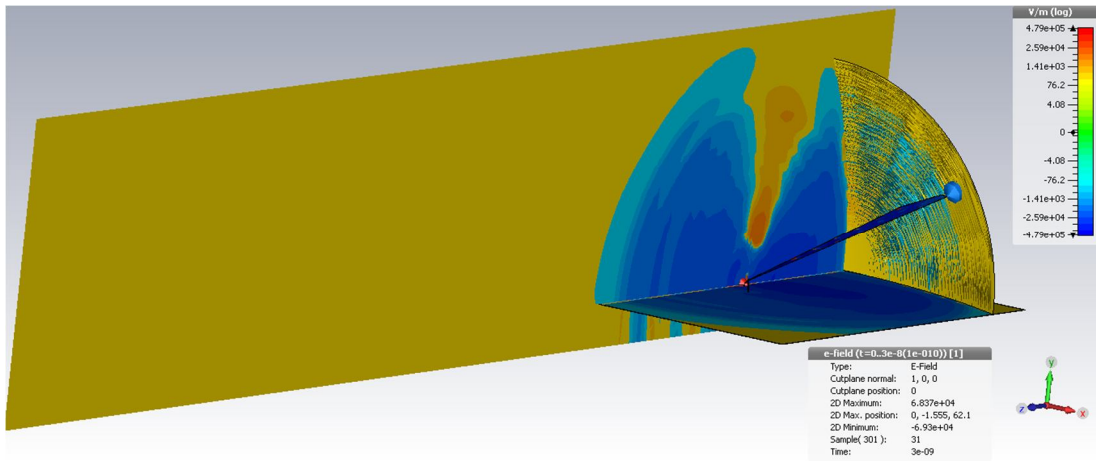
EMP jeneratöründe çıkışta meydana gelen darbenin zamanla izlenmesi darbenin ilerleyişi hakkında bir fikir verip sistemin optimizasyonu için yeni olanaklar sunmaktadır. Çünkü darbenin ilerleyişinin bütün yüzeylerdeki hareketi incelenip sistemin sorunları daha kolay bulunabilir. Bu itibarla  $x=0$  yüzeyindeki ve HIRA'nın yüzeyindeki darbenin ilerleyişi her 1 ns aralıklarla fotoğraflar çekilip izlenmiştir. Bu fotoğraflar Şekil 4.9 a-z'de görülebilir.



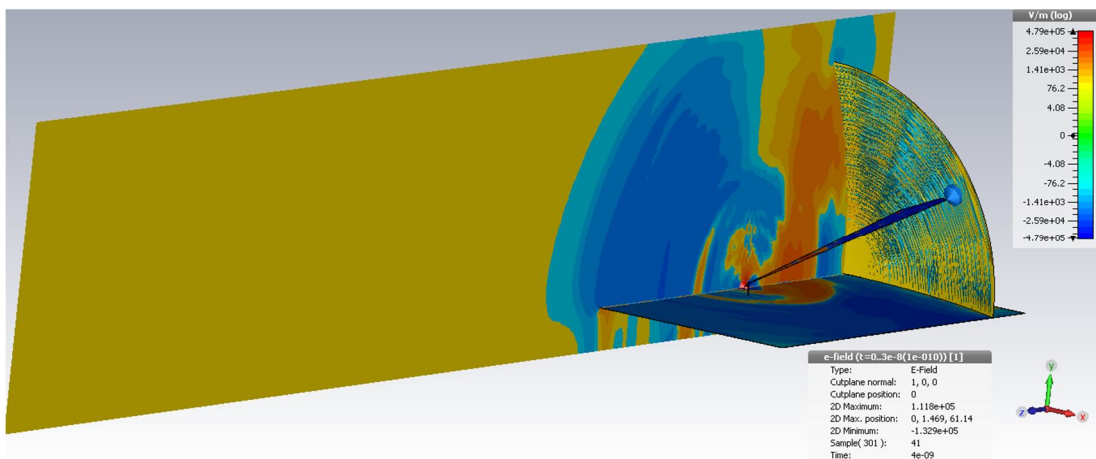
Şekil 4.15. EMP'nin,  $x=0$  ve HIRA'nın yüzeyindeki ilerleyişi 1. ns'deki durum



Şekil 4.16. EMP'nin,  $x=0$  ve HIRA'nın yüzeyindeki ilerleyişi 2. ns'deki durum

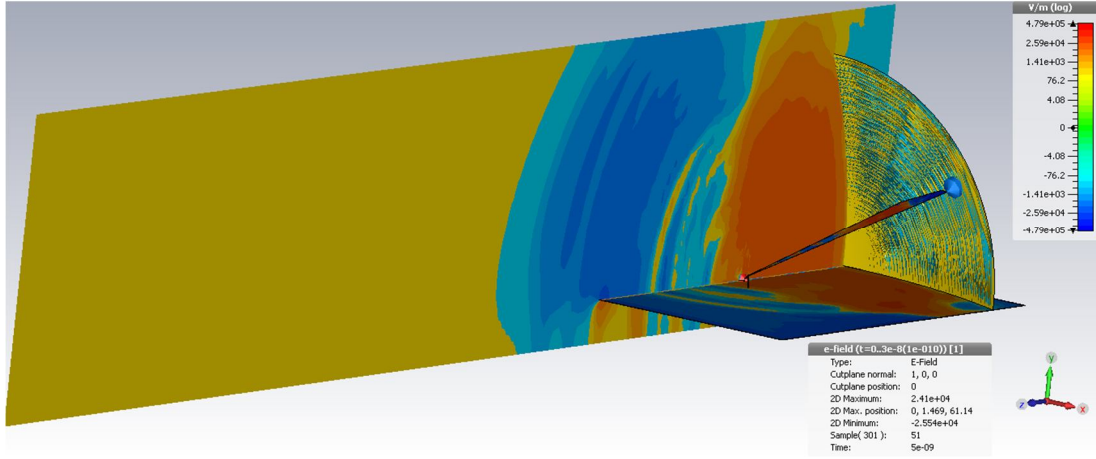


Şekil 4.17. EMP'nin,  $x=0$  ve HIRA'nın yüzeyindeki ilerleyişi 3. ns'deki durum

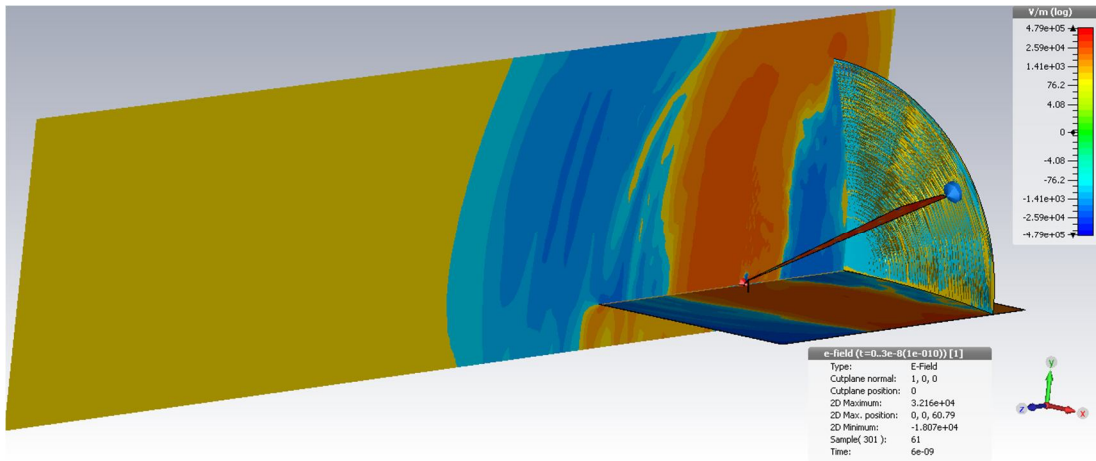


Şekil 4.18. EMP'nin,  $x=0$  ve HIRA'nın yüzeyindeki ilerleyişi 4. ns'deki durum

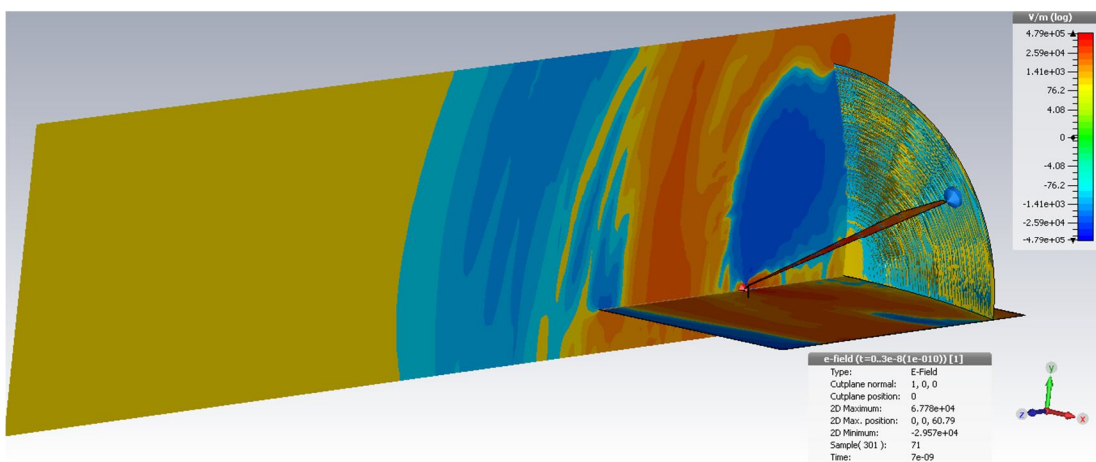




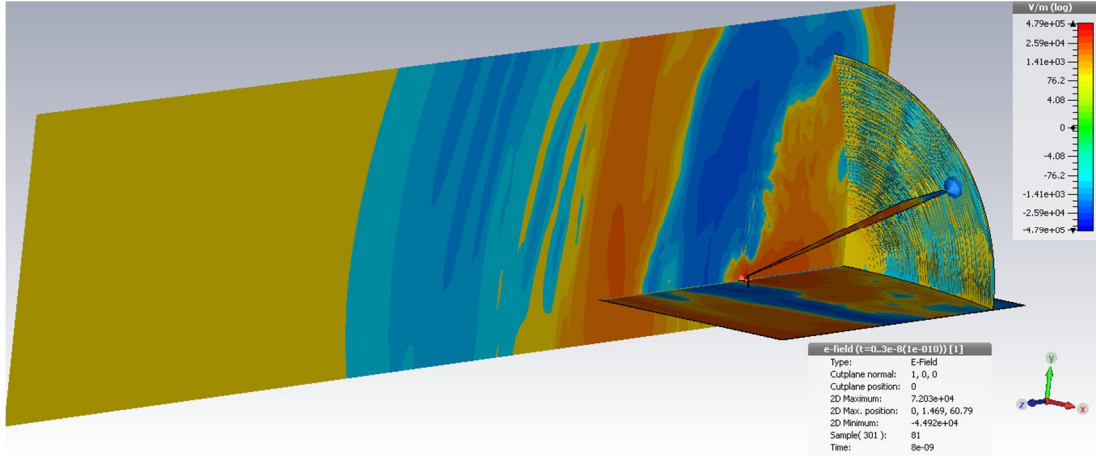
Şekil 4.19. EMP'nin, x=0 ve HIRA'nın yüzeyindeki ilerleyişi 5. ns'deki durum



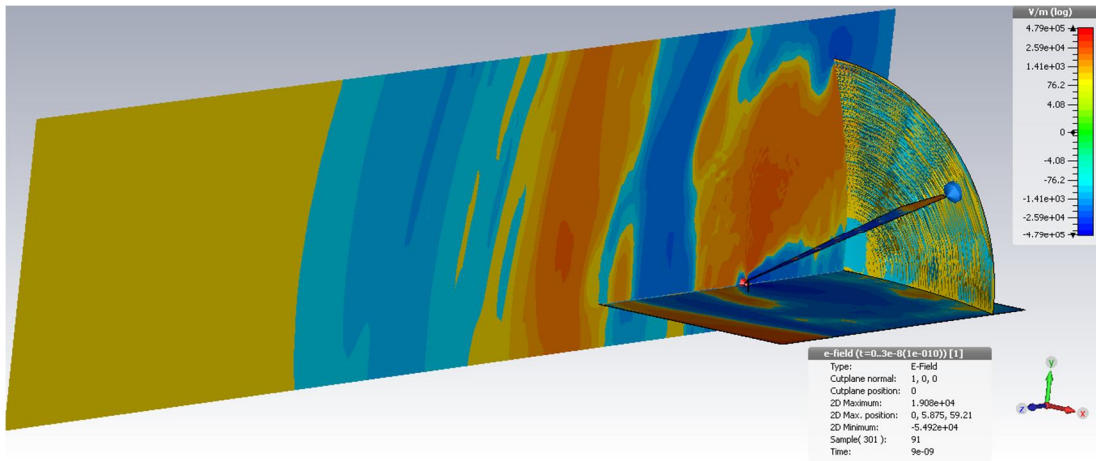
Şekil 4.20. EMP'nin, x=0 ve HIRA'nın yüzeyindeki ilerleyişi 6. ns'deki durum



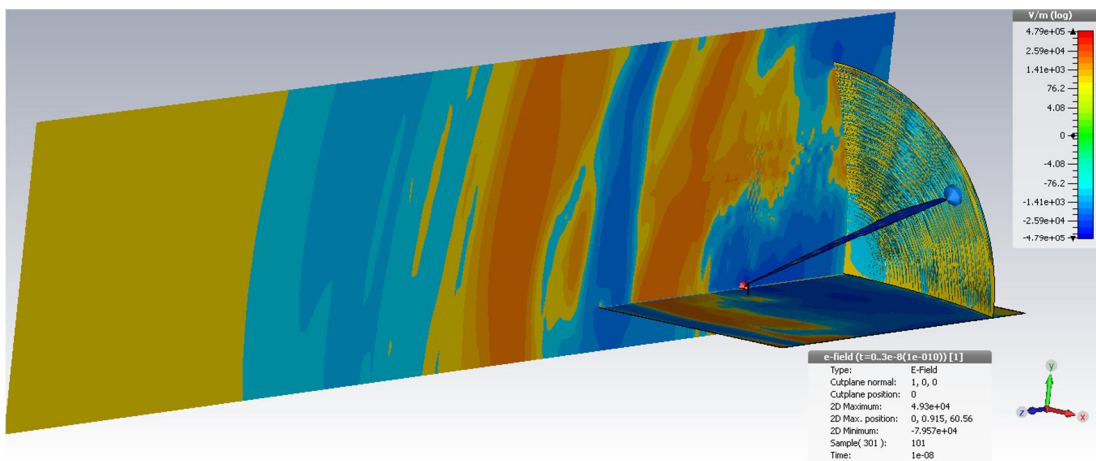
Şekil 4.21. EMP'nin, x=0 ve HIRA'nın yüzeyindeki ilerleyişi 7. ns'deki durum



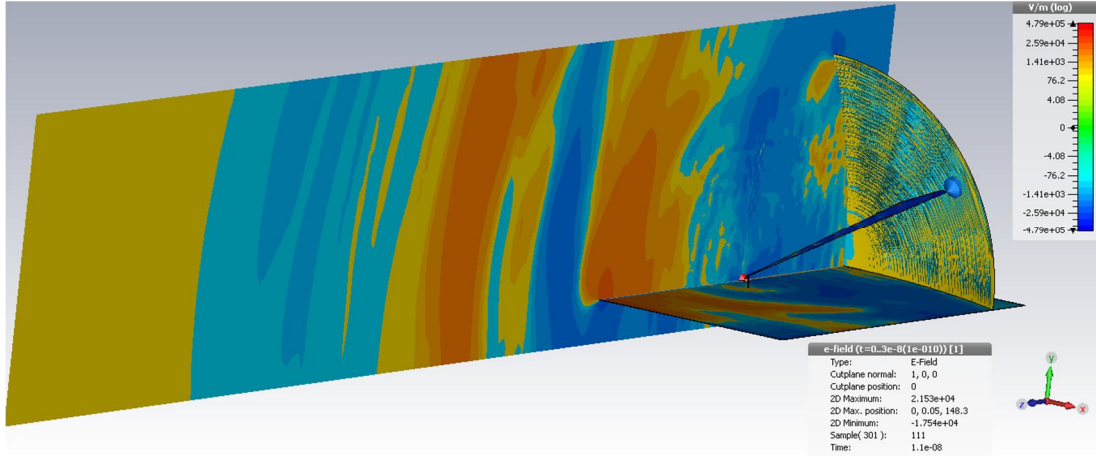
Şekil 4.22. EMP'nin, x=0 ve HIRA'nın yüzeyindeki ilerleyişi 8. ns'deki durum



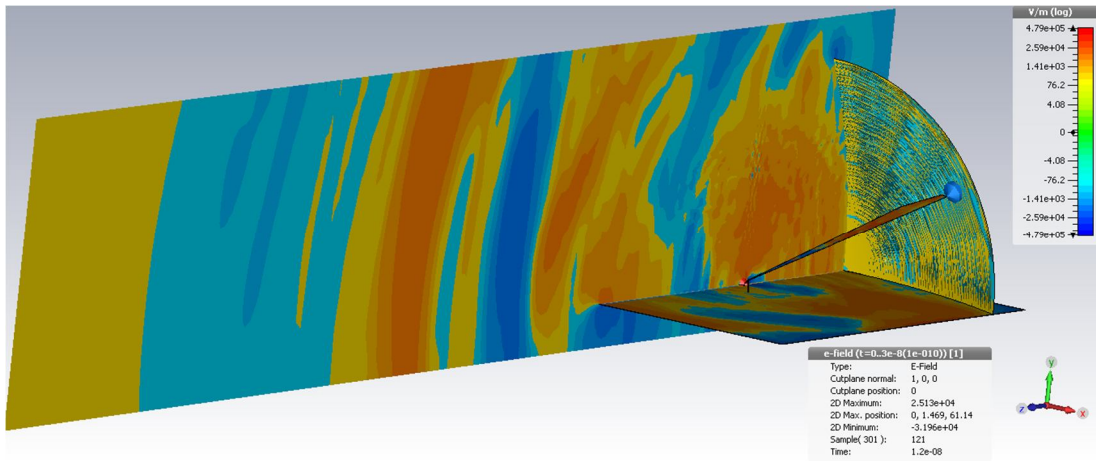
Şekil 4.23. EMP'nin, x=0 ve HIRA'nın yüzeyindeki ilerleyişi 9. ns'deki durum



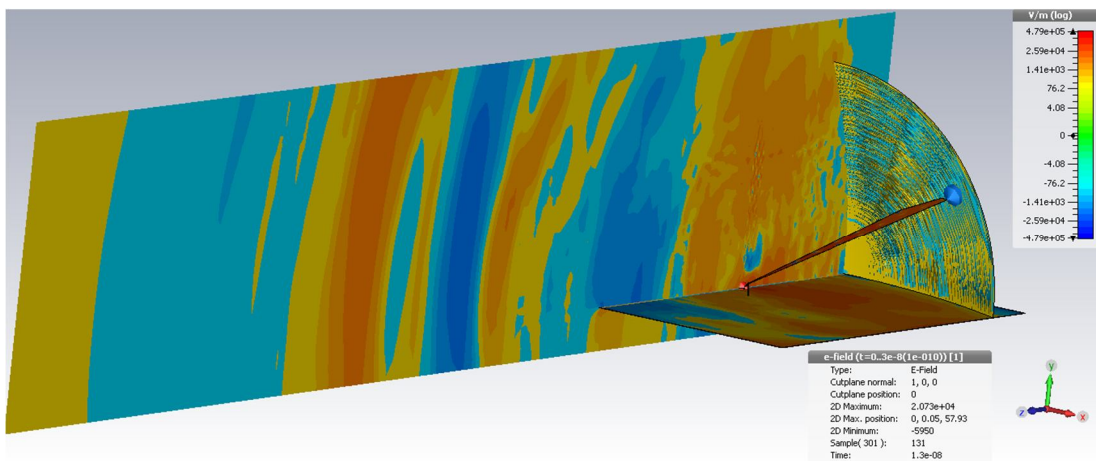
Şekil 4.24. EMP'nin, x=0 ve HIRA'nın yüzeyindeki ilerleyişi 10. ns'deki durum



Şekil 4.25. EMP'nin,  $x=0$  ve HIRA'nın yüzeyindeki ilerleyişi 11. ns'deki durum

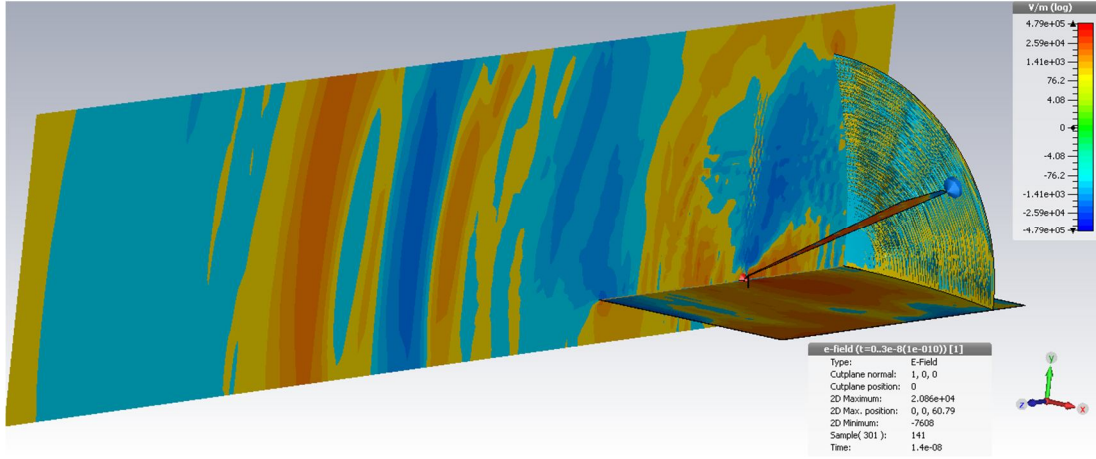


Şekil 4.26. EMP'nin,  $x=0$  ve HIRA'nın yüzeyindeki ilerleyişi 12. ns'deki durum

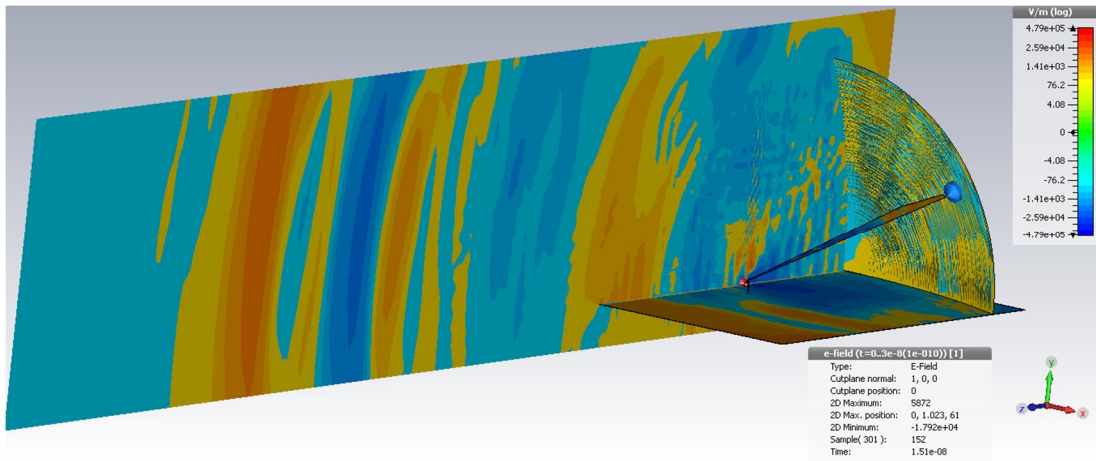


Şekil 4.27. EMP'nin,  $x=0$  ve HIRA'nın yüzeyindeki ilerleyişi 13. ns'deki durum

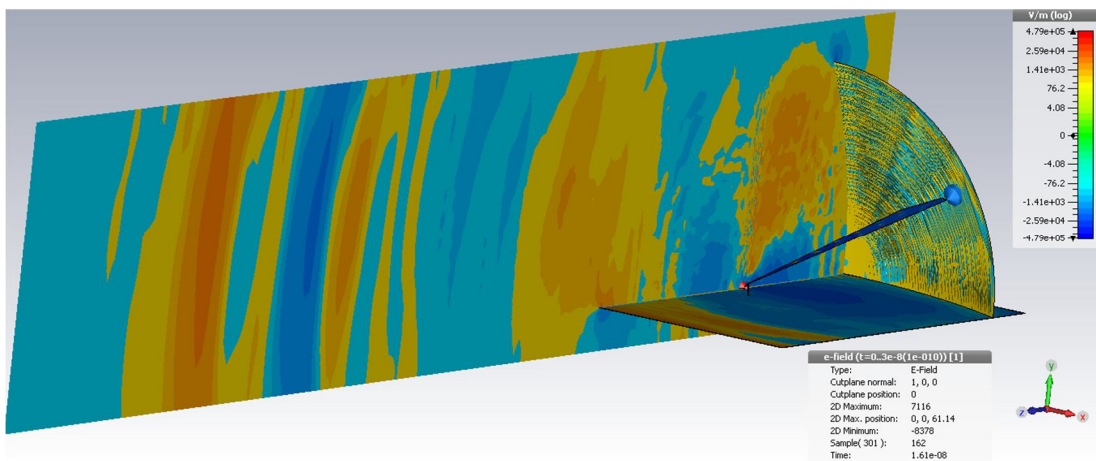




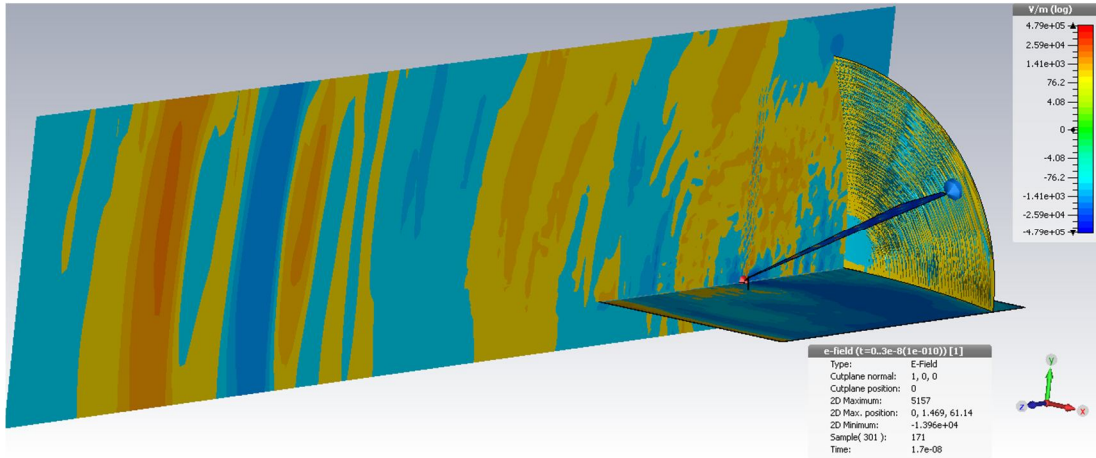
Şekil 4.28. EMP'nin,  $x=0$  ve HIRA'nın yüzeyindeki ilerleyişi 14. ns'deki durum



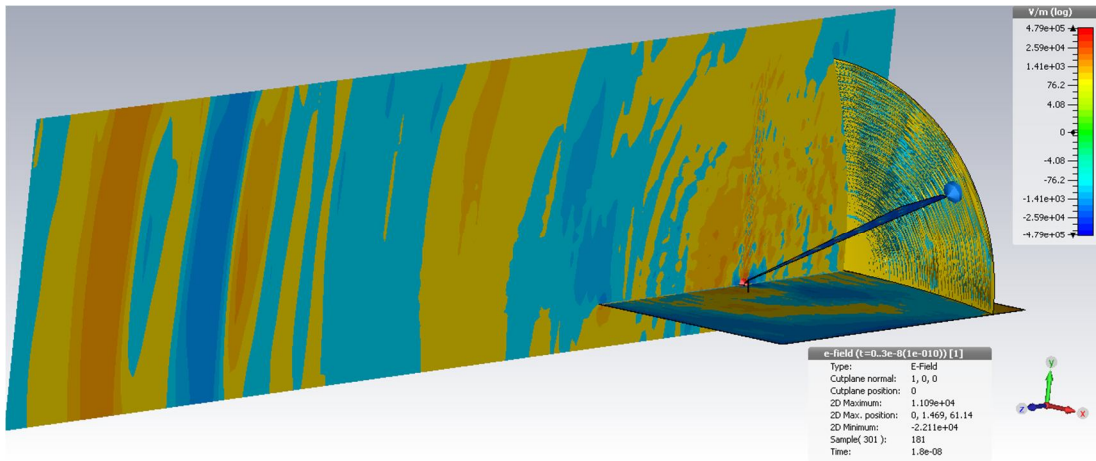
Şekil 4.29. EMP'nin,  $x=0$  ve HIRA'nın yüzeyindeki ilerleyişi 15. ns'deki durum



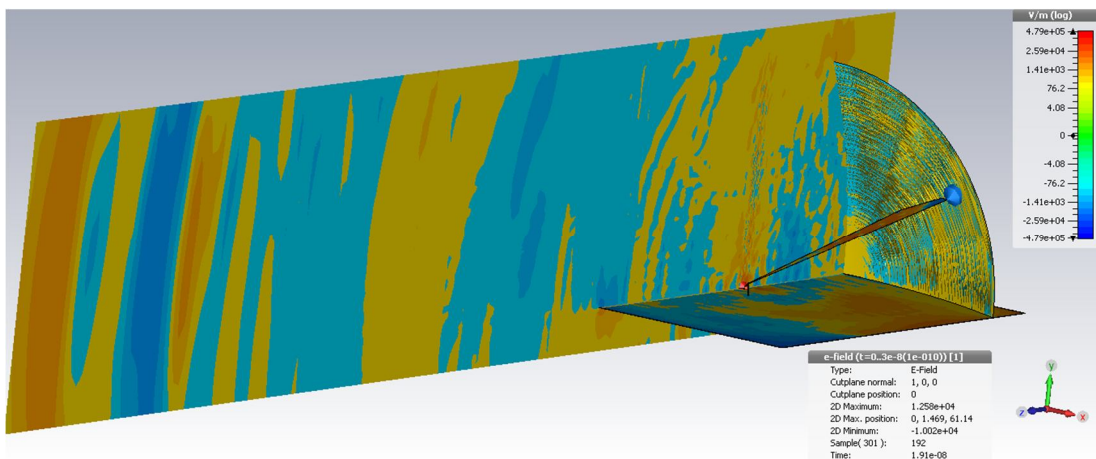
Şekil 4.30. EMP'nin,  $x=0$  ve HIRA'nın yüzeyindeki ilerleyişi 16. ns'deki durum



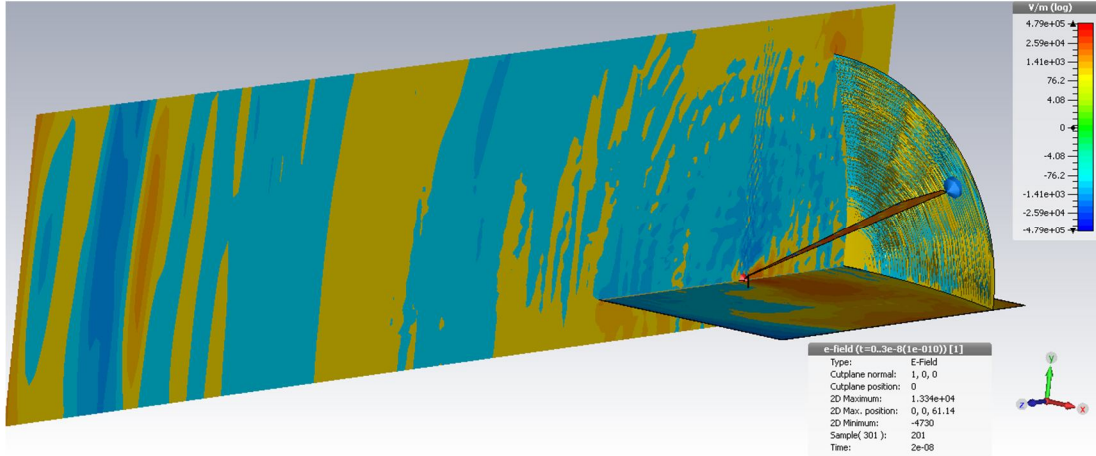
Şekil 4.31. EMP'nin, x=0 ve HIRA'nın yüzeyindeki ilerleyişi 17. ns'deki durum



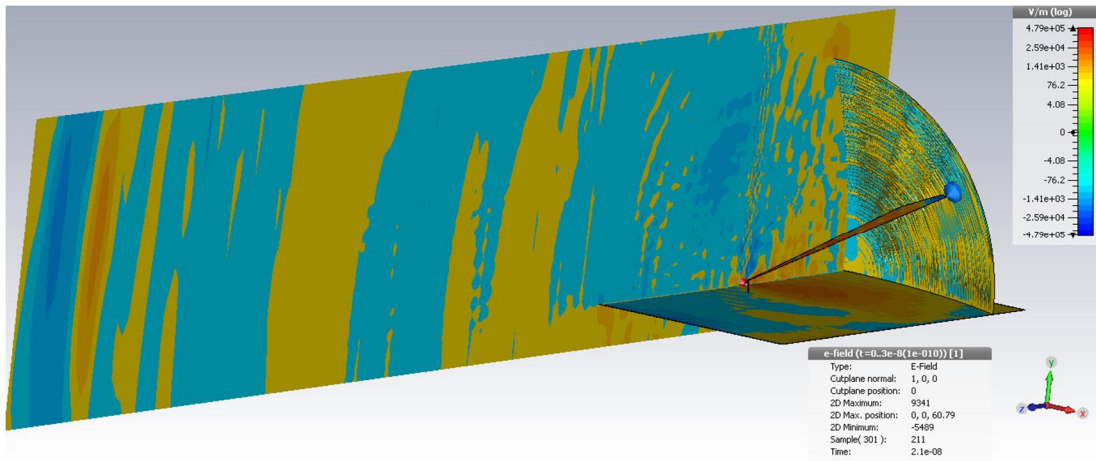
Şekil 4.32. EMP'nin, x=0 ve HIRA'nın yüzeyindeki ilerleyişi 18. ns'deki durum



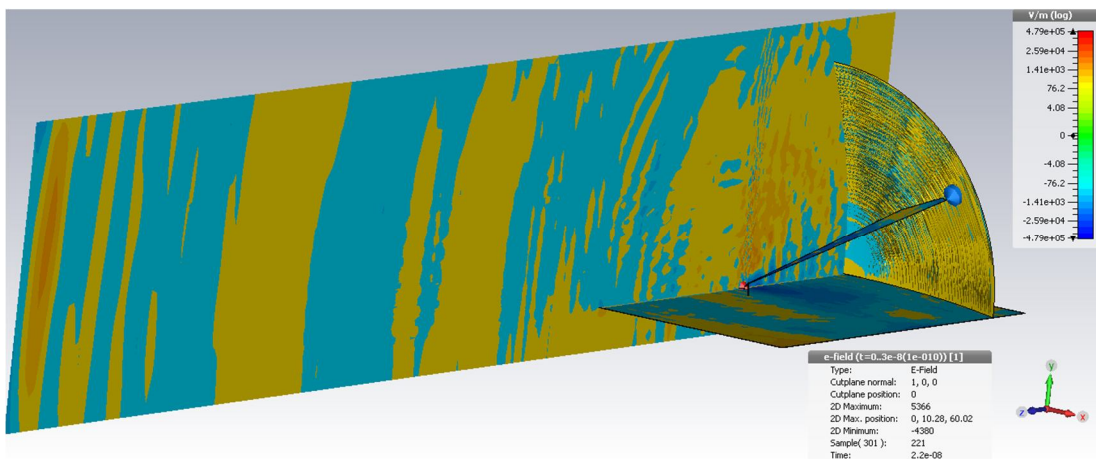
Şekil 4.33. EMP'nin, x=0 ve HIRA'nın yüzeyindeki ilerleyişi 19. ns'deki durum



Şekil 4.34. EMP'nin, x=0 ve HIRA'nın yüzeyindeki ilerleyişi 20. ns'deki durum

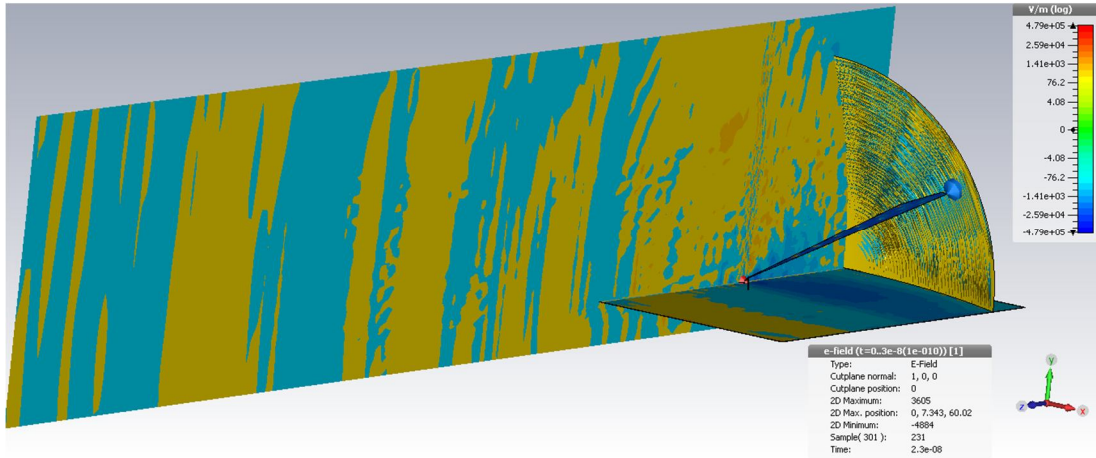


Şekil 4.35. EMP'nin, x=0 ve HIRA'nın yüzeyindeki ilerleyişi 21. ns'deki durum

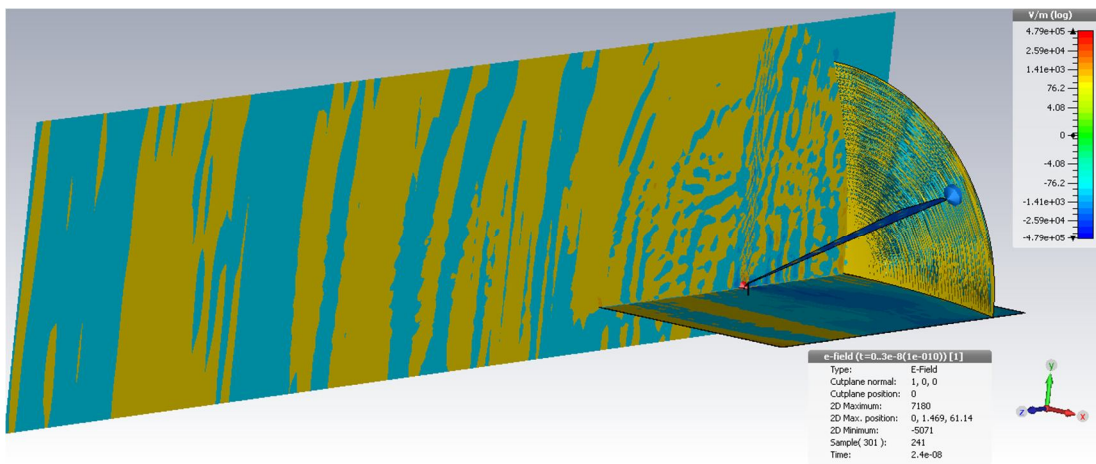


Şekil 4.36. EMP'nin, x=0 ve HIRA'nın yüzeyindeki ilerleyişi 22. ns'deki durum

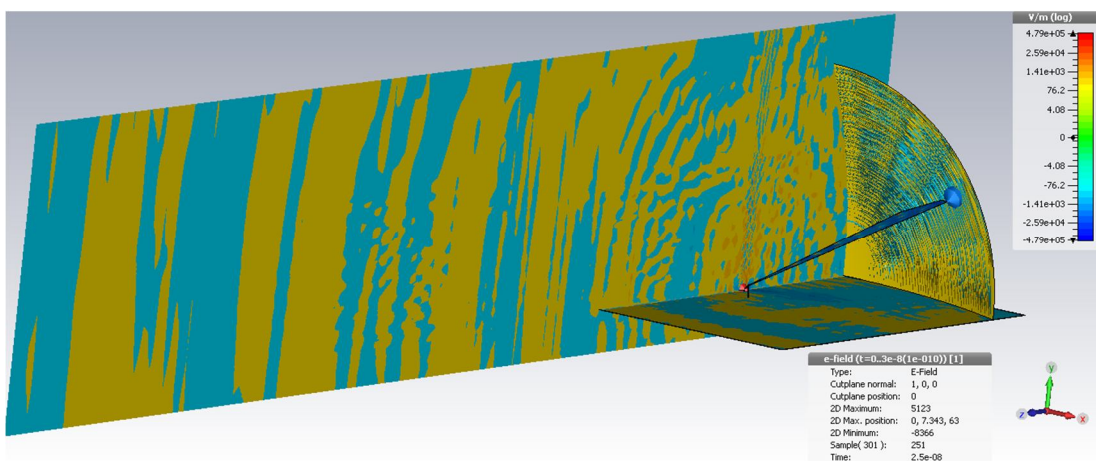




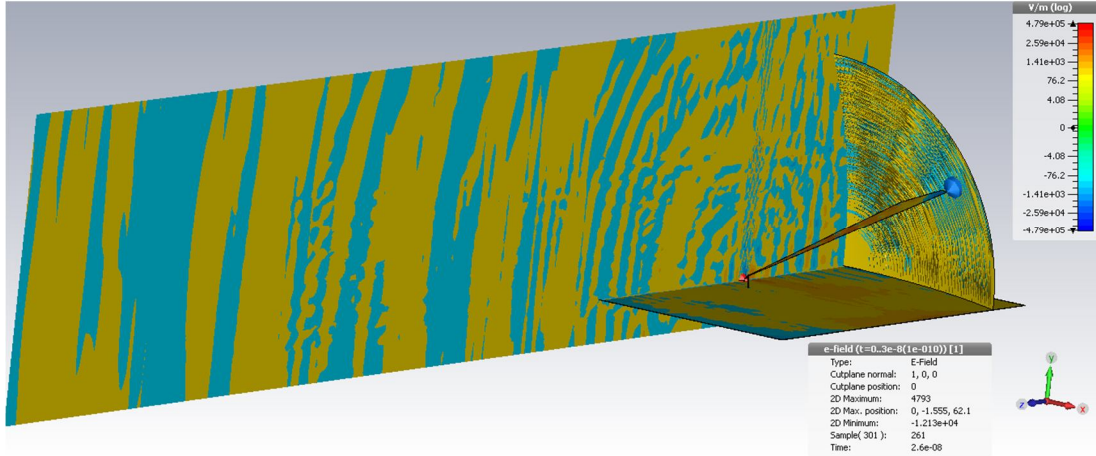
Şekil 4.37. EMP'nin,  $x=0$  ve HIRA'nın yüzeyindeki ilerleyişi 23. ns'deki durum



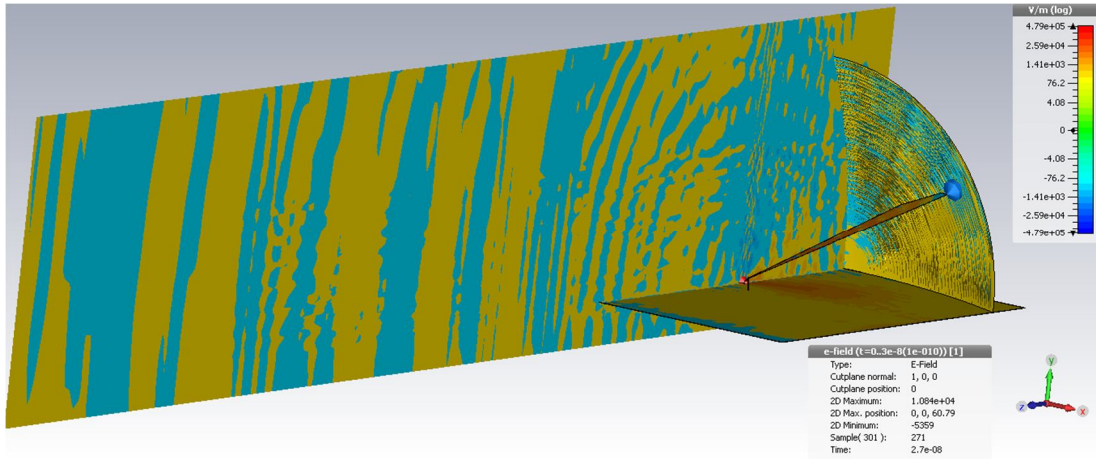
Şekil 4.38. EMP'nin,  $x=0$  ve HIRA'nın yüzeyindeki ilerleyişi 24. ns'deki durum



Şekil 4.39. EMP'nin,  $x=0$  ve HIRA'nın yüzeyindeki ilerleyişi 25. ns'deki durum



Şekil 4.40. EMP'nin,  $x=0$  ve HIRA'nın yüzeyindeki ilerleyişi 26. ns'deki durum



Şekil 4.41. EMP'nin,  $x=0$  ve HIRA'nın yüzeyindeki ilerleyişi 27. ns'deki durum

Darbenin ilerleyişi, yüzeylerdeki herhangi bir noktada elektrik alan renk skalasındaki renklerin o noktadaki değişimiyle sembolize edilmektedir. Diğer bir deyişle yüzeylerde belirlenen herhangi bir noktadaki zamanla renk değişimi o noktadaki elektrik alanın zamanla değişimini ifade etmektedir. Şekillere dikkat edilirse  $x=0$  yüzeyinde  $z$  ekseninde ilerledikçe darbenin genliği gittikçe azalmaktadır. Bu elektrik alanın mesafeyle ters orantılı olarak değiştiğini ispatlamaktadır.



## BÖLÜM 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

EMP Jeneratörleriyle ilgili literatürde yapılan birçok çalışma mevcuttur. Bu çalışmalar gerek simülasyon olarak gerek fiziksel olarak EMP jeneratör çalışmaları olsun değişik tasarım parametrelerini öne çıkartmaktadır. Tablo 5.1’de, yapılan çalışmalardan bazıları gösterilmiş ve bu çalışmaların genel olarak ön plana çıkarttığı parametreler ortaya konulmuştur. Tablodan anlaşılacağı üzere Marx jeneratörü ve Tesla trafosu fiziksel sistemlerde yoğunlukla kullanılmaktadır. Tesla trafosunun avantajı yükselme zamanı daha kısa olan darbeler üretmesidir. Buna karşılık çok yüksek gerilim gerektiren sistemlerde Marx jeneratörü kullanılmaktadır. Bu çalışmada EMP jeneratörünün simülasyonu yapıldığından dolayı yüksek beslemeli DC gerilim kaynağı Marx jeneratörü veya Tesla trafosu kullanılmadan LTSpice programından hazır olarak alınıp PFL hattına verilmiştir. Normalde, fiziksel tasarımda bahsedilen iki yöntemden birisi yüksek gerilim elde etmek için kullanılacak yada piyasada hazır olarak satılan bir yüksek DC gerilim kaynağı PFL hattını beslemek için kullanılacaktır.

Yapılan çalışma sonucunda HIRA’nın odak noktasından 5 metre uzaklıktaki bir mesafeye EMP jeneratörünün 2500 V/m elektrik alan uygulayabileceği gösterilmiştir. Simülasyonda uygulanan sistem fiziksel dünyaya aktarılırsa elektronik malzemelerde ani bir elektrik alan vasıtasıyla yüksek gerilim indüklenip bu malzemelerin geçici ani darbelere karşı bağışıklıkları test edilebilir ve bu çeşit darbelere karşı dayanıp dayanamayacakları incelenebilir.

Tablo 5.1. Literatürden EMP Jeneratörüne örnekler

Çalışmanın İsmi	Parametreler ve avantajlar
F. Sabath, D. Nitsch, M. Jung, and T. H. Weise, "Design and setup of a short pulse simulator for susceptibility investigations," <i>Plasma Science, IEEE Transactions on</i> , vol. 30, pp. 1722-1727, 2002.	Sistemde Tesla trafosu darbe üretim hattına (PFL) 100 kV'un üstünde bir gerilim verir. PFL, HIRA'ya ürettiği gerilim darbesini verir. 100 metreye kadar birkaç kV/m EMP yayımlanır. Yayımlanan darbelerin yükselme süresi 300 ps civarındadır. Bu, Tesla trafosunun avantajını göstermektedir. Sistem fiziksel olarak gerçekleştirilmiştir.
J. F. Vega Stavro, "Design of a high power ultra wideband system using a fast impulse current generator," Universidad Nacional de Colombia, 2011.	Gerilim darbesinin pik değeri 23 kV'dur. 10 metre mesafeye 2.7 kV/m EMP verilir. Darbenin yükselme süresi 400 ps'dir. Kurulumun basit olması ve maliyet düşüklüğü ön plandadır. Sistem fiziksel olarak gerçekleştirilmiştir.
V. Bailey, V. Carboni, C. Eichenberger, T. Naff, I. Smith, T. Warren, B. Whitney, D. Giri, D. Belt, and D. Brown, "A 6-MV Pulser to Drive Horizontally Polarized EMP Simulators," <i>Plasma Science, IEEE Transactions on</i> , vol. 38, pp. 2554-2558, 2010.	Marx Jeneratörleri kullanarak gerilim darbesi üretilmiş anten olarak yatay polarize dipol anteni kullanılmıştır. 85 kV/m 25 metre mesafeye verilmiştir. Darbelerin yükselme süresi 1 ns civarındadır. Sistemin avantajı çok yüksek genlikli EMP'ler üretebilmesidir [7].
J. Rosenlind, "The Impulse-Radiating Antenna," Karlstad University, 2009.	IRA incelemesi yapılmıştır. CST Microstripe ile bir simülasyon yapılmıştır. 90 kV'luk çifte eksponensiyel sinyal antene besleme olarak verilmiş çıkışlar gözlenmiştir.

Örnek olarak herhangi bir entegre devrenin en iç ve dış bacağındaki mesafenin 1 cm olduğunu düşünelim. Bu entegre EMP jeneratörünün 5 metre uzağına yerleştirilmiş olsun. Uygulaması yapılan EMP jeneratörü, HIRA'nın merkezinin 5 metre uzağına 2500 V/m genliğinde elektrik alanı yayacaktır. İki bacak arasında basit bir hesapla 25 V'luk bir gerilim indükleneyeceği görülebilir. Bu ise günümüzdeki entegre devreler için dayanılması zor bir gerilimdir. Bu gerilim sözü edilen entegre devre üzerinde geçici yada kalıcı hasara neden olabilir [8].

Elektrik alan değerinin artırılması mümkündür. Bunun için PFL'nin girişine verilen besleme geriliminin artırılması gerekir. Böylece ortamda daha yüksek genlikli darbeler elde edilebilir. Fakat bu durumda HIRA'nın değişik bölgelerinde meydana gelebilecek olası elektriksel kırılma fenomenine karşı önlemler alınmalıdır.

## KAYNAKLAR

- [1] ROSENLIND, J., The Impulse-Radiating Antenna, Engineering Physics Master Thesis, Karlstads University, Faculty of Technology and Science Department of Physics and Electrical Engineering, 2009.
- [2] STAVRO, J.F.V, Design of a High Power Ultra Wideband System using a Fast Impulse Current Generator, Doctor in Electrical Engineering, National University of Colombia, 2011.
- [3] KUPHALDT, T., Lessons In Electric Circuits, Volume II . AC, pp. 481-527, July 2007.
- [4] GILVANEJAD, M., VAHEDI, A., SANIEI, M., Performance of Pulse Forming Lines (PFLs) in Non-Matched Load Operation., 2006.
- [5] SABATH, F., NITSCH, D., JUNG, M., WEISE, T., Design and Setup of a Short Pulse Simulator for Susceptibility Investigations. IEEE Transactions on Plasma Science, Vol. 30, No. 5, pp. 1722-1727 October 2002.
- [6] SALLIN, M., DAOUT, B., Half Impulse Radiating Antenna Type HIRA140 Measurements and Simulations, Montena Technology, Technical Note - TN16, 2012.
- [7] BAILEY, V., CARBONI, V., EICHENBERGER, C., NAFF, T., SMITH, I., WARREN, T., WHITNEY, B., GIRI, D., BELT, D., BROWN, D., A 6-MV Pulser to Drive Horizontally Polarized EMP Simulators, *Plasma Science, IEEE Transactions on*, vol. 38, pp. 2554-2558, 2010.
- [8] ÇEREZCİ, O., ŞEKER, S., Elektromagnetik Dalgalar ve Mühendislik Uygulamaları Boğaziçi Üniversitesi Yayını, 416 sayfa, 1995.

## ÖZGEÇMİŞ

Tayfun YARDIM, 04.08.1979'da Zonguldak Ereğli'de doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Ereğli'de tamamladı. 1996 yılında Ereğli Lisesinden mezun oldu. 1997 yılında Uludağ Üniversitesi Elektronik Mühendisliği bölümüne girdi. 2004 yılında burdan mezun oldu. 2006 yılında askerlik görevini teğmen olarak tamamladıktan sonra 2007-2009 arasında çeşitli özel sektör kuruluşlarında çalıştı. 2009 yılında Bayburt Üniversitesine Uzman olarak atandı. Bayburt Üniversitesinin kuruluş aşamasında Bilgi İşlem Daire Başkanlığında çalıştı. 2011 yılında Düzce Üniversitesine Uzman olarak atandı. Halen Düzce Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırmalar Uygulama ve Araştırma Merkezi (DÜBİT)'de Uzman olarak görev yapmaktadır.