EMP JENERATÖRÜ SİMÜLASYONU

[1]Tayfun Yardım ve [2]Osman Çerezci
[1]Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Sakarya Üniversitesi, Türkiye
[2]Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Sakarya Üniversitesi, Türkiye

Özet

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 darbelere karşı dayanıklılığını inceleme 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, araştırılması ve bir EMP sisteminin fiziksel olarak inşa edilmesinden önce bilgisayar ortamında tasarımının gerçekleştirilmesinden ibarettir. Tasarımın sonunda elde edilen çıktılardan sistemin elektronik malzemelerin hassaslık testlerinde kullanıp kullanılamıyacağı tartışılmıştır.

Key words: EMP, elektronik malzeme, bilgisayar simülasyonu

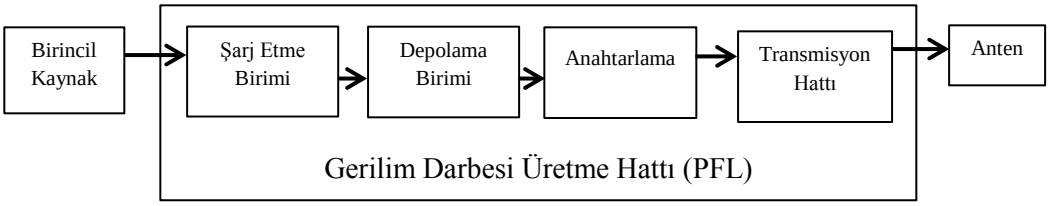
1. Giriş

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 [1].

Nükleer patlama haricinde darbe oluşturan tipik bir DC beslemeli darbe yayımlayan sistem

Şekil 1'de gösterildiği gibi üç ana alt birimden oluşur: Birincil yüksek gerilim kaynağı, gerilim darbesi üreteci (buda birkaç alt birime ayrılabilir) ve anten.



Şekil 1. DC-şarjlı bir darbe yayımlama sisteminin genel diyagramı

Darbe yayımlayan sistemlerin kısa bir özeti şöyle verilebilir:

- Bir yüksek gerilim düşük enerji kaynağı belli bir zaman periyodunda bir enerji depolama birimini (kapasitör yada kapasitörler) şarj eder. Belli bir şarj eşiğine ulaşıldıktan sonra depolanan enerji, hızlıca empedans uyumu olan bir transmisyon hattına ordan da yayımlanması için bir antene verilir.

- 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.

- Depolama birimi bir kapasitörden veya kapasitör takımından oluşur. Bu birim sistemin maksimum şarj olma gerilimine dayanabilmelidir. ve deşarj olurken düşük bir eşdeğer indüktans sergilemelidir.

- 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.

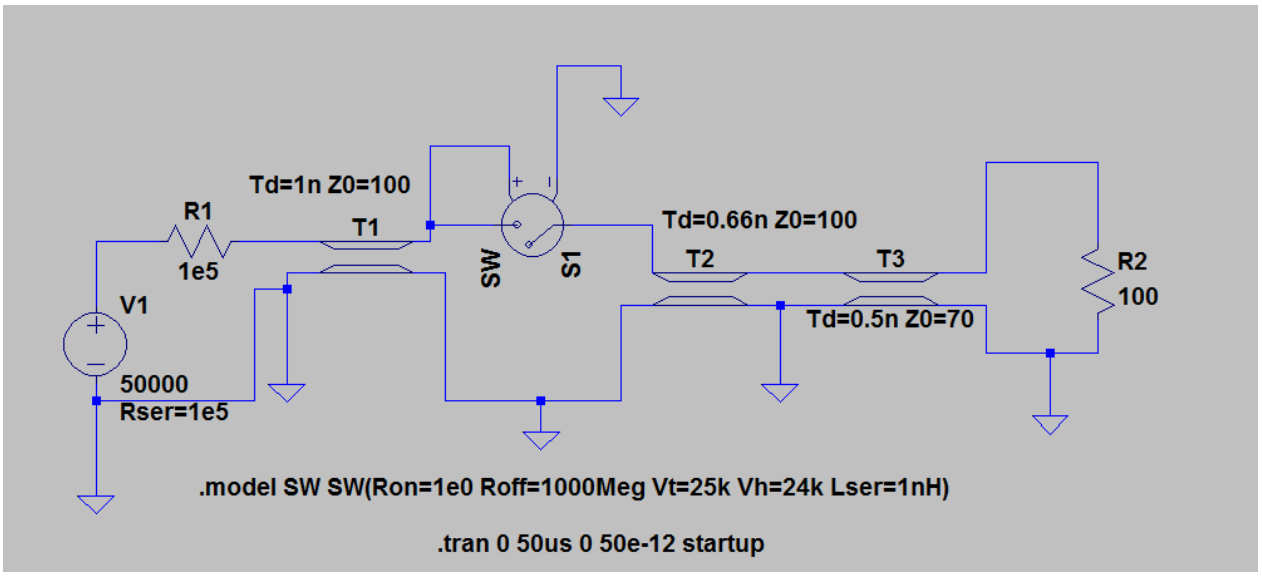
- Darbe, antene bir transmisyon hattı aracılığıyla enjekte edilir. Antenin ve transmisyon hattının karakteristik empedansları uyduğunda, maksimum transfer başarılmış demektir.

- Yüksek genlikli elektromanyetik darbelerin yayımlanması için kullanılan antenler, 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 (IRA) ve Darbe Yayımlayan Yarım Anten (HIRA) gibi varyasyonlar bu şartları karşılar ve bu uygulamalarda yaygın olarak kullanılır [2].

Bu bildiride, bir darbe yayımlayan sistemin diğer bir deyişle bir EMP jeneratörünün simülasyonu, gerilim darbesi üretme hattı (PFL)'nın LTSPICE devre modeli programıyla modellenmesi, modelleme sonucunda elde edilen gerilim darbesinin ise Darbe yayımlayan yarım antenin girişine besleme olarak verilmesiyle gerçekleştirilmiştir. Darbe yayımlayan yarım antenin çıkışında EMP'ler elde edilir. Elde edilen EMP'lerin zamana göre elektrik alan değerleri incelenerek sistemin elektronik malzemelerin yüksek genlikli darbelere dayanırlık testlerinde kullanılıp kullanılamıyacağı tartışılmıştır.

2. PFL Devre Modeli

Gerilim darbesi üretmek için kullanılan devre modeli Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Gerilim darbesi üretim hattının devre modeli

Bu devre modelinde V1 birincil DC gerilim kaynağını, R1 Akım sınırlama direncini, T1 şarj etme transmisyon hattını, SW, voltaj kontrollü anahtarı (kıvılcım aralığını temsil eder), T2, deşarj olma hattını, T3, koaksiyel darbe oluşturma hattının plastik kapaklarını temsil eden transmisyon hattını, R2 ise yükü temsil etmektedir.

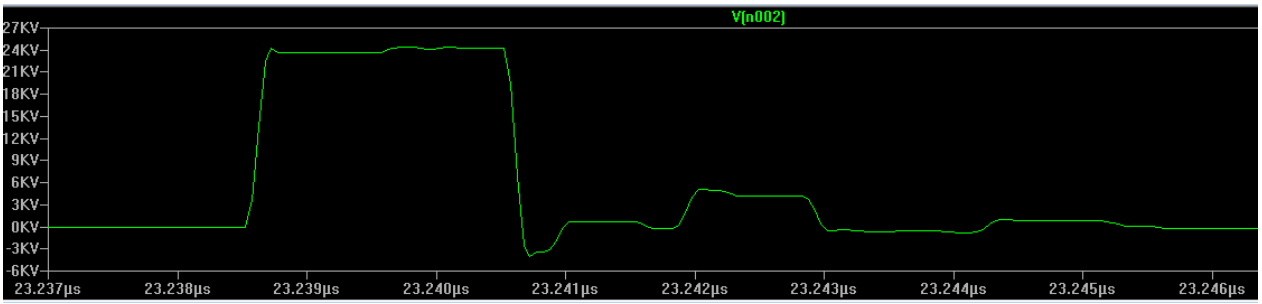
PFL'in çalışması şöyledir: Birincil enerji kaynağı olan DC besleme ile T1 transmisyon hattı şarj edilir. Hat şarj olurken kıvılcım aralığının kırılma gerilimine ulaşıldığında T1 transmisyon hattı kıvılcım aralığı üzerinden T2 transmisyon hattına deşarj olur. Kıvılcım aralığı üzerinden akım geçmeye başladığı anda iki adet darbe ortaya çıkar bunlardan birisi T2 transmisyon hattına doğru gider. Tam bir empedans uyuşması olursa darbe orda harcanır. geri yansımaz. Diğer darbe ise kaynak tarafına doğru ilerler ve T1 transmisyon hattı üzerinden R1 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 [3].

Gerilim darbesinin genliği eğer T1 ve T2 arasında empedans uyuşmazlığı yoksa yaklaşık DC besleme değerinin yarısına eşittir (V1/2). Süresi ise T1 transmisyon hattından ilerleyen darbenin gidiş geliş süresine karşılık gelmektedir. Kıvılcım aralığının diğer tarafındaki T2 transmisyon hattının girişinde darbe yükselme süresi ise kıvılcım aralığının indüktansına, kıvılcım aralığındaki elektrik alana ve kıvılcım aralığından karşı tarafa geçen elektronların mobilitesine bağlıdır. T1 ve T2 transmisyon hattında dielektrik olarak SF6 gazı bulunurken T3 transmisyon hattında plastik kapakların malzemesi olan plastik bulunmaktadır. Karakteristik empedanslar aşağıdaki eşitlikden bulunabilir:

$$Z_0 = \frac{60}{\sqrt{\varepsilon_r}} ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right) \quad \textbf{(1)}$$

Burda; r_2, r_1, sırasıyla koaksiyel darbe üretme hattının dış ve iç iletkenlerin yarıçapları ve ε_r, hattı dolduran dielektriğin göreceli permitivitesi'dir.

Devre modeli sonucunda elde edilen gerilim darbesi Şekil 3'deki gibidir.



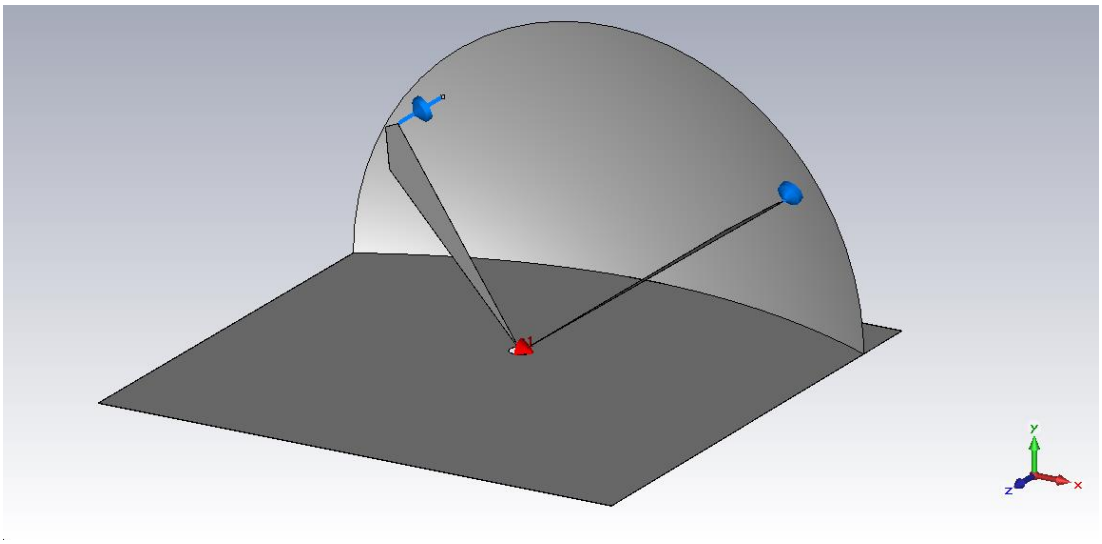
Şekil 3. PFL devre modeli sonucunda elde edilen gerilim darbesi

Şekildende görüldüğü gibi gerilim darbesinde yansımalar mevcuttur bunun sebebi koaksiyel darbe üretme hattının iki tarafının plastik kapaklarla kapanması sonucu T3 transmisyon hattının T1 ile T2 transmisyon hatlarıyla empedans uyuşmazlıkları meydana getirmesidir.

3. Darbe Yayımlayan Yarım Anten (HIRA)'in Modellenmesi

PFL'in çıkışında üretilen gerilim darbesi Darbe yayımlayan yarım antene (HIRA) giriş beslemesi olarak verilmiştir. HIRA'nın modellenmesi CST MWS ile yapılmıştır.

HIRA'nın simülasyonu için en uygun benzetim ortamlarından biriside CST MWS elektromanyetik simülasyon programıdır. bu program kullanılarak HIRA üç boyutlu olarak çizilmiş ardından portlar vasıtasıyla beslemesi girilerek sonuçlar grafik olarak ortaya konulmuştur. Çizilen HIRA'nın üç boyutlu olarak görüntüsü Şekil 4'de verilmiştir.



Şekil 4. HIRA'nın üç boyutlu çizimi

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

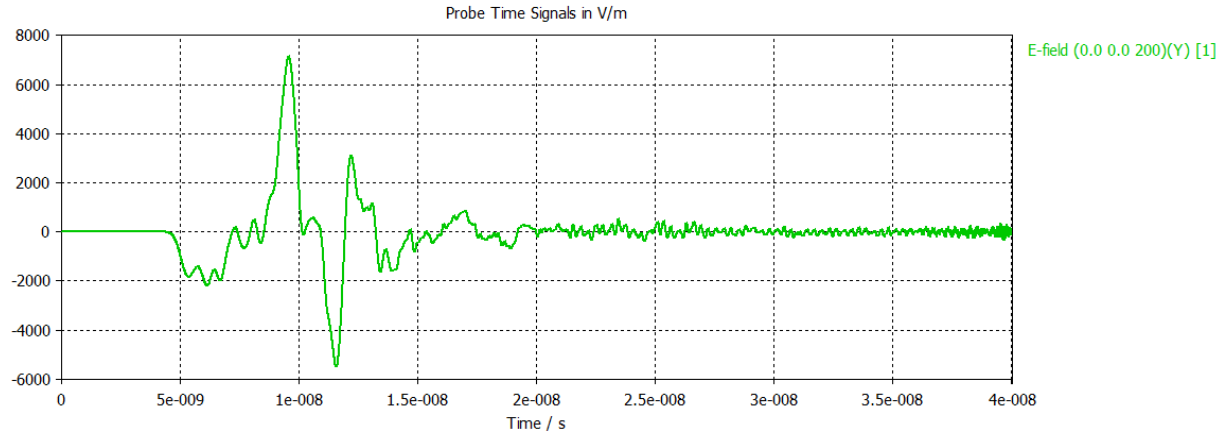
- Parabolik Reflektör
- Koaksiyel Besleme Noktası
- Besleme Kolları
- Rezistör
- Topraklanmış İletken Düz Plaka (TİDP)

Şekildeki parabolik reflektör, küresel olarak simetrik gelen dalgaları yüzey dalgalarına çevirip reflektöre dik olarak ileriye doğru yönlendiren elemandır. Koaksiyel besleme noktası, PFL ile HIRA'nın birleştiği noktadır. Şekilde deliğin içindeki kırmızı ok olarak gösterilmiştir. Besleme kolları, koaksiyel besleme noktasından parabolik reflektöre doğru uzanan metalik plaka ince kollardır. Bu kollar TİDP ile birlikte karşılıklı olarak transmisyon hattı meydana getirirler. Rezistör, 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. TİDP, elektrik alanın yüzeye parallel 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.

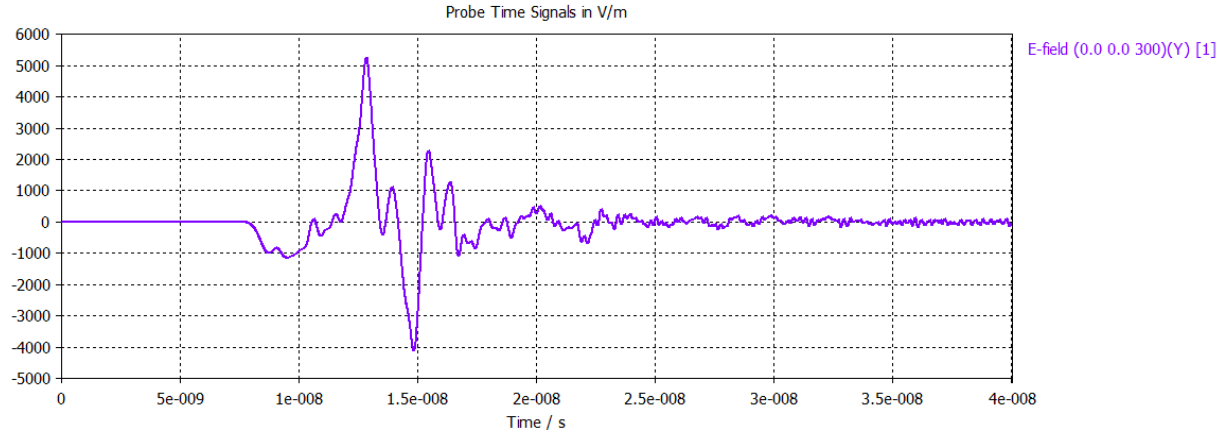
4. Simülasyon Sonuçları

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, zamana bağlı olarak elektrik alan grafikleridir. Bu grafikler, parabolik reflektörün 2 metre ötesinden başlayıp 1 metre aralıklarla ilerleyip 5 metre ötesine kadar probların yerleştirilip

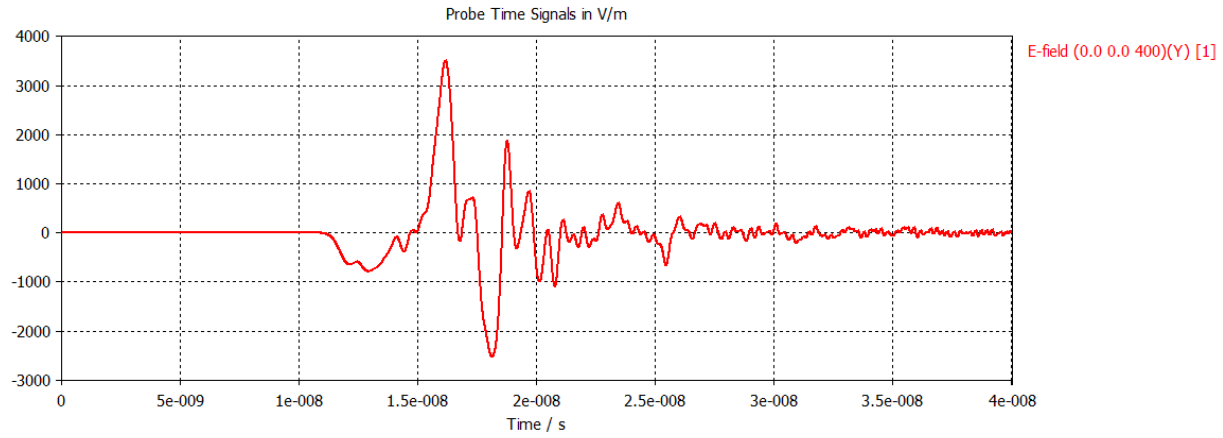
elektrik alanın ölçülmesi sonucu ortaya çıkmaktadır. Elektrik alan x,y ve z ekseninin tamamında da mevcuttur. Fakat dikkate değer olan sadece y eksenindeki elektrik alandır. Diğer eksenlerdeki elektrik alanlar kırınım etkileridir. Buna göre Şekil 5,6,7,8'de elektrik alanın y ekseninde zamanla değişimi parabolik reflektörün merkezinden geçen z ekseni üzerinde merkezden 2 metre, 3 metre, 4 metre ve 5 metre uzaklıkta gösterilmiştir.



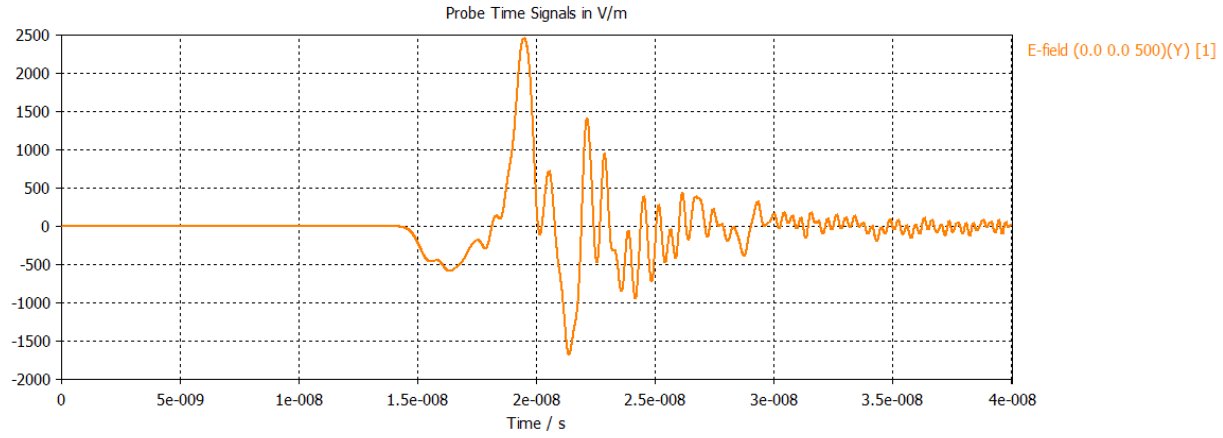
Şekil 5. Elektrik alanın reflektörün merkezinden 2 metre uzaklıkta zamana göre değişimi



Şekil 6. Elektrik alanın reflektörün merkezinden 3 metre uzaklıkta zamana göre değişimi



Şekil 7. Elektrik alanın reflektörün merkezinden 4 metre uzaklıkta zamana göre değişimi



Şekil 8. Elektrik alanın reflektörün merkezinden 5 metre uzaklıkta zamana göre değişimi

5. Tartışma

Elektrik alanın z ekseni boyunca parabolik reflektörün merkezinden uzaklaştıkça azaldığı görülmektedir ki, buda olması gereken sonuçtur. Ana darbeden sonra tekrar küçük bir pik'in meydana geldiği görülür. Bu pik, giriş beslemesinden gelen gerilim darbesinde yansıma sonucu oluşan ikincil ve üçüncül darbelerden kaynaklanmaktadır.

Sonuç

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.

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 indükleneceği görülebilir. Buda günümüzdeki entegre devreler için dayanılması zor bir gerilimdir. Bu gerilim sözü edilen entegre devre üzerinde geçici yada kalıcı hasara neden olabilir [4].

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 İmpulse-Radiating Antenna, Engineering Physics Master Thesis, Karlstads University, Faculty of Technology and ScienceDepartment of Physics and Electrical Engineering, 2009

[2] Stavro, J.F.V, Design of a High Power Ultra Wideband System using a Fast İmpulse Current Generator, Doctor in Electrical Engineering, National University of Colombia, 2011.

[3] Gilvanejad, M., Vahedi, A., Saniei, M., Performance of Pulse Forming Lines (PFLs) in Non-Matched Load Operation.

[4] Çerezci, O., Şeker, S., Elektromagnetik Dalgalar ve Mühendislik Uygulamaları Boğaziçi Üniversitesi Yayını, 416 sayfa, 1995