

TEMEL YARIİLETKEN DEVRE ELEMANLARINDAKİ ELEKTROMANYETİK GİRİŞİM ETKİSİNİN SİMÜLASYONU

Ö. Galip Saraçoğlu, Selami Toprak*, Celal Yıldız
Erciyes Üniversitesi
Elektronik Mühendisliği Bölümü
38039 Kayseri
saracog@erciyes.edu.tr, yildizc@erciyes.edu.tr

*Netcom Bilgisayar AŞ.
Hükümet Cad. No:7
38010 Kayseri
selami@kaynet.net

Özet: Bu bildiri, elektronik devrelerde kullanılan diyot, BJT ve JFET elemanlarının yüksek frekanslı bir elektromanyetik girişim işaretini altındaki davranışları PSPICE kullanılarak simüle edilmiştir. Girişim işaretine maruz kalan elemanlardan diyotun akımında yüzde 67'ye kadar, BJT'nin baz akımında 0.5mA'den 1.5mA'e kadar, kollektör akımında 119.37 mA'den 305.3 mA'e kadar bir değişime gözlenmiştir. JFET'in çıkış akımında ise önemli bir değişiklik meydana gelmemiştir.

1. Giriş

Geçtiğimiz yüzyılın ikinci yarısından itibaren, elektronik aygıtların sayısı ve çeşitliliğinin yüksek bir hızda artması, elektromanyetik girişim (EMG) olarak tanımlanan bir sorunu teknik literatüre sokmuştur [1]. Yüzyılın son ondalığında ise gezgin iletişim araçlarının kişiselleşmesi, sorunu da gezer hale getirmiştir. Günümüzde EMG, sadece teknik elemanları ilgilendiren bir sorun olmaktan çıkmış, artık tüm toplumun ortak ilgi alanı haline gelmiştir.

EMG sorunlarının en temel sebebi, tüm devre elemanlarının doğrusal olmayan davranışları ve bu davranışların gerek tasarımı, gerekse uygulamada göz ardı edilmesidir. Özellikle yarıiletken elemanların ve çekirdeği doymaya giden bobinlerin doğrusal olmayan davranışları, sorunun özünü oluşturur. Genel olarak EMG, bir devrede devre elemanlarının frekans bandının, bozucu kaynağın frekans bandı dışında bir frekansa sahip olmasından ortaya çıkar [2]. Bu yüzden, aktif ve pasif elektronik devre elemanlarının doğrusal olmayan özelliklerinin bilinmesi ve belirlenmesi, seyrüsefer cihazları ile donatılmış taşıtlar ve hastaneler gibi hassas elektronik aygıtlar içeren ve elektromanyetik (EM) bakımdan gürültülü veya kirli ortamlarda bu aygıtlardan beklenen başarımın alınabilmesi için son derece önemlidir.

Bir devrenin ya da aygıtın EMG'den bağımsız hale getirilmesinde ve elektromanyetik uyumluluğun (EMU) EM ortamdaki tüm aygıtlar için sağlanmasında zaman ve para tasarrufu, EMU'nun henüz devre tasarım aşamasında dikkate alınması yoluyla sağlanabilir. Bu da, devre elemanlarının bilgisayar modellerini içeren bilgisayar destekli devre analizi programlarının kullanımını gerektirir. Son yıllarda, elektronik devrelerin EMG özelliklerini SPICE kullanarak modelleyen çalışmaların sayısında bir artış meydana gelmiştir [3-7].

Bu bildiri, elektronik devrelerin temel yarı iletken elemanları olan diyot, BJT ve JFET'in PSPICE modelleri kullanılarak, yüksek frekanslı girişim işaretini altındaki davranışları simüle edilmiştir.

2. İletilen Yayınımın Simülasyonu

Sistemlerarası ve sistemaltı seviyede yayınımlar iki türdür: Işınan ve iletilen yayınımlar. Bir sistemin veya aygıtın yayabileceği veya iletebileceği yayınımların sınırları, çeşitli düzenleyici kuruluşlar tarafından belirlenmiştir. Genel olarak iletilen yayınım sınırları 30 MHz'e kadar, ışınan yayınımlar ise 30 MHz'in üzerindeki frekansları kapsar [1].

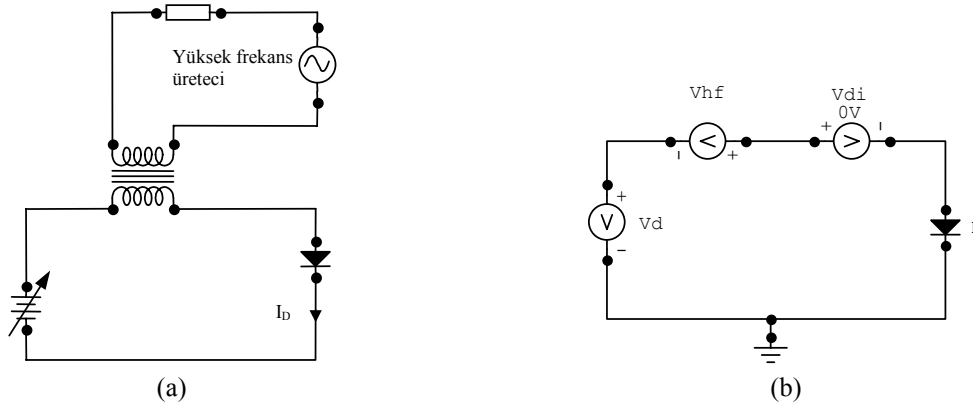
Elektronik bir sistemde, genel olarak bu yayınımları birbirinden bağımsız olarak düşünmek zordur. Çünkü çoğu zaman, ışınan yayınımların mı iletilen yayınımlara veya iletilen yayınımların mı ışınan yayınımlara sebep

olduğunu belirlemek güçleşir. Bu yüzden, sistemin EM çevresi iyi tanımlanmalı ve bu çevredeki gürültü kaynakları ve etkileri topyekün sistem başarımı için analiz edilmelidir. Uygulamada, iletilen yayınımın bastırılması, çoğu zaman ışıyan yayınımlarda da iyileşmeler sağladığından, öncelikle iletilen yayınımlar üzerinde durulur. Diğer sistemlerden ya da sistemaltı kısımlardan ışınma veya iletim yoluyla, inceleme yapılacak devre elemanına ulaşan yayınımlar, yayınımla aynı spektral özellikleri taşıyan ve devreye seri bağlanmış bir başka kaynak olarak düşünülebilir [2]. Çünkü, temel olarak EMG işaretleri, etkiledikleri devrelerdeki normal çalışma akım ve gerilimlerine ek olarak yeni akım ve gerilimlerin oluşmasına sebep olurlar. EMG'nin doğrusal olmayan etkileri, düşük frekanslı devrelerde genel olarak, karesel sezme, DC kayma ve genlik modüleli sezme, radyo ve televizyon alıcılarında ise intermodülasyon ve çapraz modülasyon olarak sınıflandırılır [2]. Bu çalışmada, en temel etki olarak DC kayma ele alınmıştır.

Yarıiletken elemanlarda DC kaymanın simülasyonu dört aşamada yapılabilir: **Birinci aşamada**, yüksek frekanslı bozucu yokken elemanın bulunduğu devrenin DC analizi yapılarak elemanın karakteristiği ve çalışma noktası belirlenir. **İkinci aşamada**, bozucu varken devrenin geçiş analizi yapılır ve Fourier analizi yardımıyla bozucunun etkisi görülür. **Üçüncü aşamada**, bozucunun DC bileşen olarak devreye etkisi, ek bir gerilim kaynağından geliyormuş gibi düşünülerek bu kaynağın değeri bulunur. **Dördüncü aşamada** ise, değeri bulunan ek kaynak ile devrenin tekrar DC analizi yapılır ve eleman karakteristiğindeki değişime izlenir. Değişik frekanslardaki bozucuların etkisini görmek için, bozucu kaynağın frekansı değiştirilerek her bir aşama sırasıyla tekrarlanır [2, 8].

3. Diyot Analizi

Bir diyot devresine kuple olan yüksek frekanslı bir girişim işareti Şekil 1a'daki gibi temsil edilebilir ve devrede transformatör yerine seri bağlı bir yüksek frekanslı kaynak yerleştirilerek Şekil 1b'deki gibi PSPICE simülatörüne kolayca uygulanabilir. Şekil 1b'de, V_{hf} yüksek frekans kaynağını temsil ederken, V_{di} ($=0$ V) ise analizi kolaylaştırmak amacıyla kullanılmıştır.



Şekil 1. Diyodun DC kaymasının belirlenmesi. (a) Ölçme devresi, (b) PSPICE modeli

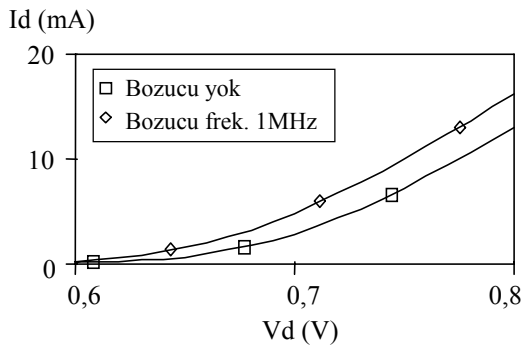
Diyot analizinde, diyotun doğrusal olmayan V-I karakteristiğinden kaynaklanan DC kaymanın analizi için diyotun basit kutuplama devresi kullanılmıştır. Analiz için kullanılan diyot, PSPICE kütüphanesindeki ideal diyotun parametreleri tipik bir alçak frekans diyotuna benzetilecek şekilde değiştirilmiştir. İletilen yayınımla devreye kuple olan yüksek frekanslı bozucu ise, 100 mV genlikli sinüs biçimli bir işaret olarak göz önüne alınmıştır.

Analiz için, öncelikle diyot 0.7 V ile kutuplandırılarak 0.6-0.8 V arasındaki V-I karakteristiği elde edilmiştir. Sonraki aşamalarda, sırasıyla 1 MHz, 10 MHz ve 100 MHz'lik bozucu frekansları için geçiş analizi yapılmıştır. Uygulanan her frekans değeri için bozucu yokken 3 mA olan diyot akımı yaklaşık 5 mA olarak gerçekleşmiştir. Diyotta 2 mA'lık DC kaymayı oluşturan gerilim ise 25 mV olarak hesaplanmıştır. Bu kaynağın devreye eklenmesi ile diyot karakteristiği Şekil 2'deki gibi elde edilmiştir.

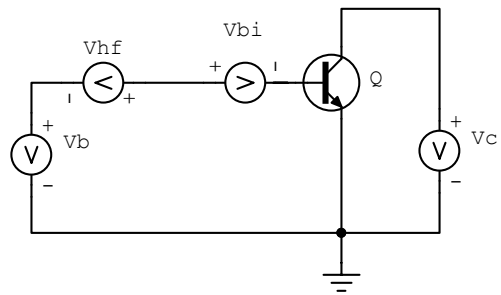
4. BJT Analizi

BJT analizinde, diyot analizindeki ile aynı özellikleri taşıyan yüksek frekanslı bozucu, Şekil 3'te verildiği gibi 2N 2221 transistörünün baz ucuna uygulanmıştır. Analizin birinci aşamasında, yüksek frekanslı bozucu devrede değilken transistörün B-E eklemi 0.75 V ile kutuplandırılmış ve 0.65-0.75 V arasındaki V_b-I_b karakteristiği elde edilmiştir. Bu durumda, 0.75 V'luk V_{BE} gerilimi için transistörün baz akımı 0.5 mA'dir. İkinci aşamada, transistörün baz akımına 1, 10 ve 100 MHz frekanslarındaki bozucular uygulanmış ve birinci aşamadaki 0.5 mA'lik akım, sırasıyla 1.5 mA, 1.4 mA ve 0.6 mA olarak gerçekleşmiştir. Akımların frekansla azalması, transistörün B-E eklemine bir alçak geçiren filtre gibi davranmasından kaynaklanmaktadır. Üçüncü aşamada, diyot analizindeki benzer olarak, akımdaki değişimlerin ilave gerilim kaynaklarından oluştuğu düşünülerek bu gerilimler devreye uygulanmış ve son aşamada BJT karakteristikleri Şekil 4'deki gibi elde edilmiştir.

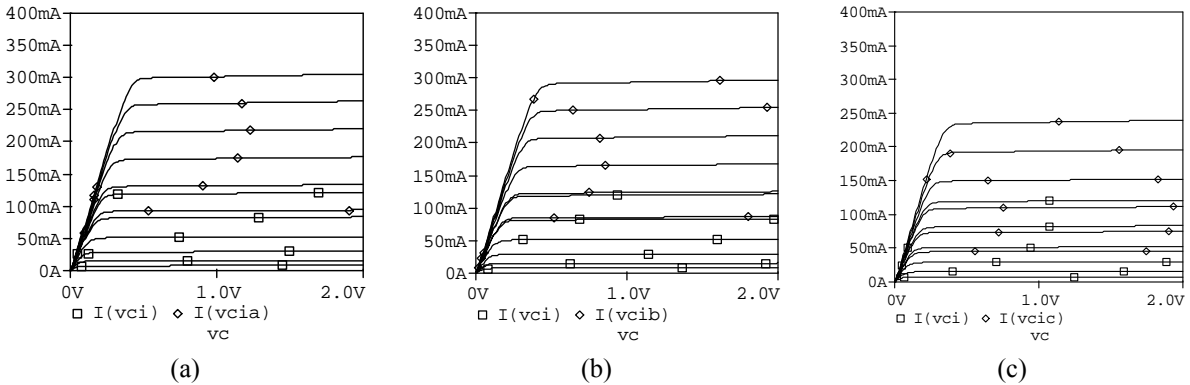
Şekil 4'deki $I(v_{ci})$ akımı, bozucu uygulanmadan önceki transistör karakteristiği, $I(v_{cia})$, $I(v_{cib})$ ve $I(v_{cic})$ ise, sırasıyla, 1 MHz, 10 MHz ve 100 MHz'lik bozucuların uygulanmasıyla ortaya çıkan DC kaymadaki karakteristiklerdir. Sayısal sonuç olarak, en büyük I_b değerine karşılık gelen $I(v_{cia})$, $I(v_{cib})$ ve $I(v_{cic})$ değerleri sırasıyla, 305.3 mA, 297.0 mA ve 239.5 mA'dir.



Şekil 2. Yüksek frekanslı bozucu etkisinde diyot karakteristiğinin değişimi.



Şekil 3. BJT'deki DC kaymanın simülasyonu için PSPICE modeli.



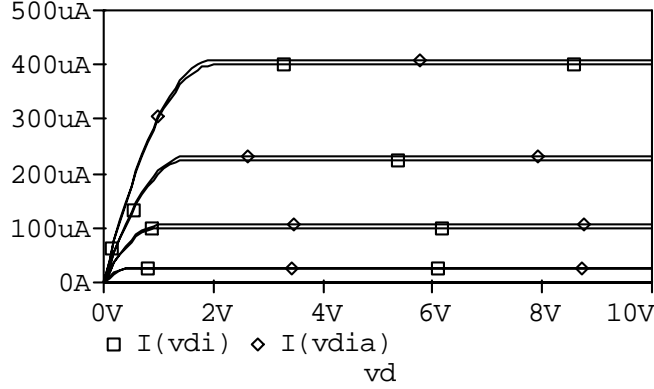
Şekil 4. Transistör karakteristiğinin yüksek frekanslı bozucu ile değişimi:
(a) Bozucu frekansı 1 MHz, (b) Bozucu frekansı 10 MHz, (c) Bozucu frekansı 100 MHz.

5. JFET Analizi

JFET analizinde kullanılan eleman, ideal SPICE modelinin bazı parametrelerinin, bir alçak frekans JFET'inin tipik parametre değerleri ile değiştirilmesiyle elde edilmiştir. JFET'in basit kutuplama devresi kullanılarak, ilk aşamada JFET'in G-S eklemi $-1V$ 'ta kutuplandırılmış ve $-2V-0V$ arası geçiş eğrisi elde edilmiştir. İkinci aşamada 0.3V genlikli sinüs biçimli bozucunun varlığında çıkış akımı geçiş analizi ile elde edilerek, Fourier analizi ile DC kayma etkisi izlenmiştir. Bu aşamada, üç ayrı frekans için tekrarlandığında, DC kayma her üç frekans için de yaklaşık aynı olarak elde edilmiştir. Üçüncü aşamada çıkış akımındaki bu kaymaya sebep olan giriş gerilim değeri, yaklaşık 25 mV olarak hesaplanmıştır. Son aşamada ise, üçüncü aşamada değeri belirlenen

DC kaynak devreye bağlanarak, çıkış karakteristiği tekrar elde edilmiş ve bozucu altında JFET karakteristiğinin değişimini gösteren grafik, Şekil 5’de verilmiştir.

Şekil 5’de, JFET karakteristik eğrisindeki en büyük I_d akım değerleri için değişme, bozucu yokken $399.84 \mu A$ iken, bozucu varken $409.897 \mu A$ olarak belirlenmiştir. Bu da karakteristikte %2.52’lik, oldukça küçük sayılabilecek bir değişimi göstermektedir. JFET’in yüksek frekanslı bozululara bağışıklığı, giriş direncinin büyük olmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 5. Yüksek frekanslı bozucu yokken (I_{vdi}) ve bozucu varken (I_{vdia}) JFET çıkış karakteristiği.

6. Sonuçlar

PSPICE programı kullanılarak, yarıiletken eklemli temel devre elemanlarının yüksek frekanslı bozululara maruz kaldığında karakteristiklerindeki değişimleri incelenmiştir. Yapılan inceleme sonucunda, diyot akımında %67’lik, BJT çıkış akımında %152’ye kadar ve JFET çıkış akımında %2.52’lik bir artış meydana gelmesi, özellikle ses frekanslı yükselteçlerin tasarımında önemlidir.

Ses frekansında çalışan bu tür devrelerin, iletkenler aracılığıyla iletilen EM yayınımların filtrelenecek bağışıklığının artırılması veya filtrelemenin mümkün olmadığı uygulamalarda JFET’li önyükseltme devrelerinin kullanılması, girişim kaynaklı başarımların düşüklüğünü giderecektir. Ayrıca, devrenin girişim bağışıklığının test edilmesinde SPICE gibi simülasyon yazılımlarının kullanılması, sorunun henüz tasarım aşamasında ortadan kaldırılmasını sağlayacaktır.

Kaynaklar

- [1]. Paul C. R., Introduction to Electromagnetic Compatibility. John Wiley & Sons, Inc., New York, ABD, 1992.
- [2]. Goedbloed, J. J., Electromagnetic Compatibility. İng. çevirisi, Holmes T., Prentice Hall, New York 1992.
- [3]. Wong C. C. ve Luk S.Y., “Simulation of lossy multi-conductor transmission line systems using SPICE”, Proceedings IEEE International Symp. on Electromagnetic Compatibility, Ağustos 2001, Montreal, Kanada, s.574-576.
- [4]. Carlsson J. ve Lundgren U., “An approach to the generation of SPICE models feasible for EMC problems”, Proceedings IEEE International Symp. on Electromagnetic Compatibility, Ağustos 2000, Washington D.C, ABD, s.71-76.
- [5]. Florean D., Pinelli M. ve Tomasin P., “Analysis of RFI effects in voltage regulator IC’s: measurement techniques, picking capability prediction and protection methods”, Proceedings IEEE International Symp. on Electromagnetic Compatibility, Ağustos 2000, Washington D.C, ABD, s.391-395.
- [6]. Florean D., Marchiori F., Pinelli M. ve Tomasin P. “Analysis of EMI effects in Op_Amp IC’s: measurement techniques and numerical prediction”, Proceedings IEEE International Symp. on Electromagnetic Compatibility, Ağustos 2001, Montreal, Kanada, s. 1106 –1110.
- [7]. Lundgren U., Carlsson J. ve Delsing J., “SPICE models of barrier compared to measured data”, Proceedings IEEE International Symp. on Electromagnetic Compatibility, Ağustos 2001, Montreal, Kanada, s.142-146.
- [8]. Toprak S., Temel Yarıiletken Eleman Karakteristiklerine RF İşareti Etkisinin Simülasyonu. Bitirme Ödevi, Erciyes Üniversitesi, Elektronik Mühendisliği Bölümü, Kayseri, Türkiye, 2002.