

CoolMOS Üçüncü Nesil Güç Transistörlerinin Elektromanyetik Girişim Başarımının Deneysel ve Benzetimle Karşılaştırmalı Analizi

Gökçen Çetinel, Ö.Galip Saraçoğlu
Erciyes Üniversitesi
Elektronik Mühendisliği Bölümü
Kayseri

1030225057@erciyes.edu.tr, saracog@erciyes.edu.tr

ÖZET: *Bu bildiri CoolMOS üçüncü nesil güç transistörünün elektromanyetik girişime karşı alınganlığı deneysel olarak ve benzetimle incelenmiştir. Elektromanyetik girişim işaretinin frekansı, iletilen yayılım frekans sahası olan 0.5–30MHz aralığında değiştirilerek, transistörün hangi frekanstaki girişim işaretine karşı daha alıngan olduğu tespit edilmiş ve en çok etkilenmenin 15MHz'lik girişim işaretinde gerçekleştiği ortaya çıkmıştır. Elde edilen deneysel ve benzetim sonuçları karşılaştırılmış ve CoolMOS transistörlerinin üçüncü neslinin geleneksel bir güç MOSFETine ve birinci nesil CoolMOS transistörlerine kıyasla girişim işaretinden daha az etkilendiği görülmüştür.*

1. Giriş

Güç yarıiletken aygıtlarının gelişimi bipolar transistörlerin bulunuşu ile başlamıştır. Güç elektroniğinin modern devri ise tristörlerin bulunması ile başlamış ve güç yarıiletken aygıtlarının çoğu bundan sonra üretilmiştir. Bipolar transistörler, tristörlere göre daha hızlı anahtarlama yeteneklerinden dolayı düşük ve orta güç uygulamaları için tercih edilmiş, ancak kontrol elektrotunda istenmeyen kayıplardan ve akım kazancının sınırlı olmasından dolayı, düşük güç uygulamaları için güç MOSFETleri ve orta güç uygulamaları için yalıtılmış kapılı bipolar transistörler (IGBT), bipolar transistörlerin yerini almıştır [1-3]. MOSFETler, çok yüksek giriş empedansına, bipolar transistörlere kıyasla yüksek bir doğal anahtarlama hızına, daha fazla dayanıklılığa ve daha esnek ileri kutuplu güvenli çalışma alanına (FBSOA) sahiptirler. Ancak geleneksel güç MOSFETlerinin, yüksek açma durumu güç kayıplarından dolayı 300V'un üzerinde kırılma voltajı gerektiren uygulamalarda beklenen başarıyı yeterli değildir. IGBT'ler ise, orta seviye voltaj/güç uygulamaları için BJT'lerin yerine kullanılmakla birlikte, artan akım ve voltaj kullanma kapasitesi, anahtarlama frekansı ve azalan üretim maliyeti ile artan dayanıklılıkla azalan satürasyon voltajı, ileriki yıllar boyunca IGBT'ler için temel gelişim hedefleridir [4].

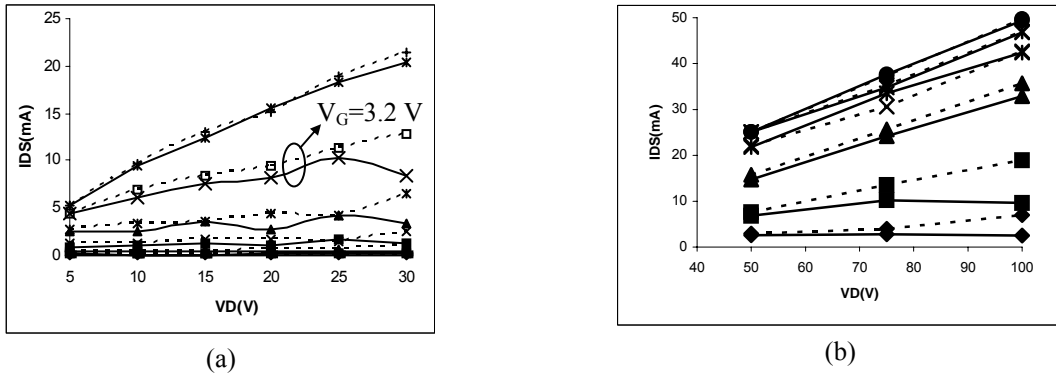
IGBT'lerden sonra son zamanlarda mikroelektronik teknolojisindeki ilerleme sayesinde CoolMOS yapı gerçekleştirilmiştir [4]. CoolMOS'lar düşük kontrol güçleri, daha ucuz sürücü devreleri ve çok yüksek anahtarlama frekansları ile çalıştırılabilirler. Geleneksel teknolojideki özdeş transistörlere kıyasla çok düşük bir kapasitans gösterirler. İlk CoolMOS'ların iyileştirilmesiyle ortaya çıkan üçüncü nesil CoolMOS'lar, yeni kapı yapıları sayesinde neredeyse sınırsız bir anahtarlama hızına sahiptirler. Anahtarlama hızı, harici kapı direnci kullanılarak artırılabilir ya da transistörün elektromanyetik girişim gürültüsünü azaltmak için azaltılabilir. Ayrıca güç anahtarlarında önemli bir faktör olan açma durumu direnci geleneksel MOSFETe göre beş kat daha azdır [5]. Bilgisayar destekli benzetimler için modelleri geliştirilen ve benzetimleri yapılan CoolMOS'lar son zamanlarda birçok uygulamada tercih edilir hale gelmiştir [6-8].

Geçtiğimiz yüzyılın ikinci yarısından itibaren, elektronik aygıtların sayısı ve çeşitliliğinin yüksek bir hızda artması, yüksek hızlı sayısal devre ve elemanlarını kullanıma ihtiyacı ve geçen yüzyılın son ondalığında ise gezgin iletişim araçlarının kişiselleşmesi, elektronik sistemlerde elektromanyetik girişim (EMG) sorunlarının da artmasına sebep olmuştur [9]. 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 doyuma 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 [10]. 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.

Bu bildiri CoolMOS'un üçüncü nesil güç transistörü için deneysel ve benzetim yöntemi olmak üzere iki yöntem kullanılarak iletilen yayınımlar için elektromanyetik girişim analizi yapılmıştır.

2. Deneysel Analiz

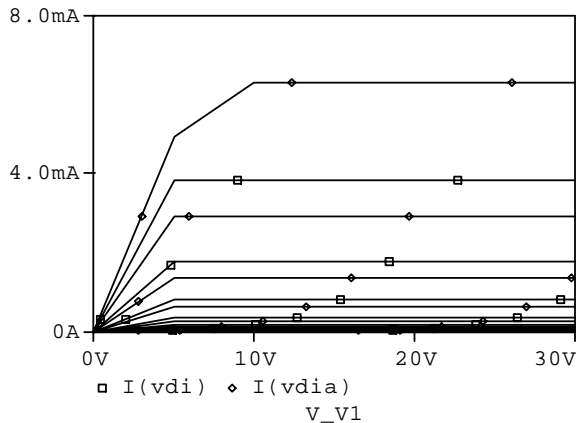
Deneysel yöntemde CoolMOS'un üçüncü nesil transistörlerinden SPP04N60C3 kullanılmıştır. Öncelikle transistörü iletme geçiren kapı voltajı (V_G) değerleri bulunmuştur (2.6V-3.3V). Daha sonra kullanılan devre modeli ile ilk aşamada transistörün normal çalışma durumundaki öz eğrisi, ikinci aşamada kapı ucundan farklı frekanslarda elektromanyetik girişim işaretini uygulanması durumundaki öz eğriler elde edilmiştir. Girişim işaretinin frekansı 1, 5, 10, 15, 20, 25, 30MHz değerlerinde seçilmiştir. Ayrıca akıttıcı voltajı (V_D) değerleri 5-100V arasında değiştirilmiştir. Deneysel çalışma sonucunda elde edilen değerlere göre SPP04N60C3'ün en fazla 15MHz frekanslı girişim işaretinden etkilendiği görülmüştür. Maksimum etkilenme oranları, $V_D=5-30V$ aralığında, 1MHz'lik girişim işaretinde $V_G=3.1V$, $V_D=30V$ 'ta %17, 5MHz'lik girişim işaretinde $V_G=3.1V$, $V_D=30V$ 'ta %12, 15MHz'lik girişim işaretinde $V_G=3.0V$, $V_D=30V$ 'ta %105, 20MHz'lik girişim işaretinde $V_G=3.1V$, $V_D=30V$ 'ta %31, 25MHz'lik girişim işaretinde $V_G=3.2V$, $V_D=30V$ 'ta %8.5 ve 30MHz'lik girişim işaretinde $V_G=3.2V$, $V_D=30V$ 'ta %29'dur. Şekil 1a'da $V_D=5V-30V$, Şekil 1b'de $V_D=50V-100V$ arasında iken 15MHz'lik girişim işaretinin kapı ucundan uygulanması ile elde edilen öz eğriler, normal durumdaki ile karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



Şekil 1. CoolMOS'un üçüncü nesil transistörlerinden SPP04N60C3 için, normal çalışma durumundaki öz eğriler (—) ve 15MHz frekanslı 200mV genlikli girişim işaretinin uygulanması durumunda elde edilen öz eğriler (---): a) $V_D=5-30V$, b) $V_D=50-100V$

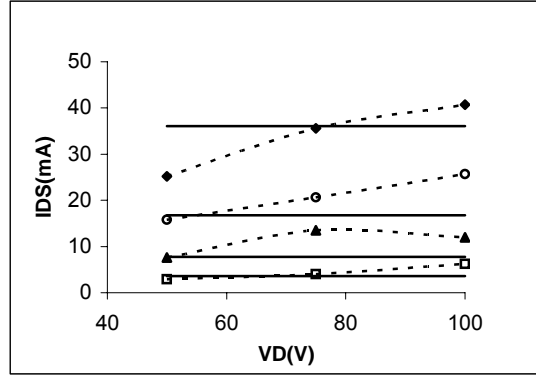
3. Benzetim

Benzetim yöntemi gerçekleştirilirken PSPICE benzetim programı kullanılmıştır. Deneysel yöntemdeki yöntem burada da izlenmiştir. Benzetim programları sonucunda artan frekanslarda transistörün girişim işaretinden daha fazla etkilendiği görülmüştür. Benzetim yönteminde transistörleri iletme geçiren kapı voltajı değerleri 2.4V-3.5V arasındadır. PSPICE programı ile elde edilen 15MHz'lik girişim işaretinin uygulanması durumundaki öz eğri normal çalışma durumundaki ile karşılaştırmalı olarak Şekil 2'de verilmiştir. Girişim işareti uygulandığında, SPP04N60C3'ün girişimsiz ve girişimli öz eğrileri arasında yukarı doğru genişleme olduğu görülmektedir. Ancak belirtildiği gibi transistörün iletimde olduğu kapı voltajı değerlerinde farklılık vardır.



Şekil 2. CoolMOS SPP04N60C3 için 15 MHz frekanslı ve 200 mV genlikli elektromanyetik girişim işareti, uygulandığında (\square) ve uygulanmadığında (\diamond) elde edilen benzetim sonuçları ($V_D=5-30V$)

15MHz'lik girişim işareti uygulandığında ve $V_D=50V-100V$ arasında iken deneysel yöntem ve benzetim yöntemi sonuçları arasındaki ilişki Şekil 3'de gösterilmektedir. Düşük değerdeki kapı voltajları için özeriler arasında bir uyum görülmekle birlikte, daha yüksek voltajlardaki benzetim ve deneysel ölçüm sonuçları arasındaki farklılıkların, deney koşullarının benzetimdeki kadar ideal oluşturulamamasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Örneğin, deneyde kullanılan yüksek frekanslı kaynağın harmonikleri ve/veya transistörü iletme geçiren voltaj aralığı sonuçlar üzerinde etkili olabilmektedir.



Şekil 3. CoolMOS SPP04N60C3 için 15 MHz frekanslı ve 200 mV genlikli elektromanyetik girişim işareti uygulandığında, $V_D = 50-100$ V için deney (---) ve benzetim (—) sonuçlarının karşılaştırılması.

4. Sonuçlar

Deneysel yöntem ve benzetim yöntemi ile CoolMOS transistörü için bir analiz yapılmıştır ve her iki yöntemde de CoolMOS'un üçüncü nesil transistörlerinin 15MHz'in altındaki frekanslara sahip girişim işaretinden daha yüksek frekanslara göre daha az etkilendiği sonucu ortaya çıkmıştır. Deneysel yöntem ve benzetim yöntemi arasında görülen birkaç mA'lık farkın nedenlerinden biri benzetimde elemanların ideal olarak kabul edilmesidir. Bir diğer neden de, deneysel yöntemde transistörlerin iletimde olduğu kapı voltajı değerleri değişirken benzetimde bu değerler değişmemektedir. Ayrıca benzetimin yapıldığı ortam parametreleri ile deneyin yapıldığı ortam parametreleri arasındaki farklar ve dış etkenler bir diğer nedendir.

Kaynaklar:

- [1]. You B., Investigation of MOS-Gated Thyristor and Diodes, Doktora Tezi, Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, 2000.
- [2]. Baliga B. J., The Future Power Semiconductor Device Technology, Proceedings of IEEE, 89 (26), s. 822-832, 2001.
- [3]. Kondo H. ve Yukimoto Y., A New Bipolar Transistor-GAT, IEEE Trans. Electron Devices, 27 (2), s. 373-379, 1980.
- [4]. Shenja K., High-power Robust Semiconductor Electronics Technologies in New Millennium, Microelectronics Journal, 32(5-6), s. 397-408, 2001
- [5]. Lorentz L., Zverev I., Mittal A., Hancock J., CoolMOS-A New Approach Towards System Miniaturizing and Energy Saving, <http://www.infineon.com>
- [6]. Chen X. B., Sin, J.K.O., Optimization of the Specific On-Resistance of the CoolMOS, IEEE Trans. Electron Devices, 48 (2), s. 344-348, 2001.
- [7]. Daniel B.J., Parikh C.D., Patil M.B., Modeling of the CoolMOS transistor - Part I: Device physics, IEEE Trans. Electron Devices, 49 (5), s. 916-922, 2002.
- [8]. Daniel B.J., Parikh C.D., Patil M.B., Modeling of the CoolMOS transistor- II. DC model and parameter extraction, IEEE Trans. Electron Devices, 49 (5), s. 923-929, 2002.
- [9]. Paul C. R., Introduction to Electromagnetic Compatibility. John Wiley & Sons, Inc., New York, ABD, 1992.
- [10]. Goedbloed, J. J., Electromagnetic Compatibility. İng. çevirisi, Holmes T., Prentice Hall, New York 1992.