

Tümdevrelerin Elektromanyetik Yayınımı için Yakın Alan Ölçümleri

Near Field Measurements for the Electromagnetics Emission of Integrated Circuits

Muhammed Emin Başak, Ayten Kuntman

Mühendislik Fakültesi, Elektrik & Elektronik Mühendisliği
İstanbul Üniversitesi

mebasak@istanbul.edu.tr, akuntman@istanbul.edu.tr

Özet

Bu bildiri tümdevrelerin elektromanyetik iletim yayınımlarını belirlemek için yakın alan ölçümleri yapılmıştır. Çalışmada MC9S12X mikrodentleyicisine ait ölçümler 24MHz frekans değeri için 1 mm ve 4 mm yükseklikten yapılmıştır. Ölçüm H_x , H_y ve H_z manyetik alanlarını belirlemek için x, y ve z eksenlerinde yapılmıştır. Ölçümü yapılan H_x ve H_y manyetik alanlarından H_{xy} manyetik alanı elde edilmiştir. Elde edilen ölçüm sonuçları ile tümdevrenin yaymış olduğu manyetik alanın hangi alanlarda yoğunlaştığı tesbit edilmiştir.

Abstract

In this paper, the near field measurements were made to determine the electromagnetic emission of the integrated circuits. Measurements of the MC9S12X microcontroller were made at 24MHz frequency value from a height of 1 mm and 4 mm. Measurement of x, y, and z axes H_x , H_y and H_z magnetic fields were made to determine. Measurement of the magnetic fields H_x and H_y magnetic fields are obtained H_{xy} . The measurement results obtained with the integrated circuit in which the springs have focused on areas where the magnetic field has been found.

1. Giriş

Elektromanyetik girişim (EMG) problemlerinde kullanılan geleneksel ölçüm yöntemleri elektromanyetik uyumluluğu (EMU) belirleyebilmek için ancak genel bilgiler verebilmektedir. EMG problemlerini karakterize edebilmek için çeşitli yakın alan ve uzak alan haritalama yöntemleri önerilmiştir [1-10]. Yakın alan ölçüm ve haritalama yöntemleri ilk olarak Slattery tarafından önerilmiştir [1]. Daha sonra yakın alan ölçümleriyle yüksek çözünürlüklü elektrik ve manyetik alan haritalarını elde edebilen çeşitli yakın alan ölçüm tarayıcıları tasarlanmıştır [2-10]. Eşlenik gradyan yöntemleri ile yakın alan ölçümlerinden uzak alan ölçümlerinin elde edildiği çalışmalar da yapılmıştır [2-4]. Ayrıca J. R. Regué ve diğ. [5-6] genetik ve sezgisel olmayan algoritmalar ile manyetik alanı modellemeye çalışmışlardır. İteratif yöntemlerle çok iyi sonuçlar elde edilmesine rağmen ölçümlerin uzun süreler alması ve uzak alan ölçümlerinden yakın alanın modellenmeye çalışılması nedeniyle az mesafeli ölçümler için güzel sonuçlar elde edilememiştir. Elektrik dipolleri ve manyetik dipoller kullanılarak manyetik alanın belirlenmesi için yapılan çalışmalarda tümdevre yerine bir

baskı devre üzerindeki iletken yollara ait manyetik alanlar ölçülmüş ve model için gerekli olan dipollerin yerleşim ve akımlarının değerleri de uzun süren (3-4 saat) yakın-alan ölçümleriyle elde edilmiştir [7-11]. Yakın ve uzak alan ölçüm yöntemleriyle belirlenen çalışmalar pahalı deney setleri ve uzun ölçüm süreleri nedeniyle pratiklikten ve tekrarlanabilirlikten uzaktırlar. Y. Vives-Gilbert ve diğ. yakın alan ölçümlerini kullanarak elektrik ve manyetik dipollerin konumlarını ve büyüklüklerini elde edip manyetik alanı belirleyen bir yöntem önermişlerdir [11]. Yöntemlerinin başarımı ölçümlerin hem genlik hem de faz olarak doğruluğuna bağlıdır. Jastrzebski ve diğ. çalışmalarında [12] yakın manyetik alan yayınımlarının belirlenmesini frekans domeni ile zaman domeni yöntemlerini birleştirerek gerçekleştirmişlerdir. Önerdikleri modelin başarımını H_x ve H_y manyetik alanlarının ölçüm sonuçlarıyla uyumlu olduğunu ancak H_z manyetik alanı için bazı farklılıkların olduğunu belirterek yapmışlar, yöntemlerinin başarımı hakkında nicel bir değer vermemişlerdir. R. Brahimi ve diğ. [13] yapay sinir ağları tekniği uygulayarak yakın manyetik alan benzetim sonuçlarını iyileştirme çalışmaları yapmışlardır. Gerçekleştirdikleri benzetimlerde %1.83 ile %3.30 arasında değişen oranlarda bağıl hata bulmuşlardır. Tümdevrelerdeki iletim yayınımlarını modellenirken [14], modelin doğruluğunu tesbit etmek için ölçümler yapılmıştır.

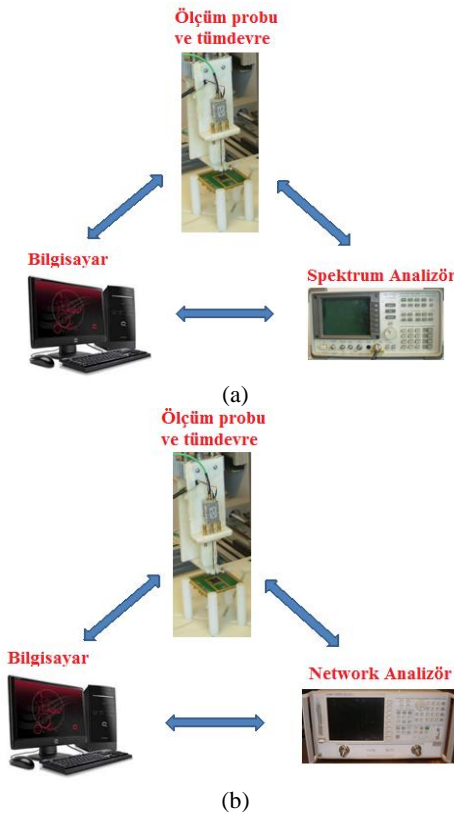
Bu çalışmada MC9S12X mikrodentleyicisine ait ölçümler 24 MHz frekans değeri için 1 mm ve 4 mm yükseklikten yapılmıştır. Ölçüm x, y ve z eksenlerinde H_x , H_y ve H_z manyetik alanlarını belirlemek için yapılmıştır. Ölçümü yapılan H_x ve H_y manyetik alanlarından H_{xy} manyetik alanı elde edilmiştir. Elde edilen ölçüm sonuçları ile tümdevrenin yaymış olduğu manyetik alanın hangi alanlarda yoğunlaştığı tesbit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar ile tümdevre henüz tasarım aşamasında iken tümdevreye ait besleme uçlarının yerleşimi hakkında bilgi elde edilecek ve EMU açısından besleme uçları için en doğru yerleşim yapılabilecektir.

2. Malzeme ve Yöntem

Yakın alan (Near-field) test masası, IRSEEM araştırma enstitüsü tarafından farklı boyuttaki cihazların yaydığı elektrik ve manyetik alanları ölçmek için tasarlanmıştır. Farklı bant genişliklerinde olan ölçüm problemleri bulunan bu ölçüm düzeneği ile 100 kHz-6 GHz frekans aralığında ölçümler yapılabilmektedir. Kalibrasyonu ilgili standartlarda yapılmış ölçüm problemleri olarak 100 kHz-2 GHz arası manyetik problemler,

30 MHz-3GHz arası dipol probalar, elektrik alanı ölçebilen 30 MHz-6 GHz koaksiyel probalar bulunmaktadır [7, 8, 10]. Birçok aktif ve pasif devrenin ölçümüyle test masasının ölçümlerdeki doğruluğu ispatlanmıştır [7, 8, 10, 11]. Ölçüm düzeneğinde ölçüm probu, spektrum veya devre analizörü, kuvvetlendirici ve bunların bağlı bulunduğu hareketli robot bulunmaktadır. Hareketli robot üç yöne de 5 µm mekanik hareket hassasiyetine sahip olup x ve y eksenleri için 500 mm ve z eksenine için ise 150 mm tarama alanına sahiptir.

Ölçümler, şartlara göre Şekil 1’de görüldüğü gibi hem spektrum analizör ile hem de devre analizörü ile gerçekleştirilebilir. Şekil 1’de spektrum analizör kullanılarak yapılan ölçüm ile devre analizörü kullanılarak yapılan ölçüm düzeneğinde bir farkın olmadığı görülmektedir. Spektrum analizör veya devre analizörü kullanılarak yapılan ölçümlerde sadece elde edilen ölçüm sonuçlarındaki büyüklüklerin türünde bir farklılığın olduğu söylenebilir.



Şekil 1: (a) Spektrum analizör ve (b) devre analizörü ile yapılan manyetik alan ölçüm düzenekleri.

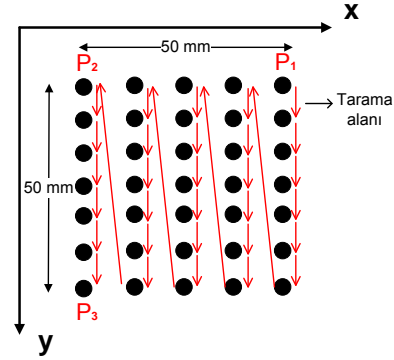
Manyetik alanın hangi bileşeninin ölçümü yapılacaksa o bileşenin ölçümü yapılan alana dik olacak şekilde konumlandırılması gerekir. Buna göre x, y ve z eksenlerinin H_x , H_y ve H_z manyetik alanlarını ölçmek için kullanılan probalar Şekil 2’de gösterilmektedir. Manyetik alan probalarının kalibrasyonları IEC 61697 standartlarına göre yapılmıştır [7, 8, 10]. Ölçümler IEC61967-3 standartlarına göre yapılmış ve ölçümlerde 5 mm² çapında prob kullanılmıştır. Ayrıca ölçümler anten faktörü 30 dB olan düşük gürültülü kuvvetlendirici (Low noise amplifier - LNA) kullanılarak ölçümün hassasiyeti artırılmıştır.



Şekil 2: Manyetik alanların ölçümü için kullanılan probalar

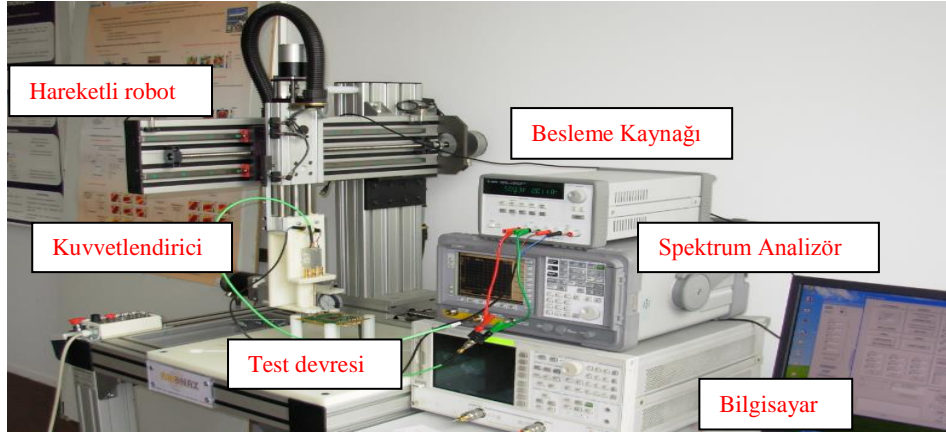
3. Manyetik Alan Ölçümleri

Ölçümlere başlamadan önce, tarama yüksekliği, taranacak alan, ölçüm aralığı ve frekans değerleri gibi parametreler belirlenir. Bir bilgisayar yardımıyla ölçüm probunun konumu belirlenir ve spektrum analizörden alınacak ölçüm sonuçları da GPIB yolu aracılığıyla elde edilir. Ölçüm hangi eksen ile ilgiliyse ölçüm probu o yönde konumlandırılır. Bu çalışmadaki ölçümler 50 × 50 mm² alanda her bir ölçüm noktası arası 1 mm olacak şekilde 2601 noktada yapılmıştır. Ölçümlerdeki tarama alanı doğrultusu Şekil 3’de görüldüğü gibi P_1 başlangıç noktasından başlamak üzere P_3 noktasına doğru yapılmıştır.

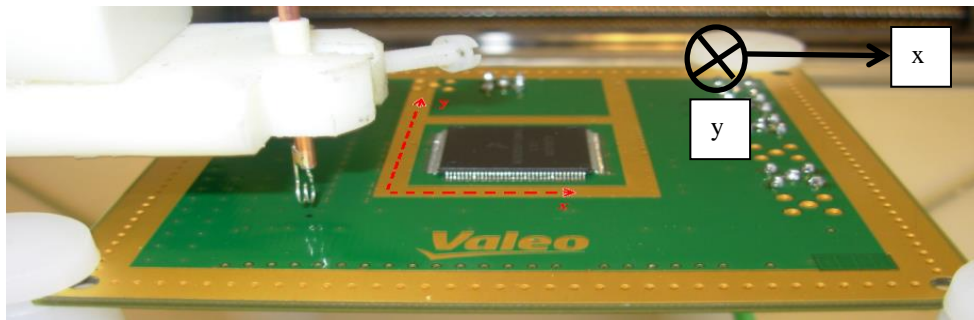


Şekil 3: Ölçümlerdeki tarama doğrultusu.

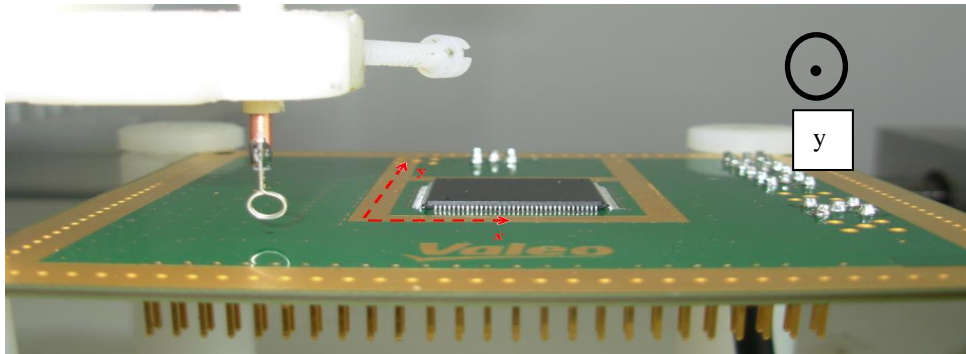
Çalışmadaki elektromanyetik yakın alan ölçüm düzeneği Şekil 4’de gösterilmektedir. Direkt ölçüm esasına göre tasarlanan sistemde ölçüm probu spektrum analizöre bağlanmış ve bilgisayar aracılığı ile tüm ölçümler kaydedilmiştir. H_x , H_y ve H_z manyetik alanlarının ölçümleri sırasında kullanılan probaların ve mikrodenetleyicinin durumları Şekil 5, Şekil 6 ve Şekil 7’de sırasıyla gösterilmiştir. Ölçüm sırasında prob ile spektrum analizör arasında kuvvetlendirici bulunmakta (ölçüm sonrası bu kuvvetlendiricinin etkileri silinecektir), spektrum analizörden alınan ölçüm sonuçları ise bir bilgisayar yardımıyla kaydedilmektedir. Ayrıca ölçüm süresinin uzunluğu göz önüne alınarak herhangi bir elektrik kesintisine karşı ölçümlerin silinmemesi ve devam edebilmesi için de ölçüm masası, bilgisayar ve spektrum analizör güçlü bir UPS’e bağlanmışlardır. Ölçüm, mikrodenetleyicinin akım ölçümlerinde [14] en yüksek değerlerin elde edildiği 24 MHz, 32 MHz ve 64 MHz frekanslarında iki farklı yükseklikte ($h=1\text{mm}$ ve $h=4\text{mm}$) yapılmıştır. Bir frekans değeri için ($f = 24 \text{ MHz}$) ve bir yükseklik değeri için ($h = 1 \text{ mm}$) yapılan ortalama ölçüm süresi 1 saattir.



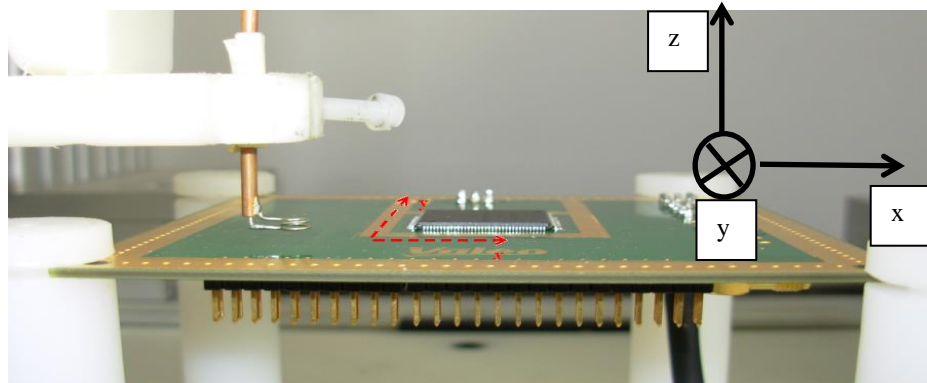
Şekil 4: Elektromanyetik yakın alan ölçüm düzeneği.



Şekil 5: x doğrultusundaki H_x manyetik alanının ölçümü.



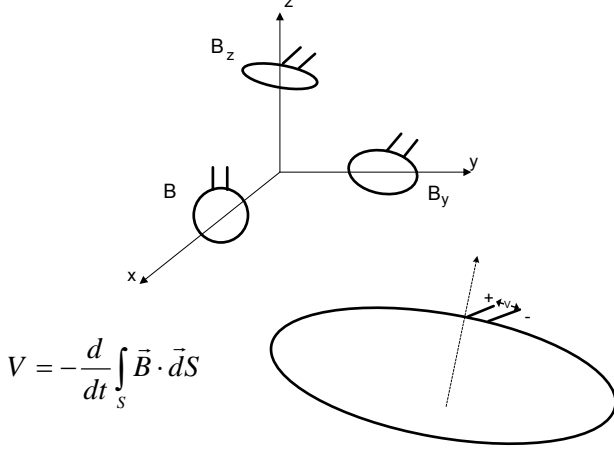
Şekil 6: y doğrultusundaki H_y manyetik alanının ölçümü.



Şekil 7: z doğrultusundaki H_z manyetik alanının ölçümü.

4. Sonuçlar

Ölçümlerdeki son adım ölçüm verilerinin kaydedilip, dosyalanmasıdır. Ölçümlerde H manyetik alanın elde edilmesinde kullanılan genel yöntem Şekil 8’de gösterilmiştir. Ölçümlerden elde edilen gerilim değerlerinden (1)-(5) bağıntıları kullanılarak manyetik alan değerleri elde edilmiştir.



Şekil 8: H alanının ölçülmesinde kullanılan genel yöntem.

$$V = S \cdot \omega \cdot \mu_0 \cdot H \quad (1)$$

$$H = \frac{V}{S \cdot \omega \cdot \mu_0} \quad (A/m) \quad (2)$$

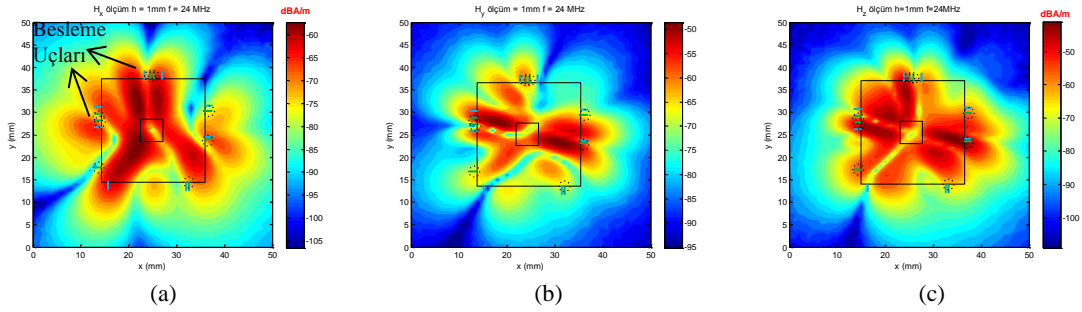
$$P = 10^{\frac{PdBm-30}{10}} \quad (dBm) \quad (3)$$

$$V = \sqrt{2 \cdot P \cdot R} \quad (V) \quad (4)$$

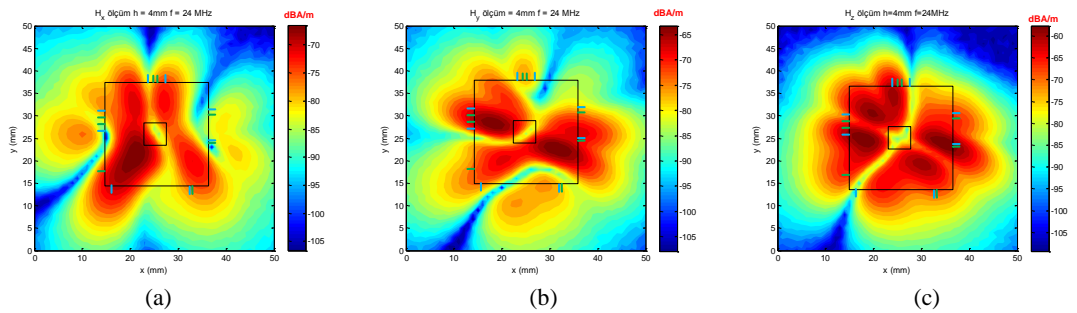
$$H = \frac{V}{4\pi \cdot 1 \times 10^{-7} \cdot 2\pi f \cdot S} \quad (A/m) \quad (5)$$

$$H_{xy} = \sqrt{H_x^2 + H_y^2} \quad (6)$$

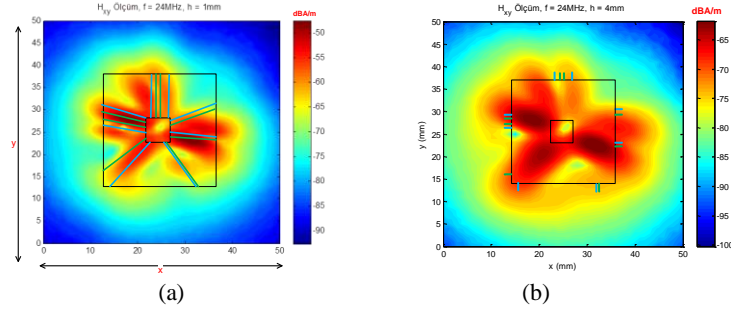
Direkt ölçüm esasına göre tasarlanan yakın alan ölçüm masasından 24 MHz frekansında iki farklı yükseklik ($h = 1\text{ mm}$ ve $h = 4\text{ mm}$) için ölçülen manyetik alan sonuçları H_x , H_y ve H_z olarak Şekil 9 ve Şekil 10’da gösterilmiştir. Şekillerde $50 \times 50\text{ mm}^2$ ’de yapılan ölçümler için $21 \times 21\text{ mm}^2$ alanı kaplayan mikrodenetleyici görülmektedir. Ayrıca mikrodenetleyiciye ait 8 adet besleme ucu da şekillerde gösterilmiştir. Diğer frekans değerlerine ait ölçüm sonuçları [14]’de incelenebilir. H_{xy} manyetik alanı Eşitlik (6)’da gösterildiği gibi H_x ve H_y manyetik alanlarının toplamının karekökü alınarak elde edilmiştir. Elde edilen H_{xy} manyetik alanı 24 MHz frekans değerindeki iki farklı yükseklik için Şekil 11’de gösterilmiştir. Manyetik alan değerlerinin besleme uçları doğrultusunda düzgün bir hat şeklinde yoğunlaştıkları görülmektedir. Manyetik alan şiddetleri besleme uçları hattı dışında azalmaktadır. H_{xy} manyetik alanının maksimum olduğu noktalarda H_z manyetik alanının değerin sıfır olduğu görülmektedir.



Şekil 9: 24 MHz ve $h=1\text{ mm}$ için (a) H_x , (b) H_y , (c) H_z manyetik alan ölçümleri.



Şekil 10: 24 MHz ve $h=4\text{ mm}$ için (a) H_x , (b) H_y , (c) H_z manyetik alan ölçümleri.



Şekil 11: 24 MHz frekansı için (a) h=1 mm, (b) h=4 mm yükseklik için H_{xy} manyetik alanları

5. Tartışma

Bu çalışmada tümdevrenin elektromanyetik yayını için yakın alan ölçümleri yapılmıştır. Ölçümü yapılan H_x ve H_y manyetik alanlarından H_{xy} manyetik alanı elde edilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde H_z manyetik alanının maksimum olduğu noktalarda H_{xy} manyetik alan değerinin sıfır olduğu görülmektedir. Ayrıca H_{xy} manyetik alanının yoğun olduğu doğrultularda tümdevrenin besleme uçlarının yer aldığı görülmektedir.

6. Kaynaklar

- [1] Slattery, K. P., Neal, J., and Cui, W., 1999, Near-field measurement of VLSI devices, *IEEE Transactions on Electromagnetics Compatibility*, vol. 41, no. 4, pp. 374–384.
- [2] S., Kazama, and Arai, K. I., 2002, Adjacent electric field and magnetic field distribution measurement system, *Proc. of IEEE Int. Symp. EMC*, Vol. 1, 395{400, Aug. 2002.
- [3] Labarre, C., and Costa, F., 2008, Interpolation technique in magnetic near field scanning, *Int. Symp. EMC*, Hamburg, Germany.
- [4] Sarkar, T. K. and Taaghoul, A., 1999, Near-field to near/far-field transformation for arbitrary near-field geometry utilizing an equivalent electric current and MoM, *IEEE Transactions Electromagnetic Compatibility*, vol. 47, no. 3, pp. 566– 573.
- [5] Regué, J. R., Ribo, M., Gomila, J., Perez, A., and Martín, A., 2005, Modeling of radiating equipment by distributed dipoles using metaheuristic methods, in *Proc. IEEE Int. Symp. Electromagn. Compat.*, Chicago, IL, pp. 8–12.
- [6] Regué, J. R., Ribó, M., Garrell, J. M., and Martín, A., 2001, A genetic algorithm based method for source identification and far-field radiated emissions prediction from near-field measurements for PCB characterization, *IEEE Transactions Electromagnetic Compatibility*, vol. 43, no. 4, pp. 520–530.
- [7] Baudry, D., Louis, A., Mazari, B., 2006, Characterization of the open-ended measurements in EMC applications, *Progress In Electromagnetics Research, PIER* 60, 311–333.
- [8] Baudry, D., Arcambal, C., Louis, A., Mazari, B., and Eudeline, P. 2007, Applications of the Near-

Field Techniques in EMC Investigations, *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, 49(3), 485–493. doi: 10.1109/ TEMC. 2007. 902194.

- [9] Gros, JB., Duchamp, G., Meresse, A., et al., 2009, Electromagnetic immunity model of an ADC for microcontroller's reliability improvement, *Microelectronics Reliability*, Volume : 49 Issue: 9-11 Pages: 963-966.
- [10] Baudry, D., 2005, Conception , validation et exploitation d'un dispositif de mesure de champs électromagnétiques proches. Thesis (Ph.D), *Ecole doctorale Sci. Phys. Math. pour l'Ingenieur (SPMI)*, Univ. Rouen, Rouen, France, pp. 205.
- [11] Vives-Gilbert, Y., Arcambal, C., Louis, A., De Daran, F., Eudeline, P., and Mazari, B., 2007, Modeling Magnetic Radiations of Electronic Circuits Using Near-Field Scanning Method, *IEEE Transaction Electromagnetic Compatibility*, vol. 49, no. 2, pp. 391–400.
- [12] Jastrzebski, A. K., Liu, Y., Ravelo, B., Madrillet, T. and Galilée, A., 2012, Characterisation and Modelling of Near-Field Radiated Emissions in the Time-Domain, *Progress In Electromagnetics Research (PIER)*, pp. 201–204.
- [13] Brahimi, R., Kornaga, A., Bensetti, M., Baudry, D. Riah, Z., Louis, A. and Mazari, B., 2011, Postprocessing of Near-Field Measurement Based on Neural Networks, *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, vol. 60, no. 2, pp. 539–546.
- [14] Başak, M. E., “Tümdevrelerdeki elektromanyetik iletim yayınının modellenmesi”, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, İstanbul, 2014.