



Kahramanmaraş Sutcu Imam University

Journal of Engineering Sciences



Manyetik Olarak Etkileşen Bobinlerin Alternatif ve Doğru Akımda İncelenmesi

Analysis of Magnetic Interactive Coils under The Alternative and Direct Currents

Mehmet Ali ÖZÇELİK^{1*}, Ahmet AYCAN²

^{1,2}Gaziantep Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Elektrik ve Enerji Bölümü, Gaziantep, Türkiye

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Mehmet Ali ÖZÇELİK, ozcelik@gantep.edu.tr

ÖZET

Yapısında bobin bulunan elektrik devrelerinde, manyetik etkileşim söz konusu olmaktadır ve bu kavram transformatörlerde, enerji iletim hatlarında ve elektrik motorlarında önemli bir parametre olarak sayılmaktadır. Aynı nüve üzerinde yan yana olan bobinlerden bir tanesine doğru akım uyguladığımızda bobin etrafında sabit bir manyetik alan ve öz-indüksiyon gerilimi diğer bobinde ise indüksiyon gerilimi oluşmaktadır. Aynı demir nüve üzerinde yan yana bulunan bobinlerin birisinden alternatif akım geçirdiğimizde ise bobin etrafında değişken bir manyetik alan oluşmakta ve bu değişken manyetik alan kendi sargısını ve diğer sargıyı kesmesi sonucu ortak endüktans meydana gelmektedir. Yapılan çalışmada silisli sac paketinden oluşan nüve üzerine iki adet aynı kesit ve sarım sayısına sahip bobin seri bağlanarak önce doğru akım sonra alternatif akım uygulanmıştır. Bobinlerin üzerine düşen gerilim değerine, bobinlerin bağlantı şekline (alan yönüne), bobinler arasındaki mesafeye, bobinlerin nüveliyadanüvesiz olması durumlarına göre indüktans, ortak endüktans, kuplaj katsayısı, akım değişimleri çıkartılan tablo ve grafikleri hakkında yorum yapılmıştır.

Anahtar kelimeler: Bobin, Kuplaj Katsayısı, Manyetik Akı, Ortak Endüktans.

ABSTRACT

In electric devices with coils in the structure, magnetic interaction occurs and this concept is considered as an important parameter in transformers, energy transmission lines and electric motors. When we apply direct current to one of the coils on the same core, a constant magnetic field and self-induction voltage are generated around the coil. In the other coil, induction voltage is generated. When we pass an alternating current through one of the coils located side by side on the same iron core, a variable magnetic field is formed around the coil. The variable magnetic field comes to a common inductance as a result of its breaking own coil and the other coil. In this study, two series of coils with the same number of turns are connected to the core consisting of the siliceous sheet package and after direct current alternating current was applied. The value of the voltage on the coils, the connection shape of the coils (field direction), distance between coils, inductance according to with core and without the core of coils, mutual inductance, coefficient of coupling, comments on the tables and graphs of the current changes were made.

Keywords: Coil, Coefficient of Coupling, Magnetic Flux, Mutual Inductance.

1. GİRİŞ

Bobinler içerisinde elektrik akımı geçirilebilen, yalıtılmış iletkenlerin bir silindirik veya daire, dikdörtgen çubuk gibi geometrik nüveler üzerine veya nüvesiz şekilde sarılan elektrik-elektronik devre elemanları olarak bilinirler. Bobinlerden geçen elektrik akımı bobin üzerinde bir elektromotor kuvveti (emk) meydana getirmektedir, bobinler elektrik enerjisini manyetik alan olarak depolayabilirler ve bu depolama kapasiteleri indüktans veya öz indüktans kavramlarıyla tanımlanır. İndüktans L ile sembolize edilir ve birimi Henry(H)'dir. Elektrik devre elemanları arasında elektriksel bağ veya hem elektriksel hem manyetik bağ oluşmaktadır, genellikle indüktans içeren devrelerde manyetik etkileşim söz konusu olmaktadır (Duman ve ark., 2011). Manyetik etkileşimin etkin olduğu en temel elektriksel yapılara, primer (birincil) ve sekonder (ikincil) sargılara sahip transformatörler örnek olarak verilebilir (Açıkgöz ve ark., 2015, İşak ve ark., 2007). Manyetik etkileşim kavramı temel elektrik devrelerinde, elektrikli araç endüktif şarj sistemlerinde, kablosuz enerji iletiminde, levitasyon sistemlerinde (Smeets ve ark., 2014, Meyer ve ark., 2011, Aissaoui ve ark., 2014), elektrik motorlarında (Yılmaz ve ark., 2003) ve enerji iletim hatlarında önemli bir yer tutmaktadır. Belirtilen uygulamaların büyük çoğunluğunda optimum performans elde edebilmek için bobinler arası etkin manyetik etkileşim meydana getirecek sistem modellemesi gerekmektedir (Aomar ve ark., 2017). Aynı zamanda bobin sargılarının nasıl konumlandırılacağı hakkında birçok çalışma yapılmaktadır (Babic ve ark., 2013).

Bobinlerin elektrik sistemlerinde temel ve önemli uygulamalar içerisinde yer almaları nedeniyle, doğru akım (D.A.) ve alternatif akım (A.A.) altındaki davranışlarının bilinmesi önem arz etmektedir. Yapılan çalışmada her biri 250 sipir sayısına sahip iki eşdeğer özellikli bobin nüveli ve nüvesiz olarak D.A ve A.A altında değişik gerilim ve mesafelerde test edilerek incelenmiştir, elde edilen elektriksel değerler tablolarda ve grafiklerde belirtilerek yorum yapılmıştır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

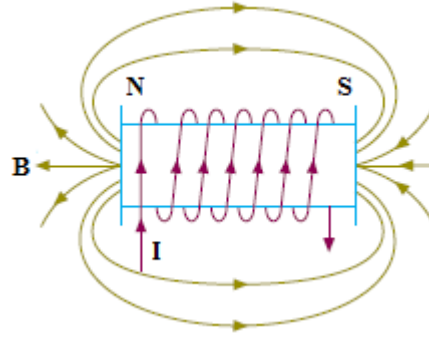
2.1. Sağ El Kuralı

İçinden akım(I) geçen bir bobin etrafında meydana gelen manyetik alan (B, weber/m²), Şekil 1’de görüldüğü gibi sağ el kuralı ile bulunabilir. Bu kurala göre akım yönü sağ elin başparmağı seçilirse, sağ elin kıvrılmış dört parmağı ise meydana gelen manyetik alanın yönünü gösterir.



Şekil 1. Sağ el kuralı

Bobin etrafında oluşan toplam manyetik alan bobin veya nüve üzerinde kuzey (N) ve güney (S) kutuplarını meydana getirir. Başparmak alan yönü (N) kutbunu gösterir, manyetik alan yönü şekil 2’de görüldüğü gibi N kutbundan S kutbuna doğru olmaktadır.



Şekil 2. Manyetik alan yönü

Manyetik bir yükün olmadığı yerde, S yüzey alanını m² olarak belirtirse manyetik alan yoğunluğu B ile S arasındaki ifade denklem 1’deki gibi olur. Buradan çıkan sonuç; herhangi bir kapalı yüzeyden çıkan net manyetik alanın sıfır olduğu ve manyetik alan çizgilerinin kendi üzerlerine kapanmasıdır.

$$\oint_S \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0 \quad (1)$$

Mıknatıslanan bir materyalde toplam manyetik kutuplaşma momenti ise sıfırdan farklıdır. Bir yüzeyden geçen manyetik akı (Φ , weber) ise denklem 2 ile bulunabilir.

$$\Phi = \oint B \cdot dS = B \cdot S \quad (2)$$

Bobin etrafında meydana gelen manyetik alan, iletken üzerinden geçen akımla doğru orantılıdır, buna Amper kanunu denir ve denklem 3 ile ifade edilir, burada dl yol vektörünü, μ_0 manyetik geçirgenlik sabitini, I ise akımı belirtmektedir, boşluk için μ_0 değeri $4\pi 10^{-7}$ weber/ampere.metre’dir.

$$\oint_I \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 I \quad (3)$$

Bobinlerde sarım sayısı N olmak üzere Faraday yasasına göre indüklenen gerilim değeri volt cinsinden denklem 4 ile bulunabilir, burada Φ weber cinsinden manyetik akıyı, t ise saniye cinsinden zamanı ifade eder. Denklemdaki (-) işareti, Lenz kanununa göre indüklenen emk’nin kendisini meydana getiren etkinin değişimine engel olmaya çalıştığı veya zıt olduğu için konmuştur (Saçkan, 1997).

$$V = -N \frac{d\Phi}{dt} \quad (4)$$

Bobin üzerinden geçen akımın, bobin üzerinde indüklediği gerilimin indüktansa bağlı değeri denklem 5 ile bulunabilir. Burada, V bobin üzerindeki anlık gerilimi, L indüktans değerini, di/dt ise indüktör akımındaki anlık değişim miktarını ifade eder.

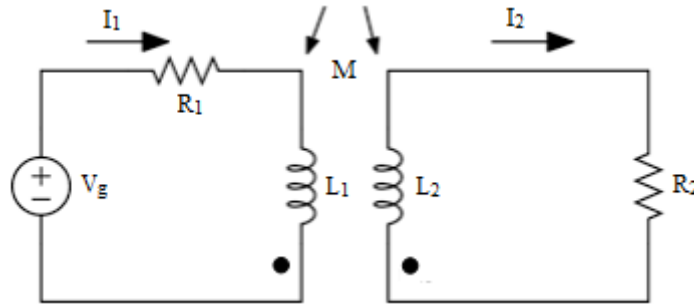
$$V = L \frac{di}{dt} \quad (5)$$

2.2. Karşılıklı Endüktans

Bir bobin üzerine alternatif akım uygulanırsa bobin etrafında değişken bir manyetik alan meydana gelir. Bu durumun sonucu olarak manyetik akıyı oluşturan kuvvet çizgileri, akım geçen bobin ile herhangi bir bağlantısı olmayan ancak manyetik alan içerisinde bulunması sebebiyle diğer bobini manyetik alanıyla etkileyerek bu bobinde bir gerilim indüklenmesini sağlar. Bu şekilde bir bobinde oluşan manyetik alanın diğer bobini etkilemesi karşılıklı veya ortak endüktans (M) olarak ifade edilir [1] birimi Henry'dir. İki bobin arasında ortak endüktans değeri kuplaj katsayısına (k) ve manyetik alan etkileşimi içerisinde bulunan bobinlerin öz-indüktans değerlerine bağlı olup denklem 6 ile ifade edilir. Kuplaj katsayısı ise bobinlerin birinin meydana getirdiği manyetik kuvvet çizgilerinin diğerini kesme miktarı olarak tanımlanır ve değeri birden küçüktür.

$$M = k\sqrt{L_1 L_2} \quad (6)$$

Şekil 3'te iki bobinden meydana gelen etkileşim devresi görülmektedir. Birinci bobinden geçen akım bir manyetik alan oluşturur ve bu manyetik alan ikinci bobin tarafından kesilerek bu bobinde akım oluşturur.



Şekil 3. Karşılıklı endüktans etkileşim devresi

Karşılıklı indüktansta, bir bobinde indüklenen gerilim değeri diğer bobinde meydana gelen akımın zamanla değişim hızı ile orantılıdır. E_1 birinci bobinde indüklenen emk, E_2 ikinci bobinde indüklenen emk olmak üzere denklem 7'de ifadeleri verilmektedir.

$$E_1 = -M \frac{di_2}{dt} \quad E_2 = -M \frac{di_1}{dt} \quad (7)$$

Bu iki denklem biçim bakımından öz-indüksiyon emk'sı olan $V = -L(di/dt)$ ifadesine benzemektedir.

2.3. Endüktif Reaktans

Bobinler D.A altında etkin omik direnç gösterirler, A.A'da ise bobinlerin empedansı zamana ve gerilimin frekansına bağlı olarak değişmektedir ve alternatif akıma zorluk göstermektedir, bu durum endüktif reaktans olarak adlandırılır ve X_L sembolü ile gösterilir birimi ohm (Ω)'dur. L bobinin endüktans değeri, f frekans olmak üzere endüktif reaktans denklem 8 ile ifade edilir.

$$X_L = 2\pi f L \quad (8)$$

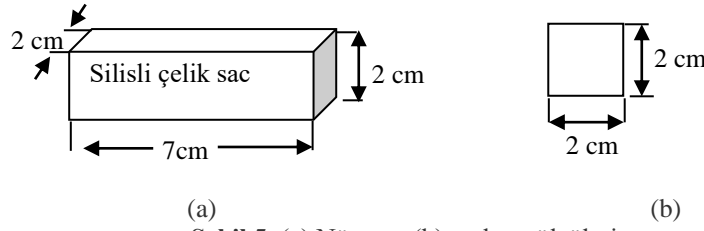
3. DENEYSEL DÜZENEK

Deneysel düzenek 2 adet her biri kare karkas üzerine 250 sipir 0.8 mm verniklenerek yalıtılmış bakır telden sarılmış bobinlerden (her bir bobinin taşıyacağı maksimum akım değeri 1.5 A ve ölçülen omik direnci 1.8Ω 'dur), silisli saclardan preslenerek elde edilmiş demir nüve, ayarlı alternatif gerilim alabilmek için kullanılan oto trafosu (varyak), AA'yı DA'ya çevirmek için kullanılan köprü diyot ve filtre işlemi için bir adet kondansatörden meydana gelmiştir. Deneysel düzenek Şekil

4'te görülmektedir, deneysel çalışma DA ve AA altında değişik gerilim kademeleri, bobinler arası mesafenin değişimi, nüvelive nüvesiz koşullarda bobinlerin vermiş olduğu elektriksel veriler ölçülerek yapılmaktadır. Şekil 5'te ise nüve ve bobin makara ölçüleri verilmiştir.



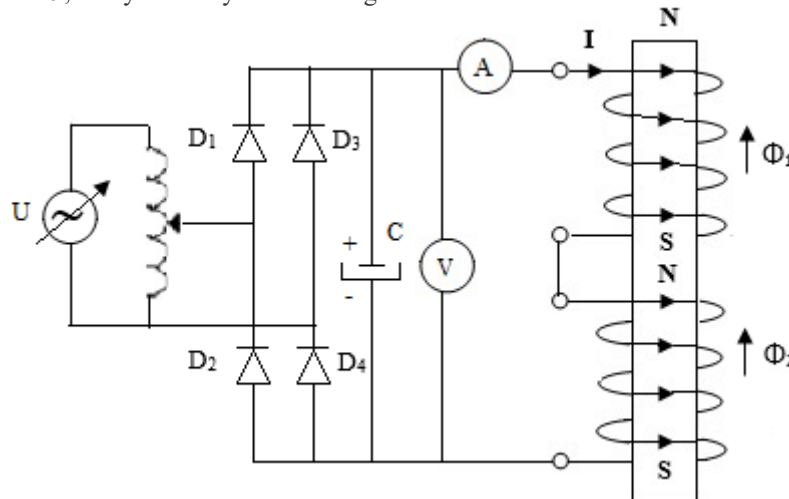
Şekil 4. Deneysel düzenek



Şekil 5. (a) Nüve ve (b) makara ölçüleri

4. BOBİNİN DA ALTINDA İNCELENMESİ

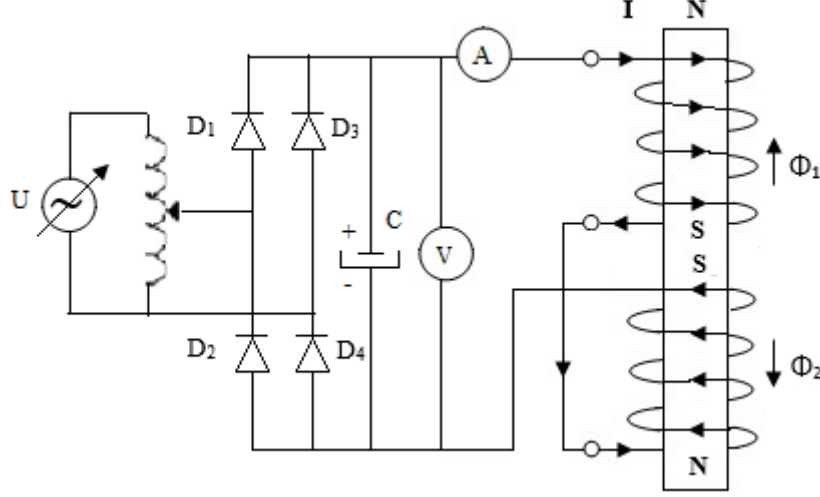
Bobinlerin doğru akım altında durum incelemesinde bobinlerin alan yönleri Şekil 6 ve alan yönleri farklı Şekil 7 olmak üzere iki biçimde test edilmektedir. Şekil 6'daki durumda her iki bobinden aynı yönde akım geçirilmiştir. Bu durumda bobinlerin sadece omik dirençleri vardır ($L=0$, $X_L=0$) ve bu direnç değerleri bobinler aynı özelliğe olduğundan dolayı birbirine eşittir ($R_1=R_2$), eş değer direnç $R_{eş} = R_1+R_2$, devreden geçen akım ise $I=V/R_{eş}$ formülüyle bulunmakta olup D.A altında manyetik alan yönünde ve alan tersi yönde çekilen akım değerleri Tablo 1'de verilmektedir. Şekil 6'da meydana gelen toplam manyetik akı denklem 9, manyetik akı yönleri ise sağ el kuralı ile bulunabilir.



Şekil 6. Doğru akımda bobinlerin manyetik alan yönlerinin aynı olma durumu

$$\Phi_T = \Phi_1 + \Phi_2 \quad (9)$$

Şekil 6'daki durumda bobinlerden geçirilen akım yönleri farklı yönde olduğundan Φ_1 ve Φ_2 manyetik akıları yönleri birbirine ters yöndedir, toplam manyetik akı denklem 10 ile bulunabilir, manyetik akılar birbirine eşit ve ters yönde olduğundan toplam manyetik akı değeri sıfır olmaktadır.

**Şekil 7.** Doğru akımda bobinlerin manyetik alan yönlerinin farklı olma durumu

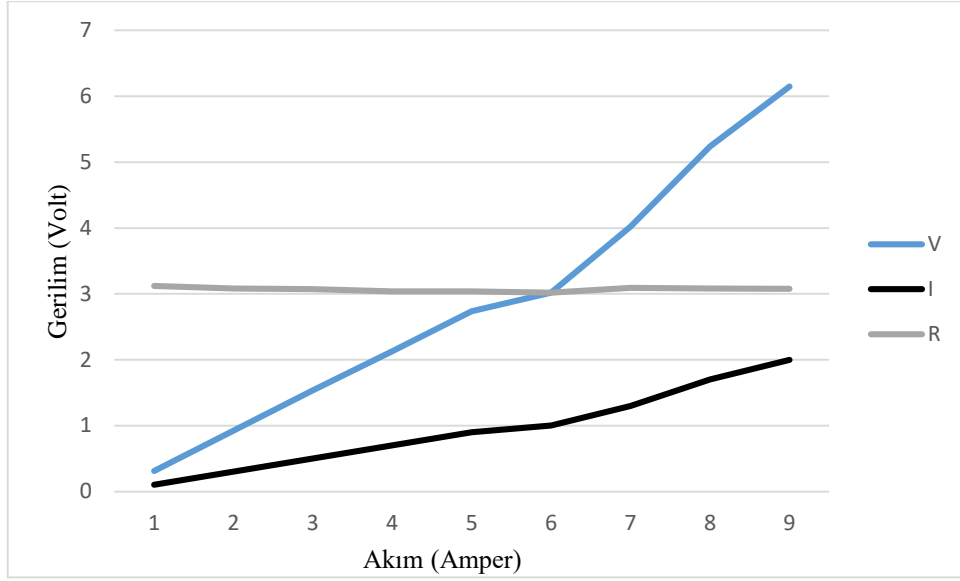
$$\Phi_T = \Phi_1 - \Phi_2 \quad (10)$$

Şekil 5 ve Şekil 6'daki durumlarda bobinler yan yana iken, bobinler arası mesafe 3,2 cm ve manyetik alan yönleri farklı iken, bobinler içinde nüve varken ve nüve yok iken koşullarında çekilen akım değerleri aynıdır ve sadece gerilime göre değişen akım değerleri Tablo 1'de verilmektedir.

Tablo 1. Değişken doğru gerilimde akım değerleri

U (Volt)	I (Amper)
0.312	0.1
0.925	0.3
1.536	0.5
2.128	0.7
2.735	0.9
3.018	1.0
4.020	1.3
5.240	1.7
6.150	2.0

Tablo 1'de verilen değerlere göre meydana gelen omik direnç değişimi Şekil 8'de verilmektedir, direnç değişiminin hemen hemen sabit olduğu görülmektedir.



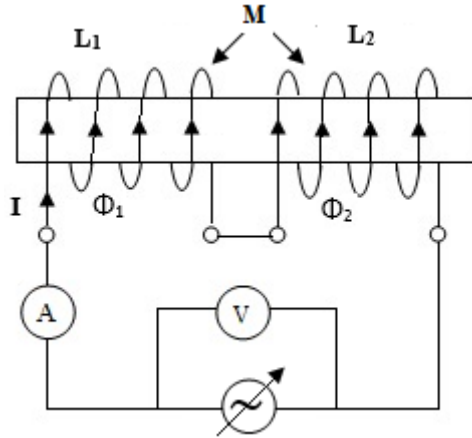
Şekil 8. Doğru akım altında bobin omik direnci

5. BOBİNİN AA ALTINDA İNCELENMESİ

Bobinlerin alternatif akımda incelemesi bobinlerdeki akım yönlerinin aynı ve ters durumda olması farklılık gösterdiğinden iki ayrı bölüm şeklinde işlenmiştir. Alternatif akımda bobinin hem direnci hem de endüktifreaktansı bulunduğundan akım hesaplamasında direnç yerine empedans (Z) değeri kullanılmaktadır.

5.1. Akım Yönleri Aynı İken Durum

Alternatif akım altında bobinlerden geçen akım yönleri Şekil 9'da görüldüğü gibi aynı olduğunda, bobinlerde meydana gelen Φ_1 ve Φ_2 manyetik akıların bileşkesi $\Phi_T = \Phi_1 + \Phi_2$ değerindedir. A.A altında bobinlerde karşılıklı endüktans (M) oluştuğundan denklem 11'de verilen toplam endüktans (L_T) en büyük değerindedir.



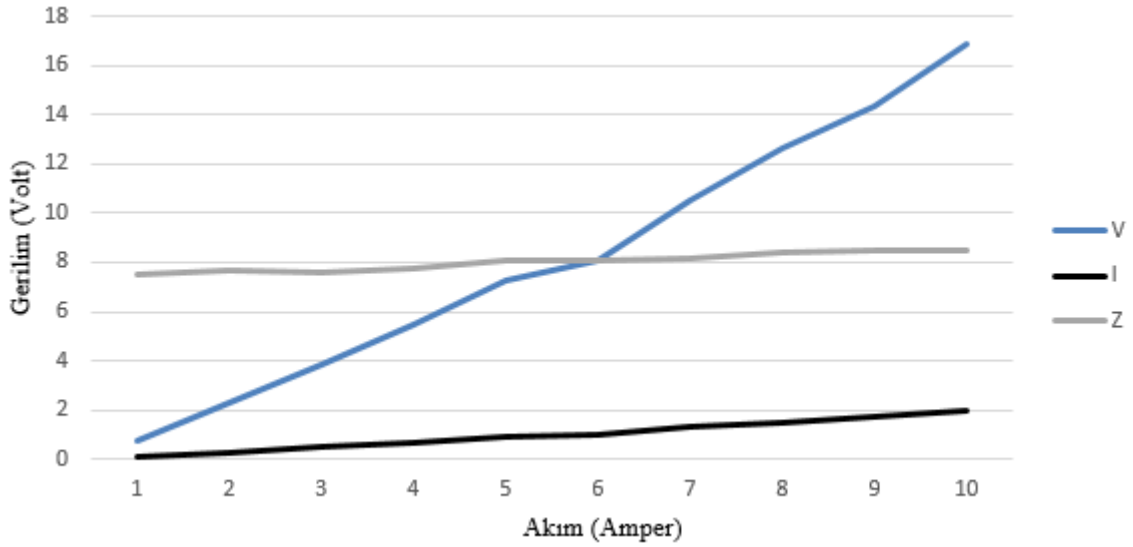
Şekil 9. Alternatif akım altında bobinlerin akım yönleri aynıken alan durumu

$$L_T = L_1 + L_2 + 2M(11)$$

L_T değerinin büyük olması $X_L = 2\pi f L_T$ endüktifreaktans değerinin dolayısıyla empedansın ($Z^2 = R^2 + X_L^2$) büyük olmasını sağlamaktadır, bu durumda devreden çekilen akım ($I = V/Z$) küçük olmaktadır. Bu durumda her iki bobin yan yana iken değişen alternatif gerilim değerlerine göre çekilen akım değerleri Tablo 2'de empedans grafiği ise Şekil 10'da görülmektedir.

Tablo 2. Değişken alternatif gerilimde bobin alan yönleri aynı iken akım değerleri

U (Volt)	I (Amper)
0.755	0.1
2.298	0.3
3.806	0.5
5.44	0.7
7.25	0.9
8.09	1.0
10.56	1.3
12.6	1.5
14.37	1.7
16.91	2.0

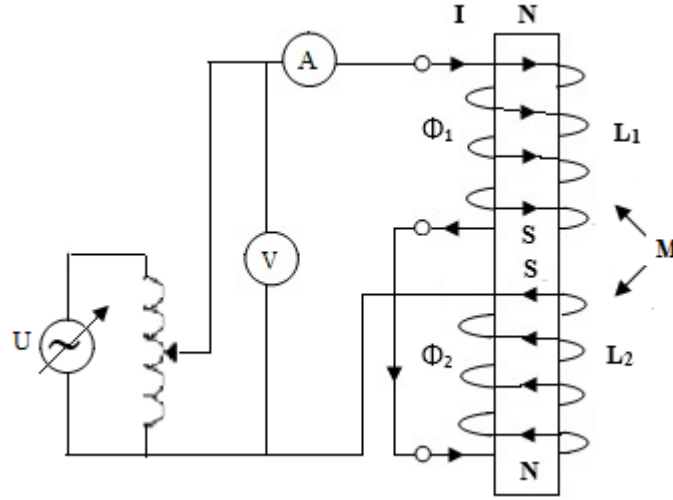
**Şekil 10.** Alternatif akımda bobinlerin empedansı

Nüveli bobinlere uygulanan alternatif gerilim $U=10.56$ Volt değerindeyken çekilen akım $I=1.3$ A'dir. Bu durumda bobinler arası mesafe 3.2 cm yapıldığında akım değeri 1.85 A ölçülmüştür. Akım değerinin yükselmesinin nedeni bobinler arasındaki mesafenin açılması, manyetik kuvvet çizgilerinin diğerini kesme miktarını düşürmesi ve dolayısıyla kuplaj katsayısı k 'nin düşmesidir. Kuplaj katsayısının düşmesi ortak endüktansında ($M = k\sqrt{L_1L_2}$) düşmesine sebebiyet vermektedir ($k \downarrow, M \downarrow$). Dolayısıyla $L_T = L_1 + L_2 + 2M$ ve $X_L = 2\pi fL$ ifadelerinden L_T ve X_L 'nin azalması akım değerini arttırmıştır.

Nüve çıkarıldığında bobinler yan yana iken $U=10.56$ Volt ve akım $I=1.3$ A değerinden $I=2.65$ A değerine yükselmiştir. Nüvenin bulunmadığı durumda ise bobinler arasındaki mesafe 3.2 cm açıldığında akım değeri 1.3 A'den 2.75 A değerine çıkmıştır. Bunun nedeni nüve çıkarıldığında L_1 ve L_2 indüktans değerlerinin azalmasıdır. Bobinler arası mesafe açıldığında kuplaj katsayısı (k) ve dolayısıyla ortak endüktans (M) azalmaktadır. Buna bağlı olarak empedans (Z) değeri azalmakta ve çekilen akım artmaktadır.

5.2. Akım Yönleri Ters İken Durum

Alternatif akım altında bobinlerden geçen akım yönleri Şekil 11'de görüldüğü gibi ters olduğunda, bobinlerde meydana gelen Φ_1 ve Φ_2 manyetik akıların bileşkesi $\Phi_T = \Phi_1 - \Phi_2$ değerindedir. A.A altında bobinlerde karşılıklı endüktans (M) olduğundan toplam endüktans (L_T) denklem 12'de görüldüğü gibi en küçük değerindedir.



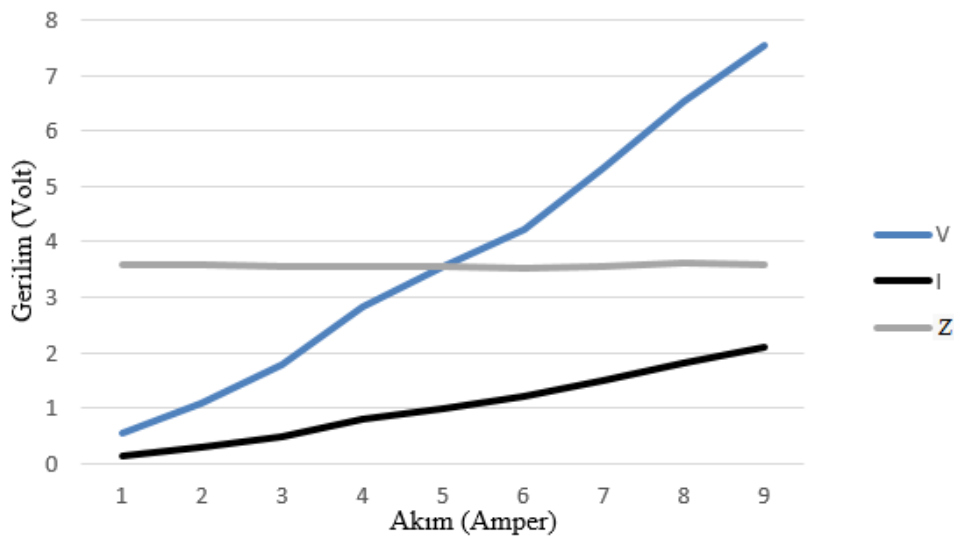
Şekil 11. Alternatif akımda bobinlerin akım yönleri farklıken alan durumu

$$L_T = L_1 + L_2 - 2M \quad (12)$$

L_T değerinin küçük olması $X_L = 2\pi f L_T$ endüktif reaktans değerinin dolayısıyla empedansın küçük olmasını sağlamaktadır, bu durumda devreden çekilen akım ($I=V/Z$) büyük olmaktadır. Bu durumda her iki bobin yan yana iken değişen alternatif gerilim değerlerine göre çekilen akım değerleri Tablo 3'de, empedans grafiği ise Şekil 12'de görülmektedir.

Tablo 3. Değişken alternatif gerilimde bobin alan yönleri farklı iken akım değerleri

V(Volt)	I(Amper)
0.538	0.15
1.078	0.3
1.78	0.5
2.84	0.8
3.546	1.0
4.23	1.2
5.32	1.5
6.54	1.8
7.53	2.0



Şekil 12. Alternatif akım altında farklı yönde alanda bobinlerin empedansı

Bobinler arası mesafe 3.2 cm açılınca kuplaj katsayısı (k) küçülmekte, ortak endüktans (M) azalmakta, ($L_T = L_1 + L_2 - 2M$) denkleminde göre L_T ve X_L artmakta ve bu duruma bağlı olarak devreden çekilen akım azalmaktadır. Nüveli bobinlere

uygulanan alternatif gerilim $U=3.546$ Volt değerindeyken çekilen akım $I=1$ A'dir. Bu durumda bobinler arası mesafe 3.2cm yapıldığında akım değeri 0.92 A ölçülmüştür.

4.16 V Alternatif akım altında ve nüvesiz her iki bobinde meydana gelen manyetik alanlar birbirleriyle aynı ve ters durumlarında, bobinler arası mesafe manyetik alanlar birbirlerini etkilemeyecek kadar uzaklaştırıldığında kuplaj katsayısı (k) dolayısıyla ortak endüktans (M) sıfır olmaktadır. Bobinlerden geçen akımlar aynı yönde ve ters yönde olsada $L_T = L_1 + L_2$ 'dir. Dolayısıyla her iki durum altında bobinlerin çekmiş olduğu akım değeri 1 A ölçülmüştür.

6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Yapılan çalışmada elektriksel sistemlerde önemli elemanlardan biri olan ve genelde anlaşılması kolay olmayan bobin ele alınmıştır. Deneysel çalışmalarda iki eşdeğer özellikte bobinin alternatif ve doğru akım altında nüveli, nüvesiz, değişik gerilim ve mesafelerde davranışı incelenmiştir. Uygulamalarda iki bobin elemanı bulunduğundan manyetik etkileşim söz konusu olmaktadır, doğru akımda omik direnç, alternatif akımda ise ortak endüktansın oluşumuna ve sarım yönlerine bağlı manyetik akı vektörüne ve gerilime göre değişen akım değerleri tablolarda verilmiştir. Ayrıca doğru akımdaki direnç, alternatif akımdaki empedans değişimleri grafikler halinde gösterilerek indüktans, ortak endüktans, kuplaj katsayısı ve akım değişimleri hakkında yorum yapılmıştır.

7. KAYNAKLAR

Açıkgöz, H., Keçecioglu Ö.F., Gani, A., Yıldız, C., Şekkeli, M. (2015). Optimal control and analysis of three phase electronic power transformers, *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 195, 2412-2420.

Aissaoui, M., Allag, H., Yonnet, J.P. (2014). Mutual inductance and interaction calculation between conductor or coil of rectangular crosssection and parallelepiped permanent magnet, *IEEE Transactions on Magnetic*, 50(11), 7027704.

Aomar, L., Allag, H., Feliachi, M., Yonnet, J.P. (2017). 3-D Integral Approach for Calculating Mutual Interactions Between Polygon-Shaped Massive Coils, *IEEE Transactions on Magnetics*, 53(11), 8400905.

Babic, S., Akyel, C. (2013). New formulas for mutual inductance and axial magnetic force between magnetically coupled coils: Thick circular coil of the rectangular cross-section-thin disk coil (pancake), *IEEE Transactions on Magnetics*, 49(2), 860-868.

Duman, S., A.B, Yıldız. (2011). Anahtarlamalı ve Karşılıklı Endüktans Etkisi İçeren Devrelerin Genelleştirilmiş Düğüm Denklemleri ile Analizi, *6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11)*, 275-280.

İşak, P., Kelebekler, E., Yıldız, A.B. (2007). Karşılıklı endüktans etkisinin anahtarlamalı devrelerde ifade edilmesi, *Kaynak Elektrik Dergisi*, 222, 180-184.

Meyer, P., Germano, P., Markovic, M., Perriard, Y., (2011). Design of acontactless energy-transfer system for desktop peripherals, *IEEE Transactions on Industry Applications*, 47(4), 1643-1651.

Saçkan, A.H.(1997).Doğru ve alternatif akım devreleri problem çözümleri, *Birsen Yayınevi*, İstanbul.

Smeets, J.P.C.,Overboom, T.T., Jansen, J.W., Lomonova, E.A. (2014). Inductance calculation nearby conducting material, *IEEE Transactions on Magnetic*, 50(11), 8401504.

Yılmaz, A.S.,Yanikoğlu, E., Çavuş, T.F. (2003). Effects of shortdurationvoltagesags on inductionmotors, *SAÜ FBE Dergisi*, 7, Sayı 1, Sayfa 76-81.