

İNDÜKSİYON ISITMA PRENSİBİ İLE ÇALIŞAN MİKROKONTROL DENETİMLİ BİR SIVI ISITICISI TASARIMI

* Ahmet ALTINTAŞ¹, Mehmet Necdet YILDIZ², İsmail KIZILKAYA³

¹Dumlupınar Üniversitesi, Simav Teknoloji Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Simav-Kütahya,
a_altintas@dumlupinar.edu.tr

²Ege Üniversitesi, Ege Meslek Yüksekokulu, Elektronik Teknolojisi Programı, Bornova-İzmir, necdet.yildiz@ege.edu.tr

³Dumlupınar Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Makine Eğitimi, Simav-Kütahya, ismail_43@yahoo.com

Geliş Tarihi: 11.11.2011

Kabul Tarihi: 26.11.2012

ÖZET

Bu çalışmada, indüksiyon ısıtma prensibi ile çalışan mikro kontrol denetimli bir sıvı ısıtıcısı tasarlanmıştır ve test edilmiştir. İndüksiyon ısıtma teknolojisi; ısıtma işlem süresinin kısa olması, bulunduğu ortama ısı yaymaması, yüksek verimliliği, alevlenme ve patlama vb. olumsuzluklarının bulunmaması gibi üstünlüklere sahiptir. Bu üstünlükler dolayısıyla, indüksiyon ısıtma teknolojisinin kullanımı endüstri ve ev tipi uygulamalarda gün geçtikçe artmaktadır. Bu çalışmada uygulaması yapılan örnek modelde, şehir elektrik şebekesinden alınan 220 V'luk AC gerilim, köprü tipi doğrultmaç ve filtre yardımıyla DC gerilime dönüştürülmüştür. Elde edilen bu DC gerilim daha sonra, bir köprü tipi DC-AC dönüştürücü üzerinden 16.66 kHz'lik bir paralel rezonans devresine uygulanmıştır. Deneysel çalışmalarda, sıvı olarak şehir su şebekesi kullanılmıştır. Ölçüm sonuçlarına göre, geliştirilen örnek model 1 lt/dak'lık akış debisine sahip suyun sıcaklığı 30 °C'den 64 °C'ye, 0.5lt/dak'lık akış debisine sahip suyun sıcaklığı 30 °C'den 94 °C'ye yükseltmiştir.

Anahtar Kelimeler: İndüksiyonla Isıtma, Paralel Rezonans, PWM İnvertör, Sıvı Isıtıcı.

DESIGN OF A MICROCONTROLLER BASED LIQUID HEATER OPERATING WITH THE PRINCIPLE OF INDUCTION HEATING

ABSTRACT

In this study, a microcontroller based liquid heater operating with the principle of induction heating is designed, realized and tested. Induction heating technology has the superiorities of being a system whose process duration is short, which has no temperature distribution through environment with its high efficiency and do not let occasions such as combustion or bursting. Due to these superiorities; its usage in industry and home-type applications has been increasing everyday. In the developed prototype, 220 V AC public electrical main supply is converted to the DC bus voltage with the aid of the bridge rectifier and filter. Then, the obtained DC bus voltage is supplied to a 16.66 kHz parallel resonant circuit via a bridge DC-AC converter. In the experimental studies, public water supply is used as liquid. According to the measurements results, the developed prototype increases the water temperature from 30 °C to 64 °C at flow-rate of 1 lt/min, and from 30 °C to 94 °C at flow-rate of 0.5 lt/min.

Keywords: Induction Heating, Liquid Heater, Parallel Resonance, PWM inverter.

1. GİRİŞ

Günümüzde çeşitli amaçlar için kullanılan birçok ısıtma yöntemi mevcuttur. Bunlardan en yaygın ve en ekonomik olanı ise elektrik enerjisidir. Şehir şebekesiyle dağıtımı yapılmış olan alternatif akım (AC) elektrik enerjisi, uygun bir rezistans tüpü kullanılarak ısı enerjisine kolayca dönüştürülebilmektedir. Bu yöntem, sıvıların ısıtılması için de pratik çözümler sunmaktadır. Fakat sıvıların ısıtılması için kullanılan rezistanslı ısıtma yönteminin bazı olumsuz yönleri vardır: yüksek akış debili sistemlerde ısıtma süresinin uzunluğu, su içinde bulunan kirecin çökmesi sebebiyle oluşan problemler, herhangi bir sebeple akışkan veya gövde üzerine olabilecek elektrik kaçağı riski, rezistansların sıvı içine konma zorunluluğu ve sıvı sızdırma problemleri bunlardan bazılarıdır.

Rezistanslı sıvı ısıtma sistemlerinin olumsuz etkilerini en aza indirmek için, günümüzde indüksiyon ısıtma prensibi ile çalışan düzenekler üzerinde bazı çalışmalar gerçekleştirilmiştir. İndüksiyon ısıtma teknolojisi, alışlagelmiş ısıtma sistemlerine göre, işlem süresinin oldukça kısa olması, çevreye ısı dağılımının olmaması, yüksek verimliliği ve yanma, patlama gibi olaylara izin vermeyen güvenilir bir sistem olması gibi üstünlüklere sahiptir. Bu üstünlükler doğrultusunda günümüzde endüstri ve ev tipi uygulamalarında kullanımı giderek artmaktadır.

İndüksiyon prensibi ile sıvı ısıtma sistemleri hakkındaki çalışmalar 1980'li yıllarda başlamıştır[1]. Bu çalışmada, paslanmaz çelik borular üzerine indüksiyon bobinleri sarılarak, boru içindeki yağın ısıtılması sağlanmıştır; ısıtılan yağ, kapalı çevrim bir ısı değiştiriciden geçirilerek başka bir su sirkülasyon sisteminin ısıtılması gerçekleştirilmiştir. Çalışma da seri rezonans devresi kullanılmıştır. Başka bir çalışmada [2], PWM kontrollü paralel rezonans devresi, çelik boru içinden akan suyun ısıtılması için kullanılmıştır. İndüksiyon bobini olarak, içinden soğutma sıvısının geçirildiği bakır borular kullanılmıştır; bu sayede daha yüksek çalışma ısılarına çıkılmış ve bobinin zarar görmesi engellenmiştir. Bir diğer çalışmada [3], seramik borular içine yerleştirilen çelik levhalar indüksiyon yöntemiyle ısıtılıp, boru içinden geçen suyun ısıtılması sağlanmıştır. İndüksiyon bobini olarak Litz kablosu kullanılmış ve yüksek frekansın olumsuz etkisi olan 'deri olayı' en aza indirilmiştir. Uygulamada, iki adet tasarım seri bağlanarak 200°C'lik su buharı üretilmiştir. Diğer çalışmada [4], rulo biçiminde sarılmış manyetik metal malzeme teflon boru içine yerleştirilip, Litz kablosundan sarılmış rezonans bobini içine konumlandırılmış ve akışkan sıvı ısıtılmıştır. Tasarımda kullanılan 20kHz'lik anahtarlama sinyallerinin olumsuz etkilerini en aza indirmek için 'sıfır voltaj anahtarlama' yöntemi kullanılmıştır. Deneysel çalışmalarda, 0.85lt/dak. akış debisine sahip suyun ısısı, oda sıcaklığından 90°C'ye yükseltilmiştir. Farklı bir çalışmada [5], 13kHz'lik bir paralel rezonans devresiyle, belirli bir akış debisine sahip suyun ısıtılması ve farklı debilerdeki performans analizi yapılmıştır. Buna göre, 0.8lt/dak. akış debisindeki 13°C'lik suyun ısısı 52.34°C'ye, 4lt/dak. akış debisindeki 13°C'lik suyun ısısı 20.55°C'ye yükseltilmiştir.

İndüksiyon ısıtma prensibi ile sıvı ısıtma yönteminin kullanılmış olduğu diğer uygulama örnekleri, mutfak uygulamalarında kullanılan kaynatma-pişirme yöntemiyle ilgilidir. Bu alanda da birçok çalışma yapılmıştır [6-9]. Genel olarak bu yöntem de, değişken bir manyetik alan ile ferromanyetik malzemenin ısıtılması prensibini kullanmaktadır. Fakat rezonans bobini olarak kullanılan sarımlar, farklı tasarımlara sahiptir.

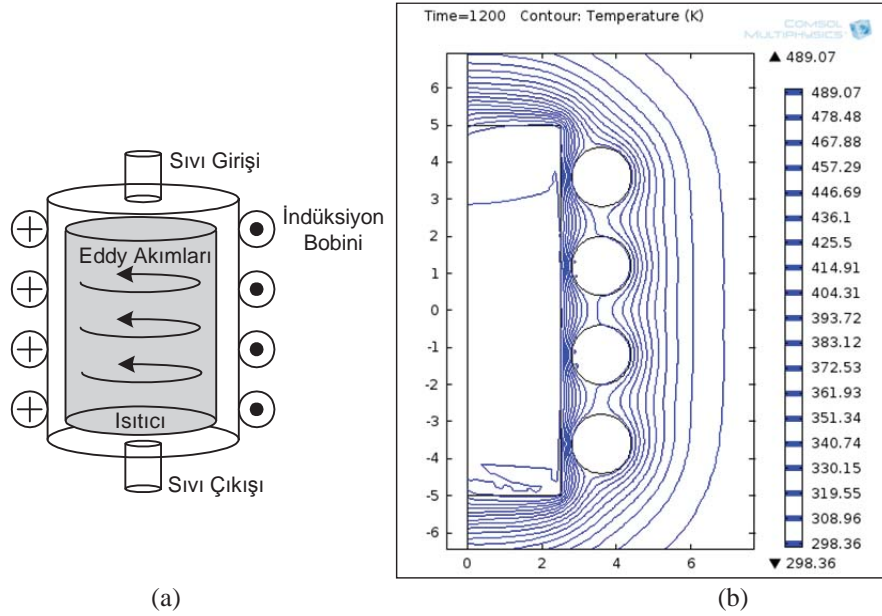
Sunulan bu çalışmada, indüksiyon ısıtma prensibi ile çalışan mikro kontrol denetimli bir sıvı ısıtıcısı tasarımı yapılmıştır. Isıtıcı, konut uygulamalarında kullanılacak küçük güçlü bir şofben olarak tasarlanmış olup şehir elektrik şebekesinden beslenmektedir. Güç devresi, köprü tipi invertörden beslenen paralel rezonans devresinden oluşmaktadır. Anahtarlama sinyallerini üretmek ve ısıtıcı kontrolünü yapmak için PIC16F877 mikro kontrolcüsü kullanılmıştır. Isıtıcı parametrelerine göre istenilen rezonans

frekansındaki sürme sinyallerinin mikro kontrolcü tarafından kolaylıkla üretilebilmesi bu çalışmanın üstünlüklerindedir; çünkü, bobinler en karmaşık devre elemanları olup istenilen endüktans değerine sahip bir bobin oluşturmak oldukça zordur; endüktans değerinin farklı olması doğal olarak rezonans frekansını değiştirecek ve ısıtıcı performansını olumsuz etkileyecektir. Bu çalışmada ayrıca,ısıtıcının benzer bir bilgisayar simülasyonu, COMSOL Multyphysics bilgisayar paket programında gerçekleştirilmiştir; Simülasyon programı, ısıtıcının geometrik boyutlarının tespitinde önemli bir yer tutmaktadır.

2. İNDÜKSİYON PRENSİBİYLE SIVI ISITMA

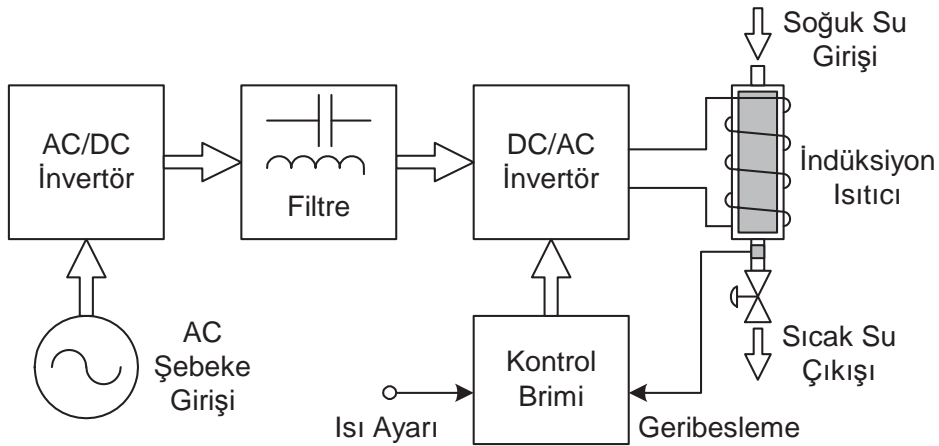
İndüksiyon ısıtma sistemlerinin temeli sayılan elektromanyetik indüksiyon teorisi 1831 yılında Michael Faraday tarafından bulunmuştur. Bu teori kısaca, "değişken elektromanyetik alana maruz kalan bir metal üzerinde, indüksiyon gerilimi (emk) oluşur ve bu gerilim metal üzerinde yüksek akımlar (eddy akımları) akıtır" prensibiyle özetlenebilir.İndüksiyon ısıtma; manyetik bir malzemenin değişken bir elektromanyetik alana maruz bırakılarak üzerinde gerilim indüklenmesi ve bu gerilimin oluşturacağı yüksek akımların manyetik malzemeyi ısıtması ile sağlanır. Elektromanyetik alan ile ısıtılan manyetik malzeme, bir hazne içindeki sıvı içine konumlandırılırsa, açığa çıkan enerji ile sıvı ısıtılmış olur.İndüklenen akımların yüksek olmasını sağlamak için, ısıtıcı parça olarak manyetik malzeme kullanılması gereklidir; çünkü demir, kobalt ve nikel gibi manyetik malzemelerin manyetik relüktansı düşüktür. Isıtılacak olan manyetik malzeme ile elektrik şebekesi arasında elektriksel bir bağlantı bulunmayıp, enerji transferi sadece elektromanyetik yolla gerçekleşmektedir; bu da sistemin çalışma risklerini azaltmaktadır.

Şekil 1.a'da, AC gerilimden beslenen bobinin anlık bir akım yönü ve ısıtıcı parça üzerinde endüklemiş olduğu Eddy akımları ve yönü görülmektedir. Benzer bir modelin bilgisayar simülasyonu, COMSOL Multiphysics (FEMLAB) bilgisayar paket programında gerçekleştirilmiştir (Şekil 1.b). Sonlu elemanlar yöntemi (FEM) ve kısmi diferansiyel denklemler (PDE) ile çözüm üreten COMSOL programı, MATLAB ile etkileşimli çalışabilen güçlü bir modelleme ve simülasyon yazılımıdır[10,11]. Grafik kullanıcı ara yüzü (GUI) sayesinde, birçok mühendislik bilim dalındaki (elektronik, elektromanyetik, akışkanlar dinamiği, ısı transferi, akustik, fizik, kimya,vb.)uygulamalarda sayısız çözümler üretir. Şekil 1.b'de, COMSOL ortamındaki 2boyutlu eksemel simetri (silindirik) düzlemde modellenen bir indüksiyon ısıtıcının, 1200s süre sonunda demir bir metal üzerinde oluşturduğu ısı etkisi ve ortamdaki ısı değişimi görülmektedir; burada, x ve y eksenleri, ısıtıcının silindirik düzlemdeki boyutlarını göstermektedir. Renklendirilmiş olarak verilen eş-değer eğrileri (contour) ise eş-sıcaklık koordinatlarını göstermektedir; örneğin, 1200s sonunda sıcaklığın en yüksek olduğu koordinatlardaki (ki burası ısıtıcı parça yüzeyine çok yakın bir noktadır) değeri 489.07°K kadardır.



Şekil 1.a) Isıtıcı parça üzerinde indüklenen eddy akımları ve yönü,
b) Benzer bir modele ait COMSOL simülasyonu

Yüksek güç yoğunluklu bir indüksiyon ısıtma sağlamak için, yüksek frekanslı bir elektromanyetik alan oluşturmak gereklidir. Yüksek güç yoğunluğu, metallerin sığ bir derinliğinin ısıtılması ile sağlanır. Daha yüksek frekans, daha sığ derinliği ve daha yüksek güç yoğunluğu anlamına gelir[12]. Yüksek frekanslı bir elektromanyetik alan, rezonansın vertörleri ile en ekonomik şekilde üretilebilir. Rezonans invertörler, seri ve paralel rezonans olmak üzere iki grupta incelenebilir. Her iki grubunda kendine göre üstünlük ve mahsurları vardır. Bu çalışmada, yüksek frekanslı elektromanyetik alan oluşturmak için, sistem elemanlarının gerilimlerini arttırmama özelliğinden dolayı paralel rezonans devresi tercih edilmiştir. Tasarımı gerçekleştirilen indüksiyonlu sıvı ısıtıcısının şematik gösterimi Şekil 2'de verilmiştir.



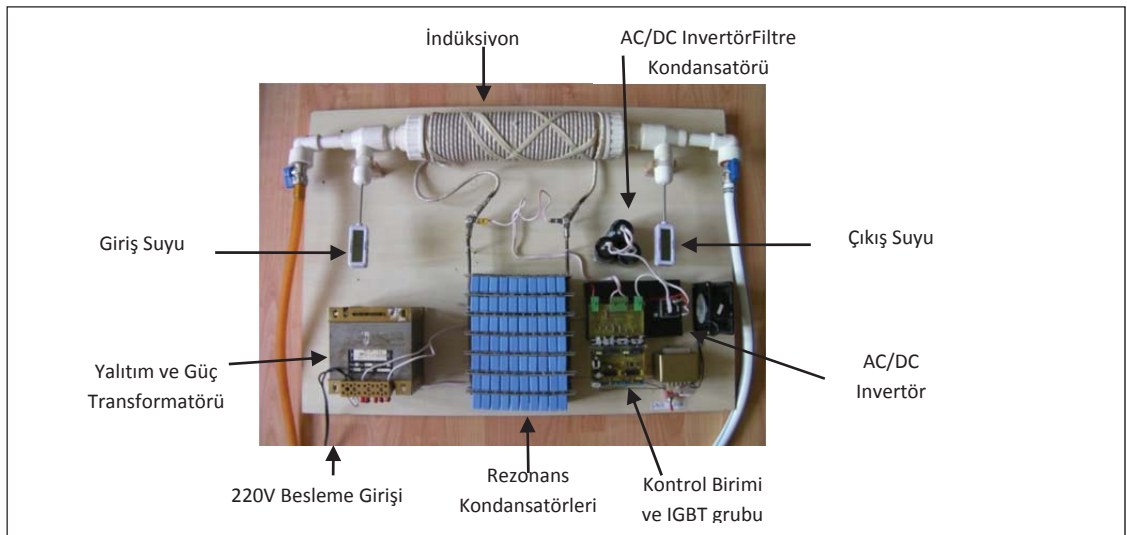
Şekil 2. Tasarımı gerçekleştirilen indüksiyonlu sıvı ısıtıcısının şematik gösterimi

3.MATERYAL VE METOT

Yüksek akım seviyelerinde düşük iletim kayıpları ve yüksek anahtarlama frekanslarında düşük anahtarlama kayıpları nedeniyle invertör devresinde anahtarlama elemanı olarak IGBT tercih edilmiştir. Şekil 2’de şematik gösterimi verilen tasarımın DC/AC invertör devresinde 600 V ve 75 A'lık IXGH 40N60C kod numaralı transistörler kullanılmıştır. Kontrol ünitesi olarak PIC16F877 mikro kontrolcüsü kullanılmıştır. Sistemde, bir adet suyun giriş kısmında, bir adet ise çıkış kısmında olmak üzere iki adet termometre kullanılmıştır. Termometreler sayesinde sudaki sıcaklığın artış miktarı kolaylıkla gözlemlenebilmektedir.

PIC16F877 mikro kontrolcüsü günümüzde yaygın biçimde kullanılan, maliyeti oldukça düşük, çok az çevresel birime ihtiyaç duyan, çalışma hızı yüksek (uygulamada 20MHz), giriş-çıkış portları oldukça fazla, kullanışlı iç donanımsal özelliklere ve özellikle analog-dijital konvertör (ADC) ve PWM kontrol modülüne sahip bir denetleyicidir. Uygulama devresindeki mikro kontrolcü, bir potansiyometre üzerinden alınan referans sıcaklık bilgisi ile çıkış suyu sıcaklık bilgisini kıyaslayarak anahtarlama devresinin ihtiyaç duyduğu sürme sinyallerini üretmektedir.

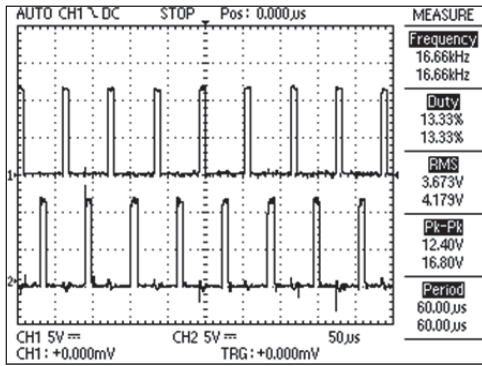
Paralel rezonans devresinde kullanılan kondansatör kapasitesi, çok sayıda küçük değerli kondansatör paralel bağlanarak elde edilmiştir. Bu amaçla, 18 nF – 2000 V değerinde kutupsuz kondansatörlerden 140 adet kullanılarak 2.52µF'lık bir kapasite elde edilmiştir. Rezonans devresinde kullanılan bobini oluşturmak için, 6x5x4x28/36 AWG-1 Litz kablosu kullanılmıştır. Bobin, silindirik şeklinde işlenmiş uygun çaptaki bir teflon malzeme üstüne sarılarak oluşturulmuştur. Teflon malzeme, 40mm iç çap ve 58mm dış çap'a sahiptir. Bobinin merkezine konumlandırılıp ısıtıcı olarak kullanılacak olan manyetik malzeme, rulo halinde sarılmış 24x100cm'lik 0.2mm kalınlığında paslanmaz çelik sac'dan üretilmiştir. Rulo şekline biçimlendirilmiş sac levha kullanılarak ısıtıcının yüzey alanı artırılmış ve üretilen ısının akışkan sıvıya aktarımı hızlandırılmıştır. Uygulamalarda ısıtıcı metal olarak farklı tasarım biçimleri kullanılmıştır (silindirik blok, delikli blok, düz sac paketler, rulo biçimli saclar, vb.). Literatür çalışmalarına göre, rulo biçimli ısıtıcının daha etkin çalıştığı gözlemlenmiştir [13]. Ayrıca, kullanılan manyetik malzeme türü de ısıtıcı performansını direkt olarak etkilemektedir. Uygulama devresinin bir fotoğrafı Şekil 3'te verilmiştir.



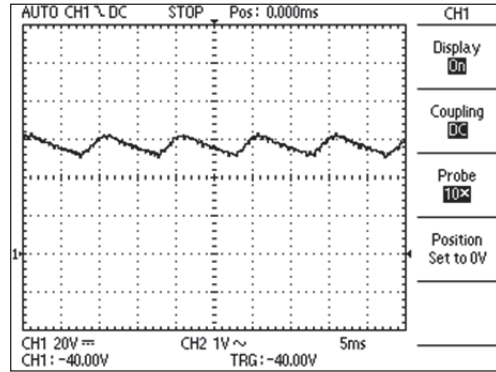
Şekil 3. Uygulama düzeneğinin fotoğrafı

4. DENEYSEL BULGULAR

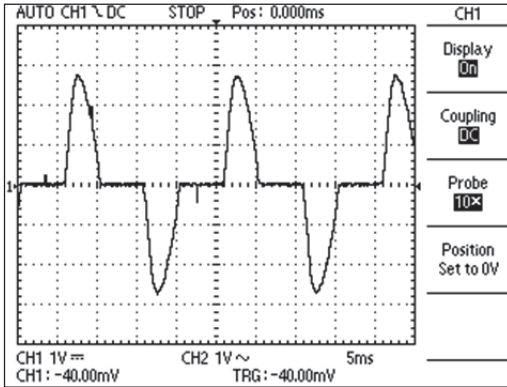
Deneysel çalışmalarda ısıtıcının farklı çalışma gerilimindeki tepkisini belirlemek amacıyla, üç ayrı çıkış gerilimine (55 / 110 / 220 V) sahip bir güç transformatörü kullanılmıştır. Akım ve gerilim dalga şekillerini ölçmek için DS-1150 (150 MHz) dijital osiloskop kullanılmıştır. Güç transformatörü, ölçümlerin zararsız bir şekilde yapılabilmesi için yalıtım görevini de görmektedir. İnvörtör devresinde kullanılan IGBT transistörlerinin anahtarlama sinyalleri Şekil 4'te verilmiştir; anahtarlama sinyalleri yaklaşık olarak 12V genliğe ve 16.66kHz frekansa sahiptir; bu frekans aynı zamanda indüksiyon ısıtıcının çalışma frekansdır. Şekil 5'de, şehir elektrik şebekesinden alınan AC gerilimin doğrultulmuş olduğu DC hat besleme gerilim dalga formu görülmektedir; DC hat, 55V'luk transformatör çıkışından beslenmekte olup filtreleme işlemi yapılmıştır. Şebekeden çekilen akım dalga formu ve rezonans devresi gerilim dalga formu sırasıyla Şekil 6 ve 7'de verilmiştir.



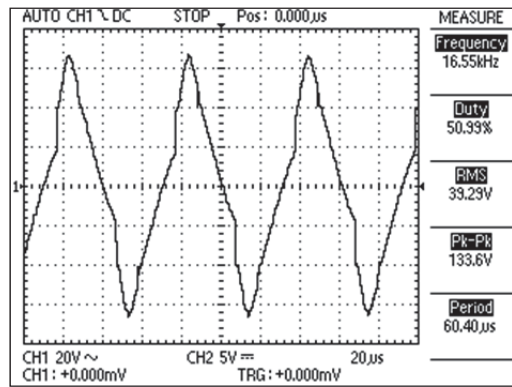
Şekil 4. IGBT anahtarlama sinyalleri



Şekil 5. DC hat besleme gerilim dalga formu



Şekil 6. Şebeke akımının dalga formu



Şekil 7. Rezonans devresinin gerilim dalga formu

Üç farklı gerilim ve iki farklı su akış debisi (0.5lt/dak., 1lt/dak.) için ölçülen sıcaklık değerleri Çizelge 1'de verilmiştir. Bu sonuçlara göre; 220 V çalışma geriliminde 0.5lt/dak. debiye ve 30 °C'lik ısıya sahip olan giriş suyunun sıcaklığı, çıkışta 94 °C'ye yükseltilmiştir; 220 V çalışma geriliminde 1 lt/dak. debiye ve 30 °C'lik ısıya sahip olan giriş suyunun sıcaklığı ise çıkışta 64 °C'ye yükseltilmiştir. Bu koşullardaki çalışma akımı 13.45 A ve giriş gücü 2959 W olarak ölçülmüştür.

Çizelge 1.İndüksiyonlu su ısıtıcı performans değerleri

Çalışma Gerilimi (V-AC)	55	110	220
Çalışma Akımı (A-AC)	3.31	6.69	13.45
Giriş Gücü (W)	182	736	2959
Kapasite Değeri (µF)	2.52	2.52	2.52
Endüktans Değeri (µH)	36.2	36.2	36.2
Rezonans Frekansı (kHz)	16.66	16.66	16.66
Su Akış Debisi (Litre/Dak.)	0.5	0.5	0.5
Su Giriş Sıcaklığı (°C)	30	30	30
Su Çıkış Sıcaklığı (°C)	34	47	94
Su Akış Debisi (Litre/Dak.)	1	1	1
Su Giriş Sıcaklığı (°C)	30	30	30
Su Çıkış Sıcaklığı (°C)	32	38	64

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, rezistanslı sıvı ısıtma yöntemine alternatif olarak geliştirilmeye çalışılan mikro kontrol denetimli indüksiyonlu sıvı ısıtma sistemi tasarlanarak bir deney düzeneği halinde gerçekleştirilmiştir. Düzenek üzerinde yapılan testlerde, ısıtılacak sıvı olarak şehir şebeke suyu kullanılmıştır; sürekli akmakta olan suyun debisi vanalar yardımıyla ayarlanarak giriş ve çıkış sıcaklıkları ölçülmüştür. Deney düzeneği en yüksek güçte çalıştırıldığında (220 V), 0.5lt/dak. akış hızına sahip olan suyun sıcaklığında 64 °C'lik bir artış, 1 lt/dak.akış hızına sahip olan suyun sıcaklığında 34 °C'lik bir artış gözlenmiştir. Bu sonuçlara göre, doğal olarak akış hızı düşük olan suyun sıcaklığındaki artış daha yüksek olmuştur.

Yüksek su akış debilerindeki ısı artışının düşük olması, tasarlanmış olan bu indüksiyon sıvı ısıtıcısı üzerinde bazı iyileştirmelerin yapılmasını zorunlu kılmaktadır. Fakat ısıtıcının çalışmasını etkileyen sistem parametre sayısının fazla olması (indüksiyon bobininin endüktansı, ısıtıcı parçanın biçimi ve relüktansı, indüksiyon bobini ve ısıtıcı arasındaki mesafe, kullanılan malzemelerin toleransları ve rezonans frekansına etkisi vb.) ve yapılacak olan iyileştirmelerin maliyetinin yüksek olması, farklı yöntemlerin denenmesini gerektirmektedir. Bu problemi aşmak için kullanılabilir en pratik çözüm, manyetik analiz yapabilen bir simülasyon paket programı kullanmaktır. Deney düzeneği üzerinde yapılması düşünülen fiziksel bir değişiklik, tasarımcının aşırı bir zaman kaybına sebep olmaktadır; buna karşın, bilgisayar modeli üzerinde yapılacak olan birçok değişikliğin sistem üzerindeki etkileri kısa süre içinde gözlemlenebilmektedir. Bu amaçla, daha sonraki çalışmalarda, paket programlardan alınan sonuçlar kullanılarak sistem üzerinde iyileştirmeler yapılacaktır.

KAYNAKÇA

- [1] J.S.Curran, A.M.Featherstone, “Electric-Induction Fluid Heaters”, Power Engineering Journal, 2(3), 157-160, (1988)
- [2] M. Kenada, S.Hishikawa, T. Tanaka, B.Guo, M.Nakaoka,“Innovative Electromagnetic Induction Eddy Current-Based Dual Packs Heater Using Voltage-Fed High-Frequency PWM Resonant Inverter for Continuous Fluid Processing in Pipeline”, IEEE Engineering Technologies, Vol.2, 797-802, (1999)

- [3] T. Nakamizo, M. Kenada, S. Hishikawa, B.Guo, H. Iwamoto, M.Nakaoka, “New Generation Fluid Heating Appliance Using High Frequency Load Resonant Inverter”, IEEE 1999 International Conference on Power Electronics and Drive Systems, PEDS’99, Hong Kong, Vol.1,309-314, (1999)
- [4] H. Sadakata, M. Nakaoka, H. Yamashita, H. Omori, H.Terai, “Developmentof Induction Heated Hot Water Producer Using Soft Switching PWM High Frequency Inverter”, IEEE, PCC-Osaka-2002, Vol.2, 452-455, (2002)
- [5] M.N. Yıldız, N. Alan, “2,2 kW’lık İndüksiyonlu Sıvı Isıtıcısı Tasarımı ve Denenmesi”, Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, 3(3),11-23, (2006)
- [6] T. Tanaka, “A New Induction Cooking Range for Heating any Kind of Metal Vessels”, IEEE Transactions on Consumer Electronics, 35(3), 635-641, (1989)
- [7] D.M. Shin, M.K. Lee, K.H.Koh, H.W. Lee, “A Study on About Implementation to Induction Heating Cooker That Load Turbo Inverter Algorithm”, IEEE, PCC-Osaka-2002, Vol.2, 456-459, (2002)
- [8] B.S. Sazak, S. Öncü, S. Çetin, “Bir Ev Tipi İndüksiyon Isıtma Sistemi Tasarım Metodu”, Teknoloji Dergisi, 8(4), 321-329, (2005)
- [9] S. Çetin, B.S. Sazak, “Mutfak Tipi İndüksiyon Isıtma Cihazları İçin Üç Çıkışlı Bir Seri Rezonans İnverter Uygulaması”, Teknoloji Dergisi, 9(1), 7-16, (2006)
- [10] W.B.J Zimmerman, “Multiphysics Modelling with Finite Element Methods”, Series on Stability, World Scientific Pub., 432 p., (2006)
- [11] R.W. Pryor, “Multiphysics Modelling using COMSOL: A first principles approach”, Jones&Bartlett Pub., Mass., 852 p., (2011)
- [12] S. Khan, M. Ahamae, M.A. Khan, “Innovative Applications of Induction Heating for Selective Heat-Treatment”, Science Vision, Vol.5,14-19,(2000)
- [13] I. Kızılkaya, “İndüksiyon Isıtma Prensibi ile Çalışan Mikro kontrolcü Denetimli bir Sıvı Isıtıcısı Tasarımı”, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 67 s., (2010)