



MUTFAK UYGULAMALARI İÇİN YARIM KÖPRÜ SERİ REZONANS İNVERTÖRLÜ İNDÜKSİYON ISITMA SİSTEMİ TASARIMI

Selim KÖROĞLU*, Bekir Sami SAZAK**

*Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Çamlık/Denizli

** Pamukkale Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Elektrik Eğitimi Bölümü, Kampüs/Denizli

Geliş Tarihi : 15.03.2002

ÖZET

Elektromanyetik indüksiyon yolu ile ısıtma endüstride metallerin ısıtılması, eritilmesi, şekil verilmesi ve yüzey sertleştirme uygulamalarında tercih edilmektedir. Bu çalışmada indüksiyon ısıtmanın mutfak uygulamalarında da kullanılabilirliği gösterilmiştir. Bu amaçla, bobin tasarımını da kapsayan komple bir indüksiyon ısıtma sistemi tasarlanmış, küçük güçlü bir prototipi gerçekleştirilmiş ve test edilmiştir. Sunulan sistemde rezonans anahtarlama tekniği kullanılmış ve bu sayede anahtarlama kayıpları önemli ölçüde azaltılmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucu sunulan sistemin, bilinen mutfak ısıtıcıları ile kıyaslandığında oldukça yüksek verime sahip olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler : İndüksiyon ısıtma, Pancake bobin, Rezonans invertör

DESING OF AN INDUCTION HEATING SYSTEM WITH A HALF BRIDGE SERIES RESONANT INVERTER FOR DOMESTIC COOKING APPLICATIONS

ABSTRACT

The technique of heating by electromagnetic induction is a well established and an invaluable tool for industries engaged in the heat treatment of hot working of metals. In this study, it is shown that induction heating can succesfully be applied for domestic cooking applications. For this purpose, a complete induction heating system has been designed and a prototype of the proposed system has been built and tested. By the use of resonant technique, switching losses have been reduced significantly. Coil design procedure of the proposed system was also given. It is shown that induction heating system has many advantages among the conventional heaters.

Key Words : Induction heating, Pancake coil, Resonant inverter

1. GİRİŞ

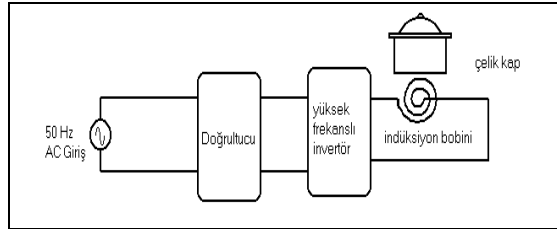
İndüksiyon ısıtma sistemlerinin temeli 1831 yılında Michael Faraday'ın ortaya koyduğu Faraday Kanunu olarak anılan elektromanyetik indüksiyonla başlamıştır. Bu konuda ilk yazılı eser Heaviside tarafından yayınlanmıştır (Heaviside, 1884). İndüksiyon ısıtma sistemleri ile ısıtma, eritme, kaynak yapma, tavlama, haddeleme, sertleştirme,

yüzey sertleştirme vb. endüstriyel işlemler yapılabilmektedir (Davies, 1979).

Rezistanslı ve gazlı fırınlarda ısının büyük bir kısmı çevreye yayılır. İndüksiyon fırınlarında ise enerjinin tamamına yakını yük üzerine aktarılır. Dolayısıyla termal verimliliği yüksektir. Son yıllarda indüksiyon ısıtmanın mutfak uygulamalarında kullanımı gündeme gelmiş ve bu konuda çeşitli araştırmalar

yapılmıştır. (Hirota et al., 1996; Wang et al., 1998; Köroğlu, 2002).

Bu çalışmada IGBT transistörlerin anahtarlama elemanı olarak kullanıldığı, yüksek frekanslı yarım köprü seri rezonans invörtörlü mutfak tipi bir indüksiyon ısıtma sistemi gerçekleştirilmiştir. Sistemin blok diyagramı Şekil 1’de gösterilmektedir. AC giriş tam dalga bir doğrultucu tarafından doğrultularak DC/AC bir invörtör yardımıyla yüksek frekanslı bir işaret dönüştürülür. Bu işaret tencerenin yapısıyla uygun bir şekilde tasarlanan pancake tasarımı indüksiyon bobinini besler. Bobindeki yüksek frekanslı akım bobin üzerindeki metal kaptaki bir gerilim indükler. İndüklenen bu gerilimden dolayı oluşan Eddy akımları malzemenin ısınmasını sağlar (Şekil 1).



Şekil 1. Ev tipi indüksiyon ısıtma sisteminin blok diyagramı

İnvörtörlerde enerji depolama ve aktarma elemanlarının boyut ve ağırlığının azaltılması için, anahtarlama frekansı artırılır. Ancak bunu yapmakla anahtarlama kayıpları ve manyetik parazitler (EMI) artar (Sazak, 1997). Rezonans inverter kullanılarak sıfır akımda tetikleme yapılırsa bu kayıplar ve parazitler en aza indirilmiş olur (Ogiwara et al., 1993; Wong et al., 1997; Sazak ve Jayne, 1999).

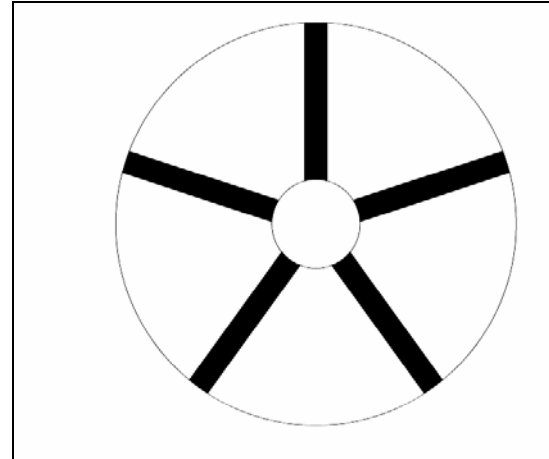
Sunulan sistem yardımıyla indüksiyon ısıtmanın ev tipi uygulamalarda verimli olarak kullanılabilceği gösterilmiştir. Rezonans invörtör yardımıyla anahtar kayıpları azaltılmış buna bağlı olarak manyetik parazitler önlenmiştir. Böylelikle verimli, temiz ve güvenli bir enerji dönüşümü sağlanmıştır.

2. İNDÜKSİYON ISITMA BOBİNİ TASARIMI

Bir indüksiyon ısıtma sisteminin önemli aşamalarından biri bobin tasarımıdır. İndüksiyon ısıtma sistemlerinde kullanılacak bobin tipi, işlenecek parçanın geometrik yapısı, materyalin türü, yapılacak işlem türü vb. parametrelere bağlı olarak değişik şekillerde olabilir. İndüksiyon bobini tencerenin yapısına uyacak şekilde tasarlanmalıdır. Bu amaçla helisel, basket ve pancake bobin gibi değişik şekilli bobinler kullanılabilir. Düz tencere,

tava vb gibi mutfak gereçleri için en uygun bobin tipi pancake bobinlerdir (Chatterjee, 1991).

Simetrik bobinlerle karşılaştırıldığında aynı boyutlar için asimmetrik bobinler daha fazla indüktans sağlar. Kabin altına yerleştirilen ferit çubuklar manyetik alanın tencere ile olan düzeltme faktörünü artırmaktadırlar. Bu tür bobinlere asimmetrik bobin denir. Bu çalışmada beş rotlu bir tasarım yapılmıştır. Şekil 2’de ferit çubukların yerleştirilme geometrisi gösterilmektedir.

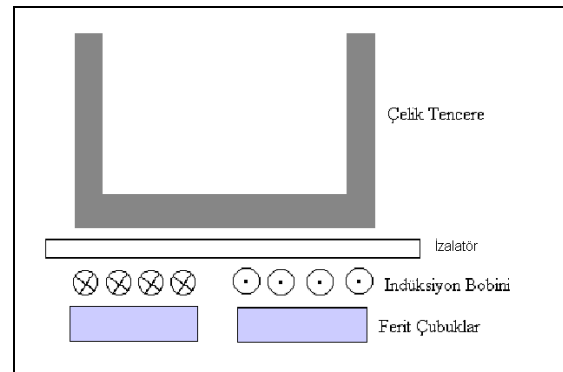


Şekil 2. Ferit çubukların yerleştirilme geometrisi

2. 1. İndüksiyon Bobininin Yüklü Modellenmesi

İndüksiyon ısıtma uygulamalarda invörtörleri verimli bir şekilde tasarlamak için kap ile doğru şekilde yüklenen düz indüktörleri tanımlayan modellere ihtiyaç vardır. Elektromanyetik modelleme değişken geometri, malzeme ve çalışma frekansları sebebiyle 3-boyutlu bir problemdir (Forcest et al., 2000).

Şekil 3’de yüklü bir pancake bobin sistemi görülmektedir. Bu çalışmada sistem için yaklaşık bir eşdeğer devre modeli oluşturulmuştur.



Şekil 3. Yüklü bir indüksiyon bobini

Şekil 4' te verilen basitleştirilmiş eşdeğer devre modelinde R_p bobin direncidir. Çalışma frekansı deri olayı etkisinden dolayı sargıdaki kayıp etkiler fakat çıkış gücüne önemli bir etkisi olmaz. İyi bir tasarımda R_p mümkün olduğunca küçük olmalıdır. R_f çekirdek kaybı rezistansıdır. Ferit malzemeye karşılık düşen eşdeğer devre direncini gösterir. Seçilen malzeme ile bu oldukça büyük yapılabilir. Çıkış gücünü fark edilir bir şekilde etkilemez. Bu tasarım için R_f ihmal edilmiştir. L_p bobinin sızıntı endüktansıdır. İdealde L_p sıfır olmalıdır. Böylece bobin tarafında üretilen alan çelik kaba aktarılır. Herhangi bir tasarımda L_p bobin kap kombinasyonuna bağlıdır. L_p 'yi küçültmek için çelik kabın çapı bobinin dış çapından küçük veya eşit olmalıdır. Ayrıca bobin ve kap arasındaki aralık mümkün olduğunca küçük tutulmalıdır. L_m ortak endüktansı ifade eder. Kuplajlı alandan dolayı oluşur. L_p 'de olduğu gibi iyi bir tasarım için bobin ile çelik kap arasındaki aralık mümkün olduğunca küçük tutulmalı, kullanılan kap çapı bobin çapından küçük ya da eşit olmalıdır. L_m aynı zamanda çelik kabın geçirgenliğine bağlıdır. Yüksek geçirgenlikli malzemeler daha yüksek kuplajlama verecektir. R_s eşdeğer yük direncidir ve modelin en önemli parametrelerinden biridir. Çıkış gücünü etkileyen faktörlerin başında gelir. R_s direnci kaptaki çekirdek kaybını, yani ısıtmayı ifade eder.

Manyetik olmayan bir kapta toplam ısınma Eddy akımlarından dolayı oluşur. Paslanmaz çelik kaplarda histerezis kaybı ihmal edilebilir. Şekil 4'de verilen eşdeğer devrenin empedansı denklem (1) deki;

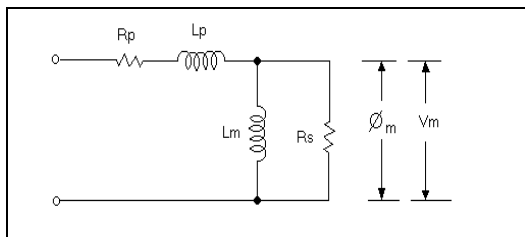
$$Z = R_p + j\omega L_p + \frac{j\omega L_m R_s^2 + \omega^2 L_m^2 R_s}{R_s^2 + \omega^2 L_m^2} \quad (1)$$

gibi olur. Buradan devrenin omik direnci (2)'den, endüktansı ise denklem (3)'den;

$$R_1 = R_p + \frac{\omega^2 L_m^2}{R_s^2 + \omega^2 L_m^2} R_s \quad (2)$$

$$L_1 = \omega L_p + \frac{\omega R_s^2}{R_s^2 + \omega^2 L_m^2} L_m \quad (3)$$

bulunur.



Şekil 4. Basitleştirilmiş eşdeğer devre modeli

Burada bobin kap kombinasyonu için basit bir eşdeğer devre modeli önerilmiştir. Eşdeğer devre parametreleri tek bir frekansta bobin üzerinde yapılan basit ölçümler yoluyla hesaplanmaktadır. Bobine ilişkin endüktans değerleri bir LCR metre ile ölçülmüştür. Ölçüm ve hesaplama sonuçları Tablo 1'de verilmiştir. Görüleceği gibi indüksiyon ısıtma sistemindeki eşdeğer devre endüktansı $L_1 = 28 \mu H$ dir. Temel ölçüm ve hesaplamalardan eşdeğer devre direnci $R_1 = 1.4 \Omega$ olarak bulunmuştur.

Tablo 1. İndüksiyon Isıtma Bobinine Ait Endüktans Değerleri ve Eşdeğer Devre Direnci

Eşdeğer Devre Endüktansı Değerleri				Eşdeğer devre direnci
Yüksüz Bobin		Yüklü Bobin		
Simetrik	Asimetrik	Simetrik	Asimetrik	1.4 Ω
94 μH	135 μH	25 μH	28 μH	

3. YARIM KÖPRÜ SERİ REZONANS İNVERTÖR

İndüksiyon ısıtma sistemlerinde istenilen frekansta AC inverter devreleri yardımıyla elde edilebilmektedir. En yaygın olarak tek anahtarlı, yarım köprü ve tam köprü invürtörler kullanılmaktadır. Tek anahtarlı invürtörler genellikle rezonans elemanlarındaki zorlamalardan dolayı dezavantaja sahiptir. Bu zorlamalar akım ve/veya gerilim zorlamaları şeklindedir. Özel uygulamalara bağlı olarak bu zorlamalar ortadan kaldırılamaz. Bu da indüksiyon ısıtma uygulamalarında bir problem olarak ortaya çıkar (Po' Wolder and Komatsu, 1998). Tek anahtarlı invürtörler de çıkış gücünün kontrol aralığı teorik olarak sınırlıdır. Ayrıca anahtar gerilimi her zaman kaynak gerilimi V_{dc} den daha büyüktür (genellikle V_{dc} 'nin 3 veya 4 katıdır). İdeal köprü invürtörlerde ise çıkış gücü kontrol aralığının teorik bir sınırı yoktur. Anahtar gerilimi kaynak gerilimi V_{dc} ile sınırlıdır (Chatterjee and Ramarayanan, 1993). Literatürlerde de bahsedildiği üzere köprü invürtörler bazı durumlarda daha iyi çalışma olanağı sağlar. Tam köprü invürtör dört anahtarlama elemanından oluşur. Maliyetler göz önüne alındığında yarım köprü invürtörler bünyesinde iki adet anahtar barındırdığı için bu tür çalışmalarda kullanılması daha avantajlıdır.

Yarım köprü seri rezonans invürtör iki anahtardan oluşur. Yük üzerinde değişken gerilim elde edebilmek için her bir yarım periyotta anahtarlardan biri iletime sokulur. Devrede ilk önce S_1 anahtarını iletime sokulur. Bu devrede çıkış frekansı f_0 (anahtarlama frekansı) olduğuna göre, $T = 1/f_0$ periyodunun ilk yarısında S_1 kapalı ve S_2 açık, ikinci yarısında ise S_2 kapalı ve S_1 açık olacaktır.

Dolayısıyla yük üzerinde iki basamaklı gerilim elde edilir. Anahtarlara paralel geri besleme diyotları kullanılmıştır. Bu diyotlar yükün endüktif olduğu durumlarda yükte biriken enerjiyi kaynağa geri verebilmek için kullanılır.

Son yıllarda geliştirilen ve önemli bir anahtar olan IGBT'ler en çok tercih edilen elemanlar arasında gelir. Yüksek akım ve gerilim anahtarlama kapasitesi, küçük gerilim düşümü, yüksek anahtarlama hızı ve ideal kontrol özelliğine sahiptir. Bu nedenlerle sunulan sistemde anahtarlama elemanı olarak IGBT tercih edilmiştir.

Sıfır akım anahtarlama tekniğinin kullanılması, yani anahtarların sıfır akımda iletme ve yalıtıma sokulması anahtarlama kayıplarını önemli ölçüde azaltmıştır. Bu işlem, rezonans frekansının periyodu anahtarlama frekansının t_{on} süresi eşit tutularak yapılmıştır. Böylelikle her t_{on} süresi zarfında akım S_1 anahtarı ve D_1 diyotu üzerinden yarım periyotta osilasyon yapar. Diğer yarım periyotta ise bu işlem S_2 anahtarı ve D_2 diyotunun iletimde olduğu anda gerçekleşir.

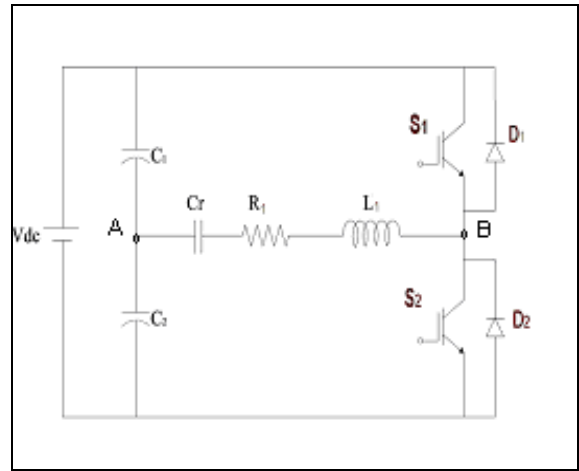
4. DENEYSEL SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu çalışmada yarı iletkenler anahtar sayısının azlığı ve denetim kolaylığı sebebiyle yarım köprü rezonans invörtör devresi kullanılmıştır. Şekil 5'deki yapıda görüldüğü gibi C_1 ve C_2 olmak üzere 250 V, 100 μ F lık iki adet eşdeğer elektrolitik alüminyum kondansatör kullanılmıştır. Bunlar invörtör devresini besleyen gerilim bölücü kondansatörlerdir. Aynı zamanda filtreleme görevi üstlenirler. Yüksek kapasitelerinden dolayı rezonans devresine etkileri yoktur. Yarı iletken anahtar olarak IXGH 38N60U1 IGBT kullanılmıştır. Bu anahtar bünyesinde ters bloklama diyotu da bulundurur. Bu nedenle ayrıca diyot kullanılmamıştır. Emitör kolektör gerilimi $V_{CES} = 600V$, kolektör akımı $I_C = 76 A$ ve kolektör emitör saturasyon gerilimi $V_{CE(sat)} = 1.8 V$ tur. Şekil 5'te görüldüğü gibi devre parçalı iki gerilim kaynağı olarak da düşünülebilir.

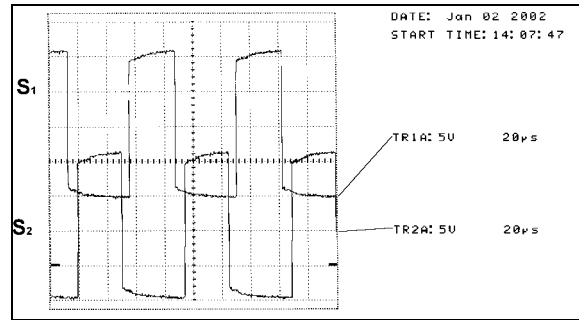
İnvörtör devresinin girişine uygulanan kaynak gerilimi tam doğrultulmuş 90 Voltluk bir DC gerilimdir. Yarım köprü invörtörler bilindiği gibi yarı iletken iki anahtardan oluşur. Şekil 5'deki S_1 ve S_2 anahtarları sırasıyla sürülerek iki yönlü akım geçişi sağlanır.

IGBT anahtarının hızlı bir şekilde yalıtıma girmesi için yalıtıma geçerken negatif bir sinyal

tetiklenmesi önemlidir. Bu nedenle tetikleme sinyalleri Şekil 6'da görüldüğü gibi off durumunda – 5 volt, on durumunda ise +15 volt seviyelerinde çıkış veren EXB841 entegre sürücüsünden alınmıştır. Entegre sürücüler küçük boyut, montaj kolaylığı ve daha az güç harcamalarından dolayı tercih edilirler. Yarım köprü invörtör devrelerinde dikkat edilmesi gereken noktalardan biri de yalıtım problemidir. Kullanılan sürücü içerisinde optokuplör bulunduğu için güç devresi ve kontrol devresi birbirinden yalıtılmıştır. Burada ilk önce S_1 anahtarı 32 μ s iletimde 76 μ s yalıtımdadır. S_1 anahtarı iletimden çıktıktan 6 μ s sonra S_2 anahtarı devreye girer.

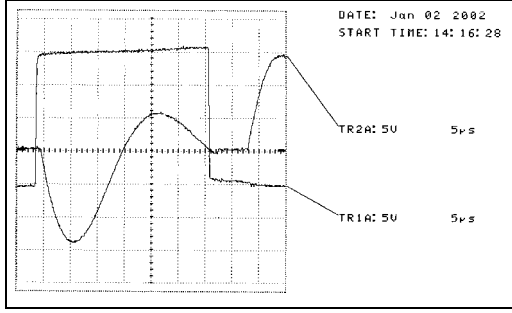


Şekil 5. Yarım köprü seri rezonans devresi



Şekil 6. Sürücü sinyalleri

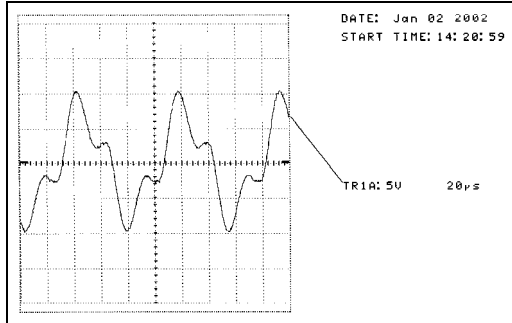
Şekil 7'de görüldüğü gibi, anahtar akımın sıfır olduğu durumda iletme alınmış veya yalıtıma sokulmuştur. Bu işleme yumuşak anahtarlama denilir ve anahtarlama kayıpları bu teknik sayesinde büyük ölçüde azalır. Kare dalga formundaki kısım anahtarlama sinyalini, sinüsoidal formdaki kısım ise direnç üzerindeki gerilimi dolayısı ile yükten geçen akımın dalga şeklini gösterir.



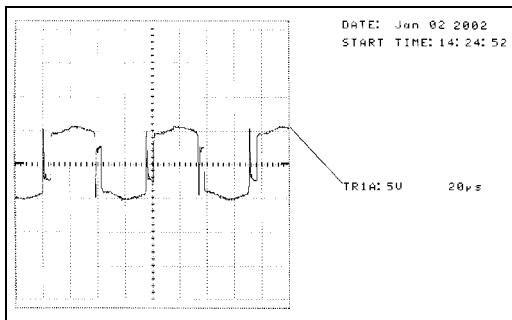
Şekil 7. Anahtar tetikleme sinyali ve içinden geçen akım

Şekilde görüldüğü gibi anahtarların iletim süresi ($t_{on} = 32 \mu s$) yaklaşık olarak rezonans frekansının periyoduna eşittir. Rezonans frekansı 30 KHz, periyodu ise $T = 32 \mu s$ dir. Anahtarlama frekansı 13.15 KHz periyodu ise $T = 76 \mu s$ 'dir. Burada sıfır akım anahtarlama, anahtarların t_{on} süresinin rezonans frekansı periyoduna eşit tutulmasıyla sağlanmıştır.

Şekil 8'de rezonans kondansatörünün üzerindeki gerilimin dalga şekli görülmektedir. Rezonans kolu üzerindeki akımın efektif değeri ise 3.36 Amperdir. Rezonans kondansatörünün geriliminin efektif değeri ise 36.6 Volt olarak ölçülmüştür. Şekil 9'da rezonans elemanları (R, L, C_r) üzerindeki geriliminin dalga şekli görülmektedir. Gerilimin dalga formu kare dalgadır.



Şekil 8. Rezonans kondansatörünün gerilimi (CH1:10 x 5 Volt)



Şekil 9. Rezonans elemanları (A-B) üzerindeki geriliminin dalga şekli (CH1:10 x 5 Volt)

Yarım köprü seri rezonans invörtörlerde rezonans devrenin etkisine bağlı olarak çıkış akımı ve gerilimi sinüsoidal bir yapıya sahiptir. Dolayısı ile rezonans olmayan invörtörlerde oluşan elektromanyetik parazitler bu invörtör sistemi sayesinde önemli ölçüde azaltılmış olacaktır

İndüksiyon ısıtma sisteminde bilindiği gibi ısı direkt kap üzerinde oluşur. Bu nedenle termal verimi yüksek bir sistemdir. Tablo 2'de kabın zamana bağlı ısınma verileri görülmektedir. Zamana bağlı sıcaklık değerlerini ölçmek için çelik tencerenin iç tabanına ısı ölçer bir sensör yapılandırılmıştır. Sıcaklık değerleri bu sensörün bağlı olduğu ölçü aletinden ölçülerek kaydedilmiştir. Tablo 2'deki verilerden yararlanarak sistemden kaba aktarılan güç, denklem 4 yardımıyla hesaplanabilir. Kap paslanmaz çeliktir ve kütlesi $m = 1.2 \text{ kg}$. çelik için $C_p \approx 468 \text{ kg/joule}$ 'dur.

Tablo 2. Yükün zamana bağlı sıcaklık değerleri

Isıtma Süresi (dk)	Sıcaklık (C°)
0	20
5	36
10	42
15	47
20	50
25	52

$$Q = m.C_p \Delta t \quad (4)$$

Tencereye aktarılan enerji 17971.2 Joule bulunur. Bu enerji watt cinsinden ifade edilirse $P_A = 11.98 \text{ Watt}$ bulunur. Denklem 5'den sistemin gücü bulunabilir.

$$P_V = I^2.R \quad (5)$$

Rezonans invörtörün kolu üzerinden akan akımın efektif değeri 3.36Amper olarak ölçülmüştür. Eşdeğer devre direnci ise 1.4Ω dur. Denklem 5'den $P_V = 15.8 \text{ Watt}$ bulunur.

Yukarıdaki sonuçlardan sistemin verimini denklem 6'dan hesaplırsak.

$$\eta = \frac{P_A}{P_V} . 100 \quad (6)$$

= % 75.8 bulunur.

Yukarıdaki eşitliklerde;

- m = Kütle (kg)
- Q = Isı enerjisi (joule)
- P_A = Alınan güç (Watt)
- P_V = Verilen güç (Watt)
- t = Zaman (saniye)
- η = Verim

şekindedir.

Sistemin verimi gerçek veriminden biraz daha düşük çıkabilir. Bunun sebebi ise havaya ve tencerenin kanatçıklarına olan ısı transferi dikkate alınmamıştır. Yine de diğer fırınlarla karşılaştırdığımız zaman oldukça iyi bir verimdir.

5. SONUÇ

Bu çalışmada mutfak uygulamaları için indüksiyon ısıtma sistemi tasarlanmıştır. İndüksiyon ısıtma sisteminde pancake tipi bobinler mutfak uygulamaları için çok uygundur. Bobin altına yerleştirilen ferit malzeme yardımıyla oldukça yüksek kuplajlama faktörü sağlanmıştır.

Gazlı ve rezistanslı fırınlarda verim % 20-40 civarlarında olmaktadır. Bunun sebebi ise ısının direkt yük üzerinde değil de dolaylı olarak aktarılmasıdır. Fakat indüksiyon ısıtma sistemlerin de ise ısı direkt yükün üzerinde oluştuğunda verimli bir ısıtma metodudur. Bu çalışma için verim % 75.8 bulunmuştur.

Sunulan sistem yardımıyla indüksiyon ısıtmanın ev tipi uygulamalarda verimli bir şekilde kullanılabilceği gösterilmiştir. Rezonans invertör ve sıfır akım anahtarlama tekniği sayesinde anahtar kayıpları azaltılmış buna bağlı olarak elektromanyetik parazitler (EMI) önlenmiştir. Bu sistem; verimli, temiz, güvenli, ısı kontrolün kolay, hassas ve ısıtma zamanının kısa olması gibi kullanım avantajlarına sahiptir.

6. KAYNAKLAR

Chatterjee, K. 1991. Design of Induction Heaters, M.Sc.(Engg.) Thesis, Indian Institute of Science, Bangalore, November.

Chatterjee, K. and Ramarayanan, V. 1993. A Comparative Study of Inverter Circuits for Heating, Intern. Power Engg. Confr.

Davies, J. 1979. The Induction Heating Handbooks, McGraw-Hill Book Company (UK).

Forcest, F. Laboure, E., Costa, F., Gaspard, J. Y. 2000. Principle of a Multi-Load/Single Converter System for Low Power Induction Heating, IEEE Transactions On Power Electronics, 15 (2), 223-230.

Heaviside, O. 1884. The Induction on Current in Cores the Electricians, May. (3), 583-587.

Hirota, I., Omori, H. and Nakokas, M. 1996. Practical Evaluations of a ZVS-PFM Quasi-Resonant High-Frequency Inverter Using a New Generation IGBT for an Induction-Heated Cooking Appliance, Int. J. Electronics, Volume 80, No 2, Page 329-340.

Köroğlu, S. 2002. Bir Fazlı Seri Rezonans İntertörlü İndüksiyon Isıtma Sistemi Tasarımı, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

Ogiwara, H., Michihira, M. and Nakaoka, M. 1993. Zero Current Soft Switched High Frequency Inverter For Induction Heating Using Bipolar Mode Normally off SITs, UPEC'93, 581-584.

Po¹, W. and Komatsu W. 1998. A Simple and Reliable Class E Inverter for Induction Heating Applications, Int. J. Electronics, Vol: 84, No:2, 157-165.

Sazak, B. S. 1997. A New Unity Power Factor Quasi-Resonant Induction Heater, Ph.D. Thesis, University of Glamorgan, U.K.

Sazak, B. S. ve Jayne, M. G. 1999. Sıfır Akım Anahtarlama Tekniğinin Buck Konvertöre Uygulanması, YTÜD 1999/1 Araştırma Makalesi, 33-42.

Wang, S., Izaki, K., Hirota, I., Yamashita, H., Omori, H., and Nakaoka, M. 1998. Induction-Heated Cooking Appliance Using Quasi-Resonant ZVS-PWM Inverter With Power Factor Correction, IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol 34, No 4, July/August

Wong, L. K., Leung, F. H. and Tam, P. K. S. 1997. A Simple Large Signal Nonlinear Modeling Approach For Fast Simulation Of Zero Current Switching Quasi Resonant Converters, IEEE Transactions On Power Electronics, 12 (3), 437-442.