

E SINIFI İNVERTERLİ MUTFAK TİPİ BİR İNDÜKSİYON ISITMA UYGULAMASI

Selim ÖNCÜ*, Bekir Sami SAZAK

Pamukkale Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Elektrik Eğitimi Bölümü, Kınıklı Kampüsü, DENİZLİ

Geliş/Received: 09.10.2003 Kabul/Accepted: 14.04.2004

AN INDUCTION HEATING APPLICATION FOR HOME COOKING WITH CLASS E INVERTER

ABSTRACT

Induction heating, which has been used in melting, heating and surface hardening of metals, is also widely used in home cooking applications nowadays. Induction heaters are more advantageous than the others because they are clean, fast, highly efficient and they don't increase temperature of working environment. An induction heating system basically consists of a coil and a DC/AC inverter. This inverter system transforms the DC into AC for the induction heater coil. In this study a single phase medium frequency home type induction heating system which has high efficiency, low cost and small size is made. Because of its simplicity and economy class E inverter is used as DC/AC inverter. PSpice simulation of the presented system is done and a working prototype of low power of circuit is made in laboratory.

Keywords: Rezonant inverter, Induction heating, Zero voltage switching.

ÖZET

İndüksiyon ısıtma metallerin ısıtılması, eritilmesi ve yüzey sertleştirme işlemlerinin yanı sıra günümüzde mutfak uygulamalarında da yaygın olarak kullanılmaktadır. İndüksiyon ısıtıcıların bilinen ısıtıcılara göre temiz, hızlı, yüksek verimli olması ve çalıştığı ortam ısını yükseltmemesi gibi önemli avantajları vardır. Temel olarak bir indüksiyon ısıtma sistemi, bir bobin ve bir DC/AC güç dönüştürücü içerir. Dönüştürücü sistemi DC'yi ısıtma bobininde kullanılmak üzere AC'ye çevirir. Bu çalışmada fiziki boyutlar ve ağırlığı arttırmadan düşük maliyetli ve yüksek verimli bir fazlı orta frekanslı ev tipi bir indüksiyon ısıtma sistemi gerçekleştirilmiştir. DC/AC dönüştürücü olarak ekonomik ve basit olması nedeniyle E sınıfı inverter kullanılmıştır. Sunulan sistemin PSpice simülasyonu yapılmış ve devrenin laboratuarda küçük güçlü çalışan bir prototipi gerçekleştirilmiştir.

Anhtar Sözcükler: Rezonans inverter, indüksiyon ısıtma, sıfır gerilim anahtarlama.

1. GİRİŞ

Elektrik enerjisinin ısı kaynağı olarak kullanılmasının yöntemlerinden birisi olan indüksiyon yoluyla ısıtma, kısaca elektromanyetik indüksiyon yoluyla ferromanyetik parçaya güç aktarılması ve bu gücün ısı şeklinde açığa çıkması olarak açıklanabilir. Isıtma bobini tarafından üretilen değişken manyetik alan, ferromanyetik materyal içerisine nüfuz ederek üzerinde akımlar indükler; bunun sonucunda oluşan kayıplar ısı olarak ortaya çıkar. İndüklenen akımların dalma derinliği uygulanan frekansa bağlıdır [1]. İndüksiyon ısıtma işleminin bazı avantajları; kısa ısıtma süresi, iş parçası sıcaklığının tam kontrolü, iyi çalışma şartları, küçük alanlarda uygulanabilir olması ve

* Sorumlu Yazar/Corresponding Autor: e-mail: soncu@pamukkale.edu.tr; tel: (0258) 213 4030 / 1538

E Sınıfı İnverterli Mutfak Tipi Bir İndüksiyon...

yüksek verim olarak sıralanabilir [2]. İndüksiyon ile ısıtma yöntemi mutfak tipi ısıtma uygulamaları içinde oldukça ekonomik bir çözümdür. Rezonans anahtarlama devrelerinde anahtarlama, akım ve/veya gerilim sıfır olduğunda yapılarak anahtarlama kayıpları azaltılır [3]. Endüktif bir yükün yüksek frekanslarda anahtarlama, her zaman yüksek anahtarlama kayıpları ve stresleri meydana getirir [4]. Anahtarlama kayıplarının azalması, güç kontrolünün kolaylığı, harmonik bileşenlerin süzülmesi gibi üstünlükleri, rezonans inverterleri mutfak tipi indüksiyon ısıtma uygulamaları için cazip hale getirmiştir. Bu tip uygulamalarda kullanılan inverter çeşitlerinden bazıları köprü tipi inverter, gerilim kenetlemeli rezonans inverter, tek anahtarlı rezonans inverter olarak sıralanabilir [5]. Rezonans inverterler, sıfır akım veya sıfır gerilim anahtarlama teknikleri kullanılarak yüksek frekanslarda anahtarlana bilmektedir.

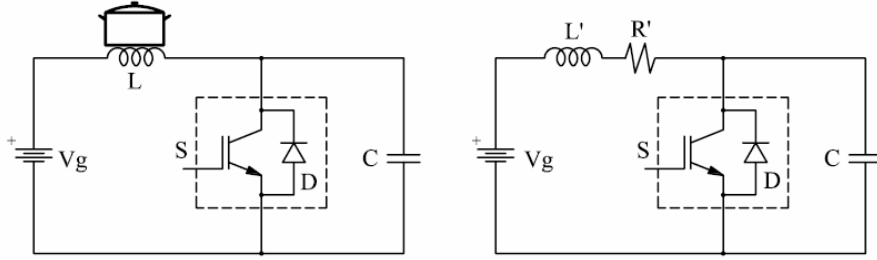
Bu çalışmada tek anahtarlı inverter çeşitlerinden E sınıfı inverter kullanılmıştır. Bu inverterde anahtar uçlarındaki gerilimin ve eğiminin anahtar iletime geçtiğinde sıfır olması sağlanarak sıfır gerilim anahtarlama rezonans inverter oluşturulmuş ve ısıtma sisteminin anahtarlama kayıpları azaltılmaya çalışılmıştır. Buna ek olarak sistemdeki elektronik anahtar ve sürücü devre sayısı azaldığı için maliyet düşmüştür.

2. E SINIFI İNVERTER

DC/AC güç dönüştürücü olarak kullanılan E sınıfı inverter devresi ve eşdeğeri Şekil.1' de görülmektedir. Bir adet çift yönlü elektronik anahtara sahip olan devrede, L' indüksiyon bobinin ve yükün eşdeğer endüktansını, R' bobinin ve yük parçasının eşdeğer direncini, C rezonans kondansatörünü göstermektedir. Devrenin rezonans frekansı:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L'C}} \quad (1)$$

eşitliği ile bulunabilir.

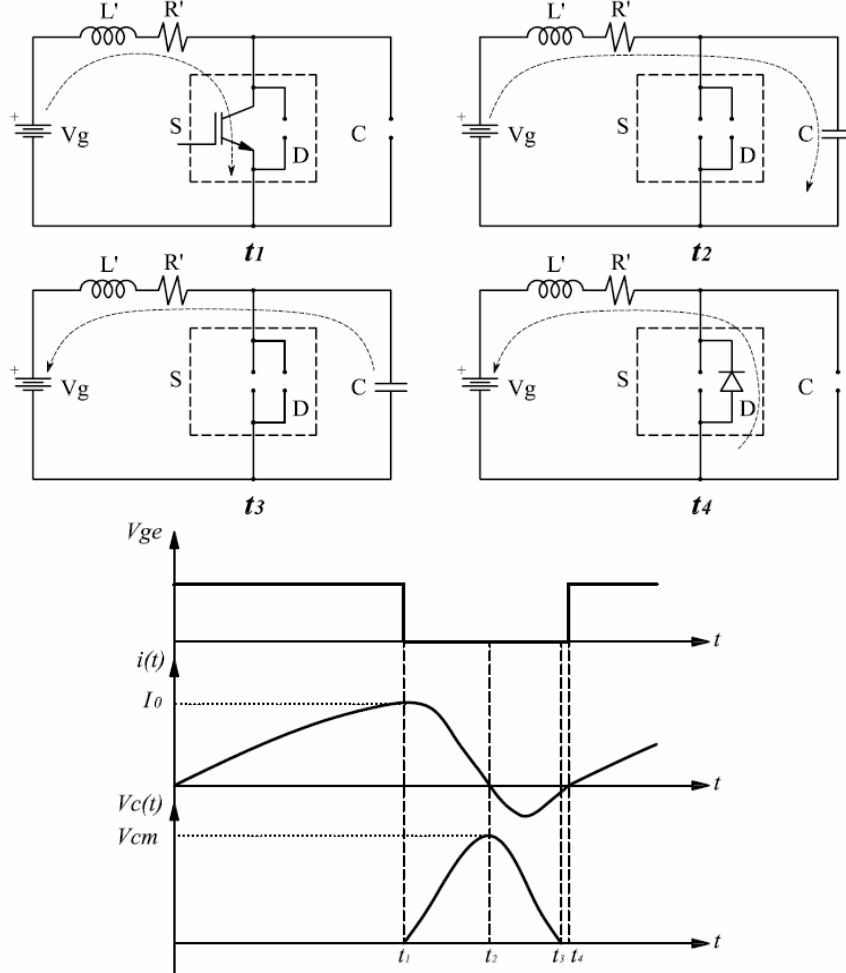


Şekil 1. a) İndüksiyon bobini ve yük ile E sınıfı inverter b) Yük direnci ve endüktansının primer devreye yansıtılmış haliyle eşdeğer devre

Şekil.1'deki elektronik anahtar iletime geçtiğinde giriş gerilimi L'-R' seri devresine uygulanır ve iletim süresi boyunca bobin kaynaktan enerji depolar (Şekil.2-t₁). İletim periyodunun sonunda bobin I₀ akımını depo eder. Anahtar yalıtıma geçtiği anda kondansatör gerilimi tepe değerine ulaşır (Şekil.2- t₂). L' ve C elemanları devredeki eşdeğer direnç nedeniyle sönümlü osilasyon meydana getirirler (Şekil.2- t₃). Kondansatör gerilimi tepe değerinden sıfıra kadar düşer. Osilasyonuna negatif değerde devam edeceği esnada diyot doğru polarize olarak gerilimin negatif değerinde yükselmesini engeller (Şekil.2- t₄). Bobin akımı diyot üzerinden osilasyonuna devam ederek enerjisini kaynağa aktarır. Devrenin sönümlü osilasyon frekansı rezonans frekansına ve devredeki yüke bağlıdır:

$$\omega_d = \sqrt{\frac{1}{L'C} - \left(\frac{R'}{2L'}\right)^2} \quad (2)$$

Kondansatör tamamen deşarj olduğunda anahtar tekrar iletme geçerek anahtarın sıfır gerilim şartları altında yalıtıma gitmesi sağlanmış olur. Anahtarın iletim süresi kontrol edilerek çıkış gücü değiştirilebilir.



Şekil 2. E sınıfı inverter çalışma periyotları, bobin akımı, kondansatör gerilimi

Devre rezonans şartlarında iken kondansatör geriliminin ve bobin akımının tepe değeri:

$$V_{Cm} = V_g + \left(\sqrt{I_0^2 (L'C) + V_g^2} \right) e^{\left(\frac{-\pi - \theta}{2Q_0} \right)} \quad (3)$$

E Sınıfı İnverterli Mutfak Tipi Bir İndüksiyon...

$$I_m = \frac{\sqrt{(I_0^2 (L'/C) + V_g^2)}}{\sqrt{(L'/C)}} e^{(-\frac{\pi-\theta}{2Q_0})} \quad (4)$$

formülleri ile bulunabilir. Burada θ faz açısını, Q_0 devrenin kalite faktörünü gösterir ve (5), (6) eşitlikleri kullanılarak hesaplanabilirler [6].

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{I_0 \sqrt{L'/C}}{V_g} \right) \quad (5)$$

$$Q_0 = \frac{(\omega_0 L')}{R'} \quad (6)$$

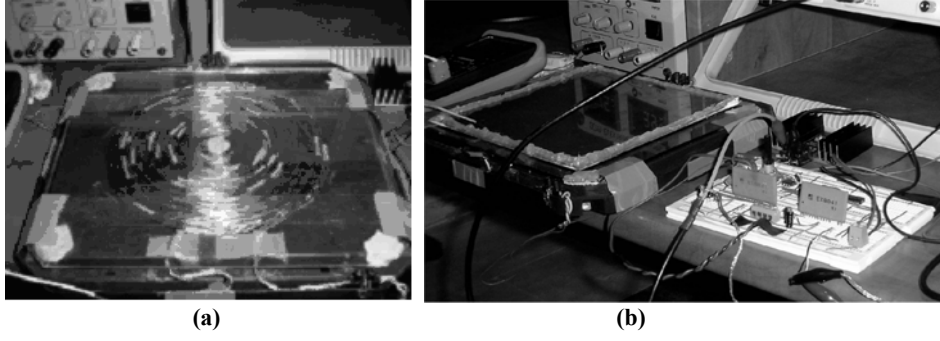
3. DENEYSEL ÇALIŞMA

İndüksiyon ısıtma sisteminde ısıtma bobini dizayn edilirken dikkate alınması gereken iki kriter vardır. Bobin ve yükün empedansı, kaynaktan enerjinin verimli akışına müsaade edecek şekilde olmalıdır; ısının istenilen alanlarda yoğunlaştırılabilmesi için bobine uygun şekil verilmelidir [7]. Birçok kabın düz taban şekline sahip olduğu mutfak uygulamalarında yassı tabanlı bobin kullanımı daha uygun olmaktadır. İndüksiyon bobininin ısıtılacak kabın şekline uygun olabilmesi için yaptığımız çalışmada yassı tabanlı bobin (spiral bobin) kullanılmıştır. Bobinin altına yüksek manyetik akı geçirgenliğine sahip ferit nüve yerleştirilerek üretilen manyetik alanın etkisi artırılmıştır. İş parçasının direncinin devredeki toplam dirence oranı bobin verimi olarak adlandırılır. Bobin direnci azaltılarak verim yükseltilebilir. İndüksiyon ısıtmayı oluşturan temel faktörlerden biranesi de deri etkisidir. Yapılan çalışmada 20-30kHz frekansta akımın dalma derinliğinin bakır için 0.5-0.6mm olduğu hesaplanmıştır. Bunun anlamı, toplam akımın %63.2' si bu kalınlığın içerisinde geçmektedir.

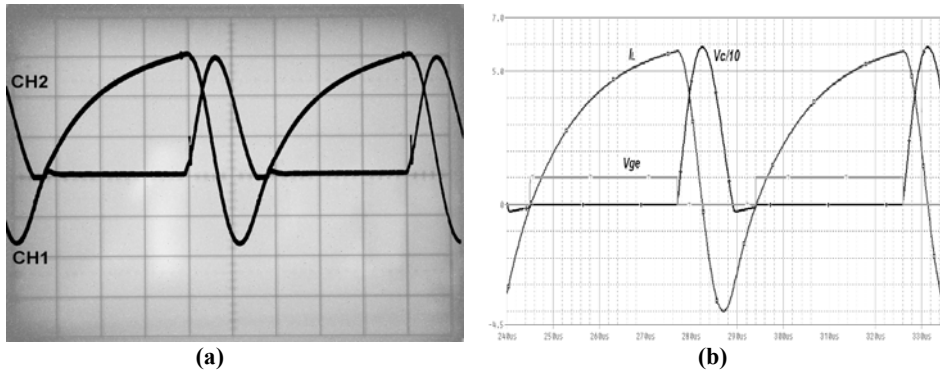
Bobin yapımında, çalışma frekansı olarak belirlediğimiz 20kHz' deki deri etkisini de hesaba katarak bobin veriminin artırılabilmesi ve akım taşıma kapasitesinin yükseltilebilmesi için 0.12mm çapında bakır iletkenlerden oluşturulmuş litz teli kullanılmıştır. Bobinin üzerine 200x200x1.4mm ebatlarında CrNi yük modeli konularak ısıtma deneyleri yapılmıştır. Yüklü ısıtma bobininin eşdeğer direnci 2.2 Ω , eşdeğer endüktansı 30 μ H olarak tespit edilmiş, rezonans kondansatörü 0.33 μ F seçilmiştir. Güç dönüşüm devrelerinde bobin ve kondansatör, enerji depolama/transferi ve istenmeyen işaretlerin süzülmesinde önemli rol üstlenmektedirler. DC terminal ile ısıtma bobini arasında güç dönüşümü seri rezonans inverter ile gerçekleştirilerek anahtarlama kayıpları azaltılmaya çalışılmıştır. İnverter devresinde elektronik anahtar olarak V_{ce}=600V, I_c=76A özelliklerine sahip IXGH38N60U1 IGBT ve EXB841 sürücü entegresi kullanılmıştır. Laboratuvarımızda yapılan indüksiyon bobini ile inverter devre ve yüklü indüksiyon bobininden oluşmuş deney düzeneği Şekil.3' de görüldüğü gibidir.

Şekil.4-a, 20kHz çalışma frekansında bobin akımı ve kondansatör geriliminin dalga şekillerini, Şekil.4-b aynı çalışma frekansında simülasyon sonuçlarını göstermektedir. Elektronik anahtar uçlarındaki gerilimin iletim ve yalıtıma geçme anlarında sıfıra eşit olması neticesinde sıfır gerilim anahtarlama gerçekleştirilmiştir. Böylelikle anahtarlama kayıpları azaltılmıştır. Ancak elektronik anahtar uçlarındaki gerilimin kaynak geriliminin 4 katına çıkıyor olması anahtarın yüksek gerilim stresi altında çalışmasına sebep olmaktadır.

Sıfır gerilim anahtarlama uygulandığından, anahtarların yalıtımda kalma süresi rezonans elemanlarına bağlıdır. Bu nedenle sabit kaynak geriliminde anahtarın yalıtımda kalma süresi sabit tutularak iletim süresinin değiştirilmesi ile çıkış gücü değiştirilebilmektedir.



Şekil 3. a) İndüksiyon bobini b) İnverter devre ve yüklü indüksiyon bobini



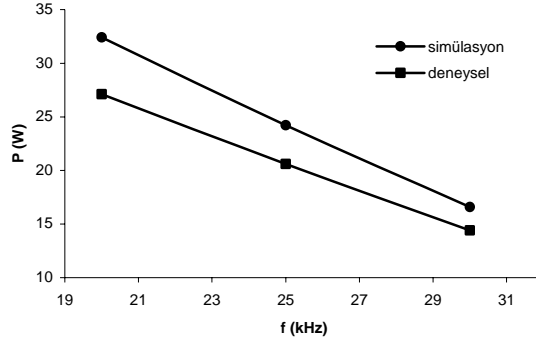
Şekil 4. Bobin akımı (I_L) ve kondansatör gerilimi (V_c) a) Deneysel sonuçları CH1: 2A/10 μ s, CH2: 20V/10 μ s b) Simülasyon sonuçları

Şekil.5' de anahtar frekansına bağlı olarak çıkış gücü değişimi görülmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi anahtarlama frekansının artması anahtarın iletimde kalma süresini düşürdüğünden çıkış gücünü azaltmaktadır. 20-30kHz frekans aralığında yapılan ölçümlerde çıkış gücünün 27.1-14.4W değerlerini aldığı tespit edilmiştir. İnverter devre bir fazlı tam dalga doğrultulmuş gerilim ile beslendiğinde, aynı frekans aralığında hat akımındaki toplam harmonik bozulma (THD) %60.7-%86.2 arasında değişmektedir. Çıkış gücü arttıkça THD azalmaktadır; fakat doğrultma devresindeki alçak frekans filtre kondansatörü THD' yi arttırmaktadır.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada bir fazlı ev tipi bir indüksiyon ısıtma sistemi için basit ve kolay elde edilebilir bir inverter dizayn edilmiştir. Alınan deneysel sonuçlarda E sınıfı inverterin dalga şekilleri incelendiğinde, sıfır gerilim anahtarlama ile iletim ve yalıtım esnasında oluşabilecek anahtarlama kayıpları en aza indirildiği görülmektedir. İndüksiyon ısıtma için gerekli olan zamanla değişen bobin akımı ve dolayısıyla zamanla değişen manyetik akı E sınıfı inverter ile oluşturulmuştur. İnverterde uygun rezonans kondansatörünün seçilmesi ile daha yüksek frekanslarda çalışma olanağı da sağlanabilir; iletim süresinin değiştirilmesi ile ısıtılacak parçaya aktarılan güç miktarı kontrol edilebilmektedir.

E Sınıfı İnverterli Mutfak Tipi Bir İndüksiyon...



Şekil 5. Çıkış gücünün anahtarlama frekansı ile değişimi

KAYNAKLAR

- [1] Espi J. M., Dede E. J., "Design Consideration for Three Element L-LC Resonant Inverters for Induction Heating", Int. J. Electronics, 86, 10, 1205-1216, 1999.
- [2] Sazak B. S., "Design of a 500W Resonant Induction Heater", Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 5, 1, 871-878, 1999.
- [3] Hart D. W., "Introduction to Power Electronics", 1 Cilt, 1.Baskı, Prentice Hall, 1997, 338-339.
- [4] Liu K. H., Oruganti R., Lee F. C., "Resonant Switches-Topologies and Characteristics", IEEE Power Electronics Specialists Conference, 0275-9306, 85, 106-116, 1985.
- [5] Chatterjee K., Ramanarayanan V., "A Comparative Study of Inverter Circuits for Induction Heating", International Power Engineering Conference, Singapore, Mart, 537-547, 1993.
- [6] Po W., Komatsu W., "A Simple and Reliable Class E Inverter for Induction Heating Applications", Int. J. Electronics, 84, 2, 157-165, 1998.
- [7] Egan L. R., Furlani E. P., "A Computer Simulation of Induction Heating System", IEEE Transactions on Magnetics, 27, 5, 4343-4354, 1991.