

İNDÜKSİYON OCAKLARININ GÜÇ KAYNAKLARINDA KULLANILAN EVİRİCİLERİN PLC İLE DENETİMİNİN TASARIMI VE GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

Halil Murat ÜNVER

Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü
Mühendislik Fakültesi
Kırıkkale Üniversitesi, 71450, Yahşıhan, Kırıkkale
e-posta: unver@kku.edu.tr

Anahtar sözcükler: Güç Elektroniği, Eviriciler, İndüksiyon ocaklar, PLC

ÖZET

Bu bildiride, indüksiyon ocaklarında kullanılan IGBT yarı iletkenli AC/DC/AC dönüştürücülerin özellikle DC/AC dönüşüm kısmının kumanda ve kontrolünde PLC kullanımı önerilmiştir. PI kontrolör tarafından elde edilen kararlılık noktasından sapma miktarı doğrultusundaki denetim işaretleri PLC'ye iletilmektedir. PLC, rezonans frekansı ve çıkış gücünün kararlılık noktasına bağlı olarak köprü evirici tetikleme darbelerinin, frekans ve doluluk oranı (duty cycle) denetimini gerçekleştirilmektedir.

Önerilen yaklaşım modüler bir yapı oluşturduğundan güç elektroniği uygulamalarını hem ekonomik hem de pratik hale getirmektedir. Ayrıca, üretim bandında kullanılan güç ünitelerinin otomasyon ağına bağlanması imkanı sağlamıştır. Önceleri ancak tasarımlarının elverdiği ölçüde otomasyona katılımı sağlanan güç ünitelerinde, modern kontrol yöntemlerinin uygulamaları da özel tasarımlara gerek kalmaksızın gerçekleştirilebilecektir.

1. GİRİŞ

İndüksiyon ocakları ürün kalitesinin yüksek olması açısından, teknolojik düzeyi yüksek ülkeler tarafından yıllardır kullanılmaktadır. Ülkemizde Avrupa birliği ile ticaret arttıkça, bu ocaklara ilişkin talep de artmaktadır.

Özellikle eviriciler üzerinde yapılan çeşitli çalışmalarda çeşitli kontrol teknikleri üzerinde çalışılmıştır. Bu tip ocaklarda kullanılan eviriciler üzerinde phase locked loop (PLL) yapıları ile rezonans sağlamak üzere yaklaşımlar geliştirilmiştir [1-6]. Ancak, oluşturulan sistemler kendi başlarına kararlı olarak çalışabilmekte fakat diğer sistemlerle uyum sağlayamamaktadır. Bu durum, ocak önünde yığılma, ocak sonrasında ısınmış malzemenin beklemesi veya yetiştirmemesi gibi sorunlar oluşturmaktadır. Ayrıca bu sistemlere özgün denetim ve kontrol devrelerinden ötürü bulanık mantık, adaptif kontrol ve yapay zeka

gibi günümüz modern kontrol teknikleri uygulanamamaktadır.

Yüksek akım ve gerilim seviyelerine ulaşmış bulunan son kuşak IGBT yarı iletkenler motor sürücü düzeneklerinde kolaylıkla kullanılmaktadır. Sürücüler ve kendi yapılarının modül halinde olması tasarım ve kullanım açısından bir çok kolaylığı da beraberinde getirmektedir.

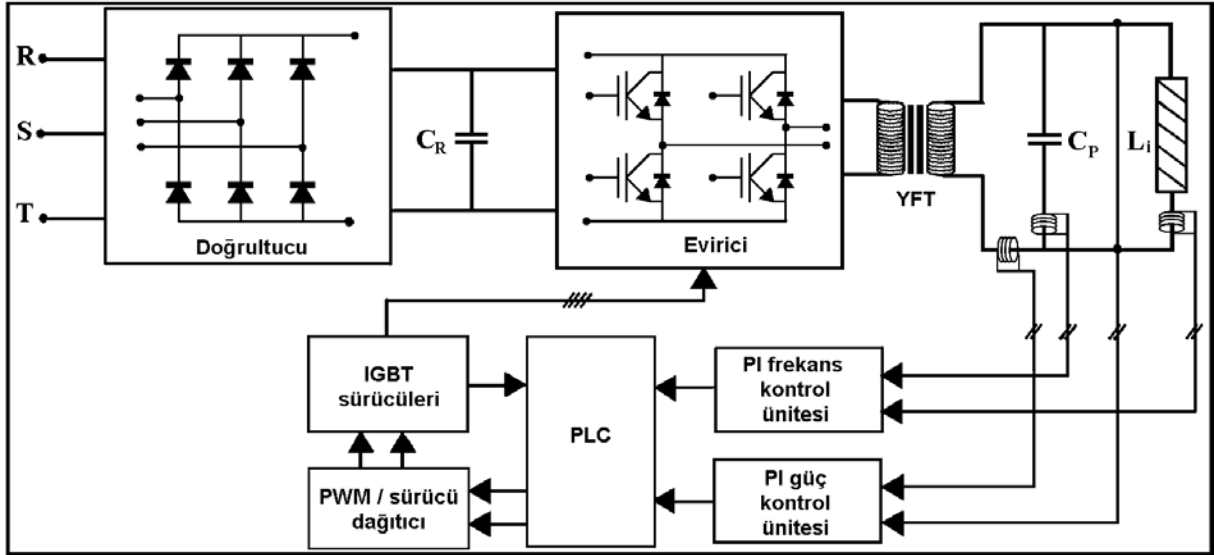
2.SİSTEM YAPILANMASI

Önerilen sisteme ilişkin blok diyagram Şekil 1'de verilmiştir.

Sistemin doğrultucu kısmında Semikron firmasına ait SKKD 100 rumuzlu diyot modülleri, evirici kısmında ise yine Semikron firmasının 200 A'lık SKM 200 GB 123 rumuzlu IGBT modülleri kullanılmıştır. IGBT sürücü devresi için ise yine Semikron firmasının SKHI 23/12 sürücüsü kullanılmıştır. Kısa devre koruma ünitesi bulunan bu sürücü ile IGBT'leri 0 – 10.000 Hz aralığında istenen bir frekansta sürmek mümkün olmaktadır

PLC seçiminde ise maliyet/fayda ölçütünde en uygun sonuç Siemens'in S7-200/ CPU 214 modelinde alınmıştır. 14 giriş/10 çıkışlı bu PLC'de PWM ve PTO jeneratörleri bulunmaktadır. Bu jeneratörler Q0.1 ve Q0.2 çıkışlarına yönlendirilebilmektedir. Ayrıca indüksiyon ocaklarındaki iş alma-çıkarma, sıcaklık, basınç, konum kontrolü gibi sistemin hareketi ve korunmasına ilişkin görevleri yerine getirebilecek kapasiteye sahiptir. Ayrıca aşırı akım, aşırı gerilim, kısa devre koruma gibi elektriksel koruma tepkilerine cevap verecek şekilde düzenlemeler yapılmıştır.

Yüksek Frekans Transformatörü (YFT), $N_1/N_2=10/25$ sarım oranına sahip olup, akım, gerilim ve güç anma değerleri sırasıyla $I_1/I_2=111/42$, $V_1/V_2=500/250$ ve 55 kVA olarak tasarlanmış ve üretilmiştir. Kullanılan sac, 0.1mm kalınlığında 35.000 Gauss magnetik geçirgenliğe sahiptir.



Şekil-1. Sistemin blok diyagramı

C_p kondansatörü, 3 ve 7 μF 'lık terminaleri bulunan toplam 42 μF elde edilebilen, indüksiyon ocakları için özel olarak üretilmiş olup su soğutmalıdır.

Isıtıcı indüktör, 10 mm çapında elektrolitik bakırdan üretilmiştir. 18 sarımdan oluşmuştur ve indüktans değeri 3.47 μH 'dir. Dengeleme indüktörü ile birlikte kullanılmaktadır.

3. PLC PROGRAMI

Yazılan program iki temel bileşenden oluşmaktadır. Birincisi evirici için gerekli darbe dizisinin üretilmesi, ikincisi ise indüksiyon ocağına ilişkin kontrol ve kumanda işlemlerinin gerçekleştirilmesidir.

Seçilen PLC'de, I0.0 ve I0.1 girişleri interrupt girişi olarak kullanılabilecek şekilde üretilmiştir. Bu girişlerin durumlarına bağlı olarak M bellek bölgesinde 4 bitlik bölge tanımlaması yapılmıştır. Bu tanımlama ile PWM darbe çıkışının periyot yükseltme ve alçaltma emirleri ile doluluk oranı yükseltme ve alçaltma emirlerinin PLC'ye aktarılması amaçlanmıştır. PLC'de sadece iki interrupt girişi olması nedeniyle, doluluk oranı yada periyot'tan hangisi üzerinde işlem yapılacağını belirtmek üzere ayrıca I0.3 girişi kullanılmıştır. I0.3'e giriş sağlayan elektronik anahtar yardımıyla PWM jeneratörünün periyot ve doluluk oranı ayarı seçimi yapılmaktadır. Tasarlanan elektronik devre, önceliği rezonans frekans ayarına tanımak üzere PI kontrol ünitelerinin ürettiği işaretlere bağlı olarak I0.3'e giriş uygulayan elektronik anahtarının konumunu belirlemektedir.

Program, PI kontrol ünitelerinin göndermiş olduğu geri besleme işaretlerine bağlı olarak doğru periyot ve doluluk oranını otomatik olarak belirleyebilmekte, bununla birlikte manuel çalışmaya da imkan vermektedir. Ayrıca, basit uyarlamalarla indüksiyon ocaklarındaki konum, basınç, sıcaklık kontrolü, aşırı

akım, aşırı gerilim, kısa devre koruma ve sistem açma-kapatma işlerini hatasız gerçekleştirmektedir.

Şekil.2'de PLC programına ait algoritma verilmiştir. Program, yapısal programlama tekniğine uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Ana blok üzerinde yapılan tanımlamalarla ve alt programlar ile interrupt modüllerine geçiş sağlanmıştır.

4. DENEYSEL SONUÇLAR

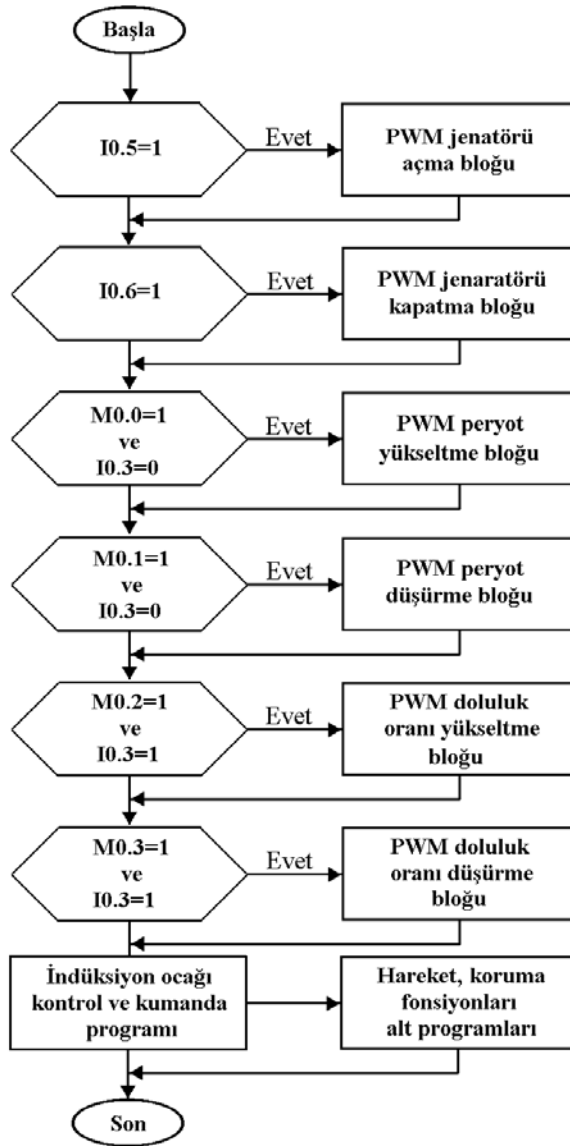
4.1. GÜÇ ANALİZİ

Boru malzeme üzerinde yapılan hesaplarda görülmüştür ki; endüktansın, malzeme soğuk haldeki değeri 67.8 μH iken malzeme ısıdıktan sonraki değeri 63.17 μH 'ye kadar düşmekte R direnci ise 0.02 Ω 'dan 72 Ω 'a kadar çıkmaktadır. 3 kHz civarında kalabilmek için 28.82 μF güç kondansatörü bağlanmıştır. Bu halde başlangıç rezonans frekansı;

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L.C}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{67,8 \cdot 10^{-6} \cdot 28,82 \cdot 10^{-6}}} = 3600 \text{ Hz} \quad (1)$$

olarak elde edilmektedir (Malzeme tam ısındığında ise rezonans frekansı 3730Hz olmaktadır).

Şekil 3.a.'da denklem 1'den edilen frekansta sistemin güç ve frekans kontrolü yapılmadığı haldeki ikincil yana ilişkin gerilim-akım eğrileri görülmektedir. Gerilim eğrisindeki içbükey kıvrımdan sonraki yükselme her ne kadar güç miktarının artması doğrultusunda bir kanı uyandırır da Şekil 3.b'de görüleceği üzere akım ve gerilim arasında faz farkı 60°'ye kadar çıkmış ve indüktif çalışma bölgesine girilmiştir. Bu bölgede çekilen aktif güç çok az olduğundan normalde 25 sn'de 1250 °C'ye oturması gereken malzeme sıcaklığı 160 sn'de ancak 900°C'ye kadar çıkabilmiştir.



Şekil-2. PLC programının algoritması

Boru kesitli malzeme, kontrol ünitesi çalıştırılarak, tekrar ısıtılmıştır. Şekil 4.a ve Şekil 4.b'de şebeke bağlantısı üzerindeki akım ve gerilim değişimleri görülmektedir. Sisteme ilişkin $\cos \phi = 0.99$ 'dur. Çelik boru tavında aktif güç;

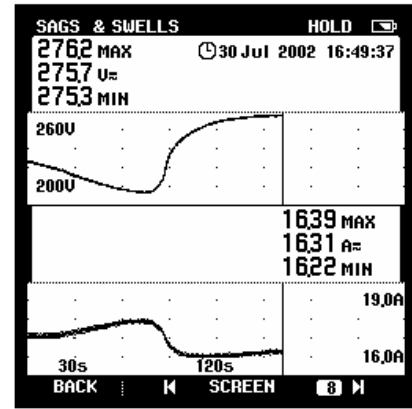
$$P_{\phi} = U.I.\cos \phi = 400.4 \times 55.5 \times 0.99 = 21999.9 \approx 22 \text{ Kw} \quad (2)$$

olarak elde edilmiştir. Şekil.3.c görüldüğü üzere akım ve gerilimlerin amaçlandığı gibi kabul edilebilir bir aralıkta ($\pm 3\%$) değiştiği görülmüştür

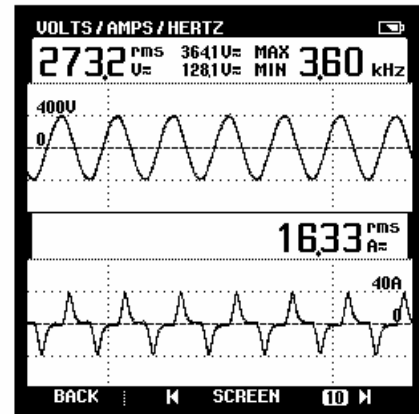
4.2.FREKANS ANALİZİ

Frekans analizi için YFT'nin birincil tarafının ve ikincil tarafının görüntüleri Şekil 4.a, Şekil 4.b'de verilmiştir.

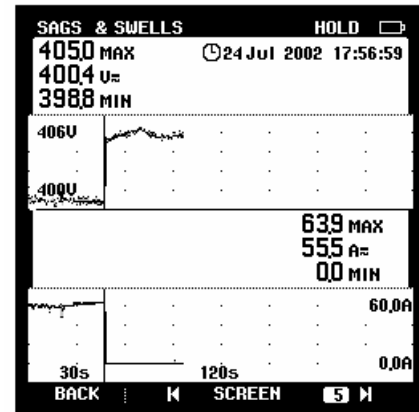
Şekil 4.a'da verilen birincil taraftaki güç görüntüsünde



(a)



(b)



(c)

Şekil-3. Kontrolsüz çalışma durumunda ikincil tarafın V-I (a) etkin değer değişimi (b) dalga şekilleri (c) kontrollü çalışma durumunda ikinci V-I etkin değer değişimi

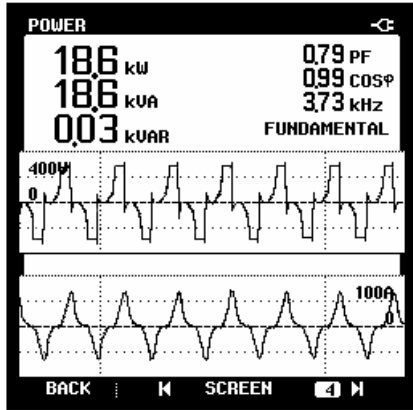
gücün 18.6 kw, $\cos \phi = 0.99$ olduğu görülmektedir. Düşey eksenler karşılaştırıldığında gerilim ve akım eğrileri arasında faz farkı olmadığı görülmektedir. Sistemin anlık rezonans frekansı 3.73KHz'dir.

Şekil 4.b'de verilen 18.6 kw için, ikincil tarafın gerilim/akım/frekans görüntüsünde yine 3.73 KHZ'de

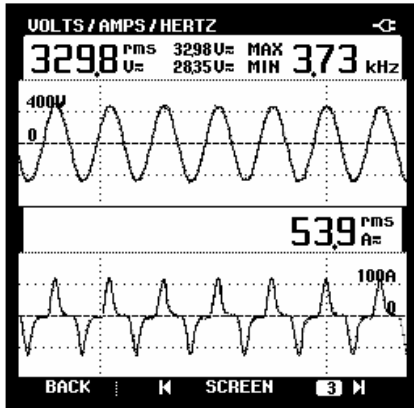
~330 V ve ~54A akım okunmaktadır. Düşey eksenler incelendiğinde yine sistemin rezonans frekansında olduğu görülmektedir. Buradaki aktif güç;

$$P_i = U.I.Cos\phi = 329.8 \times 59.9 \times 0.99 = 17598.5 \cong 17.6 Kw \quad (3)$$

olarak görülmektedir. Birincil tarafla ikincil taraf arasındaki 1 Kw'lık güç farkı arada bulunan YFT'den kaynaklanmaktadır



(a)



(b)

Şekil-4. YFT'nin (a) birincil taraf güç görüntüsü (b) ikincil taraf gerilim-akım-frekans görüntüsü

5. SONUÇ

Tasarlanan sistem, boru ve dolu kesitli çelik malzeme ile, çeşitli kapasite ve indüktans değerleri ile denenmiştir. Bu denemeler sırasında sistem rezonans frekansı ve güç değişimini takip edebilmiş, kararlılığını korumuştur.

Elde edilen sonuçlar, ışığında indüksiyonlu çelik tav fırınlarının güç ünitelerinin sürülmesinde klasik yaklaşımlar yerine çok daha modüler bir yapıya sahip olan, PLC kontrolü için uygun bir altyapı elde edilmiştir. Sonraki aşamalarda analog giriş/çıkış ünitelerini kullanmak suretiyle PID kontrolünün PLC içinde gerçekleştirilmesi ve yapılan bu kart

çalışmalarının da ortadan kaldırılması olası görünmektedir. Bununla birlikte, bu çalışma neticesinde, bu tip güç ünitelerinde de adaptif kontrol, bulanık mantık, yapay zeka teknikleri kullanılabilecektir. Sisteme ilişkin malzeme yükleme işleminden, günün hangi saatlerinde hangi tür malzemenin kullanılacağına, şebekedeki gerilim dalgalanmalarından, pres vs. gibi ısıtma sonrası üniteler arası etkileşimlere kadar birçok noktada açılım sağlanmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] Espi, J.M.; Navarro, A.E.; Maicas, J.; Ejea, J.; Casans, S.; Control circuit design of the L-LC resonant inverter for induction heating, POWER ELECTRONICS SPECIALISTS CONFERENCE, 2000. PESC 2000 IEEE 31st Annual , Vol 3 , pp. 1430 -1435, 2000
- [2] Grajales, L.; Sabate, J.A.; Wang, K.R.; Tabisz, W.A.; Lee, F.C.; Design of a 10 kW, 500 kHz phase-shift controlled series-resonant inverter for induction heating, INDUSTRY APPLICATIONS SOCIETY ANNUAL MEETING, Conference Record of the 1993 IEEE , pp. 843 -849 vol.2, 2-8 Oct 1993
- [3] Ho, J.M.; Juang, F.C.; A practical PWM inverter control circuitry for induction heating and studying of the performances under load variations, INDUSTRIAL ELECTRONICS PROCEEDINGS, ISIE '98. IEEE International Symposium on , Vol 1, pp. 294 -299 7-10 Jul 1998
- [4] Young-Sup Kwon; Sang-Bong Yoo; Dong-Seok Hyun; Half-bridge series resonant inverter for induction heating applications with load-adaptive PFM control strategy, APPLIED POWER ELECTRONICS CONFERENCE AND EXPOSITION, 1999. APEC '99. Fourteenth Annual , vol.1, pp. 575 -581, 14-18 Mar 1999
- [5] Hirota I, H. Omori and M Nakaoka, Practical Evaluations Of A ZVS-PFM Quasi Load-Resonant High Frequency Inverter Using A New Generation IGBT For An Induction-Heated Cooking Appliance, INT. J. ELECTRONICS, Vol 80, pp. 239-340, 1996,
- [6] Chickamenahalli, S.A.; Lin, J.; Nallaperumal, V.; Barker, C.M.; A DSP controlled variable-frequency resonant-commutated converter, CIRCUITS AND SYSTEMS, 1998. ISCAS '98. Proceedings of the 1998 IEEE International Symposium on , Vol 3 , pp. 427 -430, 31 May-3 Jun 1998,