

GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
ANKARA/TÜRKİYE

3. ULUSLARARASI İLERİ TEKNOLOJİLER SEMPOZYUMU  
3<sup>rd</sup> INTERNATIONAL ADVANCED TECHNOLOGIES SYMPOSIUM

AĞUSTOS/AUGUST 18-20, 2003

KATILIM BELGESİ

Bu belge Sayın. *Kalil..Murat..ÜNVER*

18-20 Ağustos 2003 tarihlerinde Gazi Üniversitesi'nde gerçekleştirilen  
3. ULUSLARARASI İLERİ TEKNOLOJİLER SEMPOZYUMU'na  
katılımından dolayı verilmiştir.

  
Prof. Dr. Mustafa BALCI  
EDİTÖR



## CİLT 2 MAKİNE TEKNOLOJİLERİ

51. The Latent Semantic Analysis And Indexing  
*Akif Shamil Oglu Suleymanov* .....
52. The Examination of The Depreciation of The Gauges Use Bearing Surfaces  
*R.R. Zeynalov, E.S. Huseyn* .....
53. Kafesli Sistemlerde Yaşam Kabiliyeti Strukturlarının Öğ Meseleleri  
*E.A. Baliyev, H.T. Qurbanov, E.B. Imameliyev* .....
54. A Mathematical Model For Monitoring Pollutants Levels  
*Majed Alhazmy, Oğuz Borat* .....
55. Condition Monitoring Through Data Mining  
*Gültekin Çetiner, Oğuz Borat* .....
56. Paylanmış Sistemlerde Optimal Xidmet Olunma Emelliyy İşlenmesi  
*E.A. Baliyev, Ç.C. Abidov, H.T. Qurbanov, A.E. Eliyeva* .
57. Sertliyi Az Olan İçi Boş Fırılama Sethli Detalların İmalatı Hataları  
*V.E. Nerimanov* .....
58. Vidaların Talaşlı İmalatında Oluşan Isının Yüzey Sıcaklığı  
*E. Fetullayev, Ç. Karataş, F. Kafkas, H.K. Akyıldız*.....
59. Vidalı Birleştirmelerin Yorulma Hesabında Artık Gerilim Sağlayan Koşulların Araştırılması  
*E. Fetullayev, R. Kılık, K. Akyıldız, F. Kafkas* .....
60. A Fuzzy Parametric Programming Model for the Desi Systems  
*Feyzan Arıkan, Zuhul Güngör* .....
61. Developing an Expert System for Logical Troubleshooting  
*Hacı Sağlam, Süleyman Yıldız* .....
62. Measuring Drag Coefficients of a Cylinder Model in th Wire Anemometer  
*Mustafa Atmaca, İsmail Ekmekçi, Talat İnan, Hojin Ahn*
63. An Analysis of Orthogonal Cutting Under Different Rake Method

- Eyüp Bağcı, Babur Özçelik* .....
64. The Effect of Face Milling on Surface Integrity of Waspco Using Uncoated and CVD Coated Carbide Tolls  
*Sakıp Köksal, Ramazan Kayıkçı* .....
65. A Finite Element Model for Load Transfer from Matrix to  
*Ezgi Günay, Zeki Ece* .....
66. Hidrolik Sistemlerde Arıza Tespitinde Bir Uzman Sistem  
*R. Yenitepe, B. Akıcı, Ş. Aykut* .....
67. Konvensiyonel Takım Tezgahlarında Tasarım: Vargel Te  
*Erol Türkeş, Ramazan Köse, Naci Zafer* .....
68. Pnömatik Komparatör Yardımıyla Gerçek Zamanlı İş Par  
İzleme  
*Hacı Sağlam, Muciz Özcan* .....
69. Klasik Torna Tezgahlarında Kullanılan Yeni Tip Bi  
Tasarımı ve İmalatı  
*Ertan Evin, Cihan Özel* .....
70. İmalat Planlaması Pratiği İçin IDEFO Modellemesi  
*Özdoğan Karaçalı, Mustafa Kurt* .....
71. Şerit Testere İle Kesmede, Kesmeyi Etkileyen Parametrel  
*Hacı Sağlam, A. Ünüvar, A.S. Ersoyoğlu* .....
72. Comparison Between Various Types of 5 Axis CNC M  
Machine Kinematics.  
*Bülent Kaya, Fehmi Erzincanlı,* .....
73. Kaynaklanmış Martenzitik Paslanmaz Çeliğin Mukavem  
Ağları Metodu İle Belirlenmesi  
*Adnan Çalık, A. Şencan, A. Kemal Yakut* .....
74. Akışkan Yataklı Kazan Tasarımı ve İmalatı  
*A. T. İnan, M. Onat, M. Z. Gül, A. Onat* .....
75. Malzeme İhtiyaç Planlaması ve Huğlu Av Tüfekleri Koo  
*Hayrettin Düzcükoğlu, Ulvi Şeker, Zafer Tekiner* .....
76. İmalat Endüstrisinde İnternet Destekli Kural Tabanlı Bir I  
Sistemi Uygulaması (WATP/CTP)  
*Nilüfer Yurtay, Yüksel Yurtay, Serap Çakar* .....
77. ZF-7B Bor Alaşımılı Çelik Malzemenin Düzlem Yü  
Geometrisi ve İlerlemenin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi  
*S. Gülmez, M. Gürler, Y. Boztoprak* .....
78. Takım Tezgahlarında Dinamik Dengeleme  
*Erol Türkeş, Nazi Zafer, Ramazan Köse* .....
79. ZF-7B Bor Alaşımılı Çelik Malzemenin Düzlem Yü  
Parametrelerinin İşlenebilirliğe Etkisi  
*Servet Gülmez, Mustafa Gürler, Yalçın Boztoprak* .....

80. Elektro Erezyon İle İşleme Performansının İşleme Parametreleri İle Değişimi  
*Ali Özgedik, Can Coğun* ..... 308
81. CNC Freze Tezgahlarında YüzeY Pürüzlülüğüne Etki Eden Faktörlerin Belirlenmesi  
*Mustafa Ay, Osman Eldoğan, Mustafa Kurt* ..... 317
82. Kemiğin Mekanik Davranışına Hareketsizliğin Etkisi Üzerine Deneysel Bir Çalışma  
*M. Reşit Uysal, E. Faruk Mumcu, Remzi Varol, Ufuk Gülsoy* ..... 330
83. Kırık Kemik Tedavilerinde Kullanılan Dış Fiksator Aletin Test Cihazı Tasarımı ve İmalatı  
*Bilçen Mutlu, Mustafa Kurt* ..... 345
84. Sistematik Tasarımda Şartname Aşaması  
*Mustafa Bozdemir, Faruk Mendi, Cengiz Eldem* ..... 355
85. İmalat Hücreleri Oluşturma Probleminin Bulanık Çok Amaçlı Programlama Yaklaşımı İle Modellenmesi  
*Feyzan Arıkan, Zuhul Güngör* ..... 368
86. Geometrik Modellerin Bilgisayar Destekli Tasarım İle Parametrik Açınımları  
*Hüdayim Başak, Cengiz Eldem* ..... 382
87. Kavramsal Tasarımda Karar Verme  
*Mustafa Bozdemir, Faruk Mendi, Cengiz Eldem* ..... 392
88. Metal Kesme İşlemlerinde Kesici Takım ve İş Parçası Arasında Oluşan Sıcaklık Dağılımın Sayısal Çözümleme Metodu İle Belirlenmesi  
*H.Mehmet Şahin, Adem Acır* ..... 405
- 89. Isıl İşlem Atölyelerinin Otomasyonu İçin Plc Kontrollü İndüksiyon Ocağı Tasarımı  
*Halil Murat Ünver* ..... 416
90. Application of Phase Change Materials To Pre-Heating of Internal Combustion Engines  
*M. Gümüş, E.Kılıçarslan, Ahmet Korhan Binark* ..... 425
91. Experimental Optimization of a Gasoline HCCI Engine Using Double Injection and Intake Air Temperature  
*Mustafa Canakçı* ..... 437
92. Dizel Motorlarında Kullanılan Kontrol Sistemleri  
*Yakup İcingür, Hasan Yamık* ..... 449
93. Otomotivde Mekatronik Bir Uygulama: Cep Telefonlu Oto Güvenlik Sistemi  
*Volkan Yılmaz, Ahmet Korhan Binark* ..... 459
94. Otomotiv İşletmelerinde İleri Bilgi Teknolojilerinin Toplam Kalite Yönetimi Uygulamalarındaki Rolü  
*Süleyman Semiz, Şenol Okay, Yakup Sekmen, Can Çınar* ..... 468
95. Motor Emisyon Parametreleri İçin Bir Bulanık Uzman Sistem Tasarımı  
*M. Ciniviz, İ. Sarıtaş, S. Salman, N. Allahverdi* ..... 480
96. Otomobil Arıza Tespiti İçin Bir Uzman Sistem Tasarımı  
*Şakir Taşdemir İsmail Sarıtaş, Murat Ciniviz, A. Alpaslan Altun, Novruz Allahverdi* ..... 490
97. Motor Denemelerinde Bulunan Karakteristik Değerlerin Bulanık Uzman Sistem

- Programı Kullanılarak Belirlenmesi ve Deneysel Verilerle Karşılaştırılması  
*H. Oğuz, İ. Sarıtaş, H. Öğüt, N. Allahverdi, ..... 499*
98. EGR ve Motor Performansı İçin Bulanık Uzman Sistem Tasarımı  
*İ. Sarıtaş, M. Ciniviz, C. Haşimoğlu, Y. İçingü, N. Allahverdi ..... 510*
99. Bulanık Mantık Kullanılarak Marş Motorlarında Hata Teşhisi  
*Ömer Faruk Bay, Raif Bayır ..... 520*
100. Motorlu Taşıtlarda Fren Kuvvetlerinin Ölçümü ve Fren Kuvveti Ölçme Cihazları  
*M. Düzgün, D. Altıparmak, H. Bayrakçeken ..... 535*
101. Frenleme Kuvveti ve Geliştirilen Bir Fren Test Cihazında Frenleme Kuvvetinin Ölçülmesi  
*Hüseyin Bayrakçeken, Duran Altıparmak ..... 546*
102. Toplam Kalite Yönetimi ve Değişim Mühendisliği Yönetim Teknikleri Arasındaki Farklılıkların Değerlendirilmesi  
*Süleyman Semiz, Enver Aydoğan ..... 561*
103. Alternatif İçten Yanmalı Motorlar  
*Nadir Aksoy, Yakup İçingür ..... 571*



ana sayfa

## Isıl İşlem Atölyelerinin Otomasyonu için PLC Kontrollü İndüksiyon Ocağı Tasarımı

\*Halil Murat Ünver

\* Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, 318 357 24 56, [unver@kku.edu.tr](mailto:unver@kku.edu.tr)

### Özet

Günümüzde, PLC (Programmable Logic Controller) sayesinde, çeşitli sektörlerde, üretim bantlarına kolaylıkla otomasyon uygulanabilmektedir. Ancak, ısı işlem üretim bantlarında kullanılan indüksiyon ocaklarının tasarımı hala özgün elektronik devreler halinde oluşturulduğundan otomasyon yaklaşımına uygunluk sağlayamadığı gözlenmektedir.

Bu çalışmada, 60 Kw gücünde bir indüksiyonlu çelik tav ocağı tasarlanmış ve kontrolü PLC ile gerçekleştirilmiştir. Böylelikle, indüksiyon ocakları, üzerinde, açma/kapama, basınç, ısı, hareket kontrolü gibi işlerin gerçekleştirilmesiyle birlikte, üretim bandında oluşturulacak otomasyon yapısında sistemin diğer birimleriyle birlikte eş zamanlı çalışma yeteneğine sahip olmuştur. Ayrıca klasik kontrol dışında bulanık mantık, adaptif kontrol, yapay zeka gibi yeni kontrol yöntemlerinin uygulanması için alt yapı elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** İndüksiyon Ocakları, otomasyon, PLC

### A PLC Controlled Induction Heating Furnace Design for Automation of Heating Process Units

### Abstract

Nowadays, with the help of PLC (Programmable Logic Controller), automation can easily be adapted to production bands in various sectors. Yet, because the design of induction heating furnaces which are used in heating process production bands are still formed as electronic circuits, it is observed that they are not suitable for automation approach.

In this study, an induction heating furnace which has 60 kW power is designed and controlled with PLC. Therefore, the induction heating furnaces have had the ability to work synchronized with other units of the system in automation structure. On the other hand a substructure is maintained in order to use new control methods like artificial intelligence, adaptive control and fuzzy logic as alternatives to classical control.

**Key Words:** Induction heating furnaces, automation, PLC

### 1. Giriş

İndüksiyonla ısıtma, ilk tezgahların üretiminin başladığı günden bu yana geçen yaklaşık 50 yıl içinde kullanım kolaylığı ve işlem gören malzeme kalitesinin çok yüksek olması nedeniyle yoğun ilgi görmektedir. Sanayi toplumunun olduğu sıralarda bu konuya eğilen firmalar günümüzde bu alanda ciddi şekilde piyasaya

hakim olmuşlardır. Ciddi bir bilgi birikimi ve sermaye gerektiren indüksiyon ocakları üretimi, bu firmaların hakimiyetinden ötürü geniş bir üretici yelpazesi oluşturamamıştır. Ülkemizde ancak 1980'li yılların sonlarında indüksiyon ocaklarının sadece iki tipinin üretimine başlanabilmektedir.

İndüksiyon ocakları üretimini elinde tutan bu büyük firmaların, oturmuş üretim tekniğinin dışına çıkmama eğilimi göstermesi nedeniyle indüksiyon ocakları, gelişen otomasyon sistemlerine uyum sağlayamamıştır. Özellikle, güç ünitesinin kumanda ve kontrolünde, firmaların, kendi tasarımları olan elektronik kartlardan vazgeçmemiş olmaları, her geçen gün gelişen kontrol ve otomasyon tekniklerinin ısı işlem imalathanelerine uygulanmasına imkan vermemektedir. Hatta bu konuda yapılan akademik çalışmalarda bu doğrultuda olmuş, indüksiyon ocakları, çevreyle etkileşim içinde bulunmayan kapalı bir çevrim halinde kalmıştır [1-14]. Hali hazırda ocaklarında PLC kullanan firmalar da PLC'yi genellikle açma-kapama, sayım, süreçli işler organizasyonu, zamanlama ve hareket kumandası sağlamak amacıyla kullanmışlardır. Bu yaklaşım, her ne kadar ocağa modern bir görünüm vermekteyse de otomasyon açısından hiçbir işe yaramamaktadır.

İndüksiyon ocağı kullanılan ısı işlem birimlerinde genellikle karşılaşılan sorunlar aşağıdaki gibi özetlenebilir.

- Isıl işlem öncesi tezgahların, sabit parametrelerle çalışan indüksiyon tav ocakları önüne malzeme yığılmakta ve bu tezgahlar malzemenin kullanılmasını beklemek durumunda kalmaktadır.
- Periyodik olarak ısıtılmış ürün çıkışı veren indüksiyon tav ocaklarında, belirli zaman aralıklarında ısıtılmış malzeme otomatik olarak çıkarılmaktadır. Isıl işlem sonrası tezgahlarda, çeşitli nedenlerle meydana gelen gecikmeler sırasında çıkan ısıtılmış malzemeler, tav sıcaklığını kaybetmesi nedeniyle kullanılamamaktadır.
- Isıl işlem öncesi ve ısı işlem sonrası tezgahlar, otomasyon alt yapılarına sahip olsalar da ısı işlem tezgahlarının otomasyon alt yapısına sahip olmaması nedeniyle bu üç birim kendi aralarında etkileşim kuramamaktadır.
- Isıl işlem tezgahlarının otomasyona katılamaması gerek ısı işlem atölyesi içindeki gerekse bu atölyenini diğer üretim birimleriyle olan veri iletişim ağını da anlamsız kılmaktadır.

Bu sorunların, ancak indüksiyon tav ocaklarının güç ünitelerinin PLC ile denetim ve kontrolünün gerçekleştirilerek çözülebileceği açık olarak görülmektedir. Bir ısı işlem atölyesinin otomasyon yapılmasına ilişkin blok diyagram Şekil 1.'de verilmiştir. İndüksiyon tav ocaklarının PLC ile denetim ve kontrolünün gerçekleştirilmesinden beklenen faydalar şunlardır;

1- İndüksiyon tav ocağının güç ünitesi denetim altında tutulacaktır. Özellikle çelik tavında ortaya çıkan manyetik geçirgenliğin ( $\mu$ ) değişimine bağlı frekans ve sıcaklıkla meydana gelen öz direnç ( $\rho$ ) artışına bağlı güç değişimlerinin istenmeyen

etkileri ortadan kaldırılabilecektir. Bu sayede halen kullanılmakta olan indüksiyon tav fırınları için özel olarak tasarlanan elektronik kartlara olan bağımlılık ortadan kalkacaktır.

2- İndüksiyon tav ocaklarındaki, aşırı akım, aşırı gerilim, kısa devre, sıcaklık, basınç korumaları ile açma-kapama, sayım, süreli işler organizasyonu, zamanlama, konum kontrolü ve gerekli ikazları sesli, ışıklı veya yazılı yapılabilecektir. İstenirse indüksiyon tav ocağına ilişkin parametrelerin elle yapılan girişleri kullanımı daha kolay ve görsel bir yapıda PC üzerinden gerçekleştirilebilecektir.

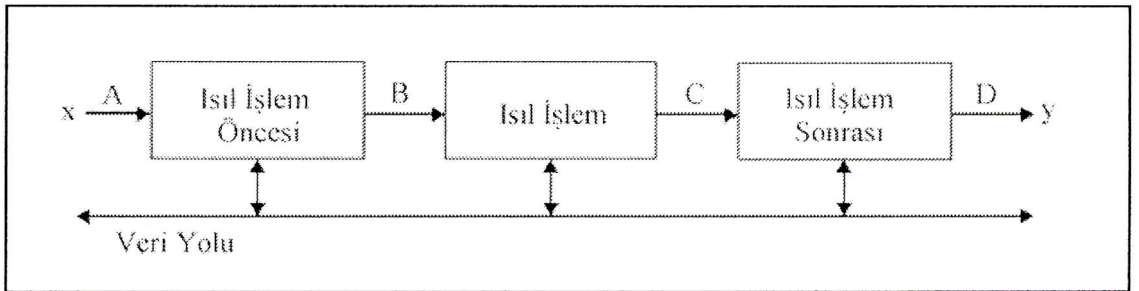
3- İndüksiyon tav ocaklarındaki, elle girilebilen parametre sayısının da artırılmasına imkan verecektir. Dolayısıyla tav ocağı, sabit bir frekansta çalışmak durumunda kalmayacaktır. Çalışma frekansı istenildiği gibi değiştirilebileceğinden, buna bağlı olan da işleme derinliği de arzu edildiği gibi ayarlanabilecektir.

4- Isıl işlem biriminin anlık durumu hakkında bilgi (ısıtılan malzeme adedi, çalışma süresi, arıza durumu vb.) veri iletişim ağı üzerinde her noktadan alınabilecektir. Bu bilgi, diğer üretim birimleri tarafından kullanılabilirliği gibi işletme yönetimi tarafından da kullanılabilir.

5- Isıl işlem öncesi tezgahlar, uygun zamanlama ile malzeme hazırlayacaklar, gereksiz yoğunluk veya boş kalma süreçleri yaşanmayacaktır.

6- Isıl işlem sonrası birimlerinde meydana gelecek bekleme ve gecikmeler ısı işlem birimi tarafından değerlendirilebilecek ve hazır olduğunda ısıtılmış malzeme çıkışı alınabilecektir. Böylelikle ısıtılan malzemelerin kullanılmadan soğumasından kaynaklanan kayıplar önlenecektir.

7- Son yıllarda büyük gelişimler gösteren bulanık mantık, adaptif kontrol ve yapay zeka gibi modern kontrol yöntemlerinin, hem ısı işlem atölyelerinde hem de buna bağlı diğer üretim birimlerinde kolaylıkla uygulanabileceği bir alt yapı oluşturulacaktır.



Şekil 1. Isıl işlem biriminin otomasyon blok şeması

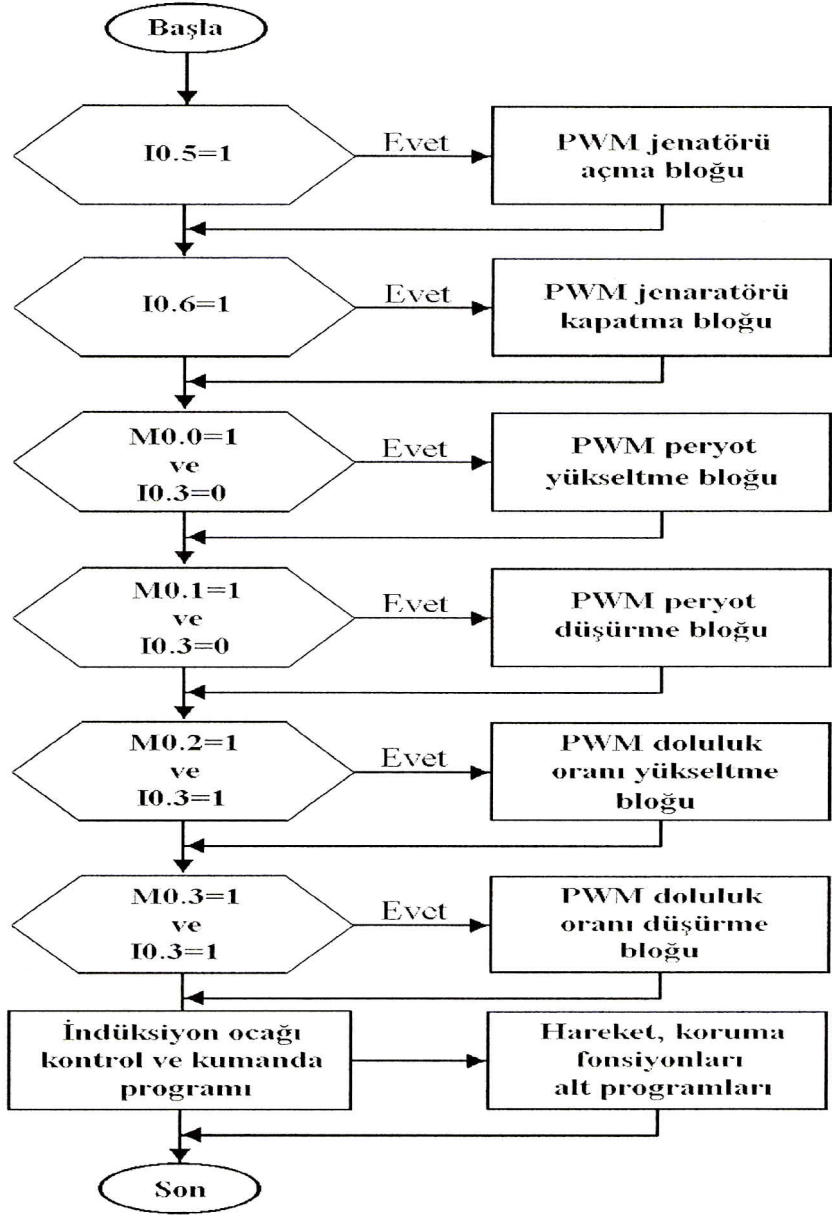
## 2. Yöntem

Tasarlanan sistem, Şekil 2.'de görüldüğü üzere, bir AC/DC/AC dönüştürücü güç ünitesi, yüksek frekans transformatörü, ısıtma grubu, kontrol grubundan oluşmaktadır. Sistem ile 7 sn'de 1 adet, 25 mmφ x 35 mm boyutlarında çelik parçaların tavlama





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.



Şekil 3. PLC programının algoritması

Program, PI frekans kontrol ünitesi, PI güç kontrol ünitesi tarafından gönderilen geri besleme işaretlerine bağlı olarak, doğru periyot ve doluluk oranını otomatik olarak belirleyebilmekte, ayrıca manuel çalışmaya da imkan vermektedir.

PWM jeneratörünün çıkışı Q0.0 üzerinden, PWM/sürücü dağıtıcı birimine uygulanmaktadır. Bu birimin çıkışında ise IGBT sürücüleri için uygun ve kararlı bir gerilim elde edilmektedir. Semikron firmasının SKHI 23/12 rumuzlu IGBT

sürücüleri, evirici kısmında bulunan Semikron firmasının 200 A'lık SKM 200 GB 123 rumuzlu IGBT yarı köprü modüllerini sürmektedir. Kısa devre koruma ünitesi bulunan bu sürücü ile IGBT'leri 0 – 10.000 Hz aralığında istenen bir frekansta sürmek mümkün olmaktadır. Sistemin doğrultucu kısmında Semikron firmasına SKKD 100 rumuzlu diyot modülleri kullanılmış olup, denetimsizdir.

### 3. Bulgular

Yapılan hesaplarda; endüktansın, malzeme soğuk haldeki değeri 84.82  $\mu$ H iken malzeme ısındıktan sonraki sürekli çalışma halindeki değeri 81.20  $\mu$ H'ye kadar düşmekte R direnci ise 0.01 $\Omega$ 'dan 27  $\Omega$ 'a kadar çıkmaktadır. 3 kHz civarında kalabilmek için 28.82  $\mu$ F güç kondansatörü bağlanmıştır. Bu halde sürekli çalışma rezonans frekansı;

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L.C}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{81,20 \cdot 10^{-6} \cdot 28,82 \cdot 10^{-6}}} = 3290 \text{ Hz} \quad (1)$$

olarak elde edilmektedir (Malzeme tam ısındığında ise rezonans frekansı 3290Hz olmaktadır).

Sistem çalıştırılmış ve elektriksel eğriler Şekil 4.'deki gibi elde edilmiştir. Evirici çıkış gerilimi, denklem 1'de hesaplandığı gibi 3290 Hz'e oturmuştur. Sisteme ilişkin  $\text{Cos } \phi = 0.96$ 'dır.

Şekil 4.a.'da transformatörün sekonder tarafına yani tavlama kısmına uygulanan gerilim görülmektedir. Burada gerilimin etkin değeri  $U = 997 \text{ V}$ , akımın etkin değeri ise  $I = 45.53 \text{ A}$ 'dir. Pens ampermetre, güvenlik nedeniyle  $\times 10$  daraltmasıyla kullanılmıştır. Buradaki aktif güç;

$$P_S = U.I.\text{Cos } \phi = 997 \times 47.5 \times 0.96 = 45491.9 \cong 45.5 \text{ Kw} \quad (2)$$

olarak elde edilmiştir. Şekil 4.b.'de evirici çıkışına ilişkin eğri görülmektedir. Burada gerilimin tepe değeri  $V_m = 545 \text{ V}$ , etkin değeri  $V = 353.8 \text{ V}$ , çekilen akım ise  $I = 142.4 \text{ A}$ 'dir. Anahtarlanmanın kapandığı anda meydana gelen kuyruk gerilimleri de şekilde görülmektedir. Evirici tarafındaki güç;

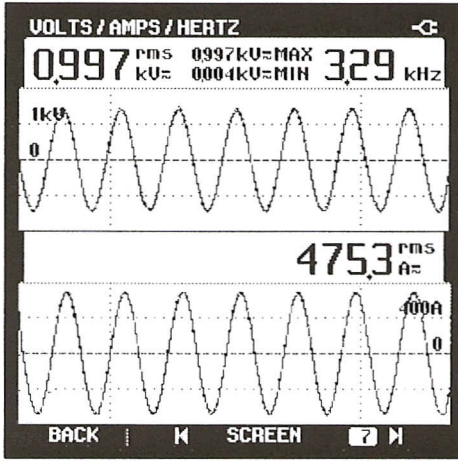
$$P_P = U.I.\text{Cos } \phi = 353.3 \times 142.4 \times 0.96 = 48297.53 \cong 48.3 \text{ Kw} \quad (3)$$

hesaplanmıştır. Denklem 2 ile denklem 3'te hesaplanan değerler arasındaki 2.8 kW'lık fark ise transformatör kayıplarıdır. Şekil 4.c.'de sistemin şebeke tarafındaki gerilim ve akımın etkin değer değişimleri görülmektedir. Şebeke gerilimi  $U_\phi = 398.3 \text{ V}$ , şebeke akımı  $I_\phi = 131.2 \text{ A}$ 'dir. Buradan şebeke tarafındaki güç;

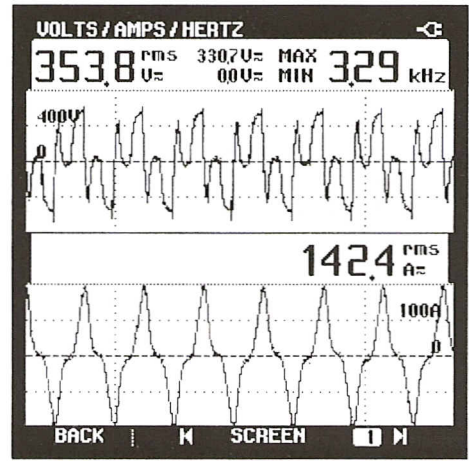
$$P_G = U.I.\text{Cos } \phi = 398.3 \times 131.2 \times 0.96 = 50166.68 \cong 50.2 \text{ Kw} \quad (4)$$

olarak çıkmaktadır ki, denklem 3'de elde edilen değerle aradaki 1.9 kW'lık fark güç ünitesinde meydana gelen kayıpları vermektedir. Şekil 4.c. incelendiğinde

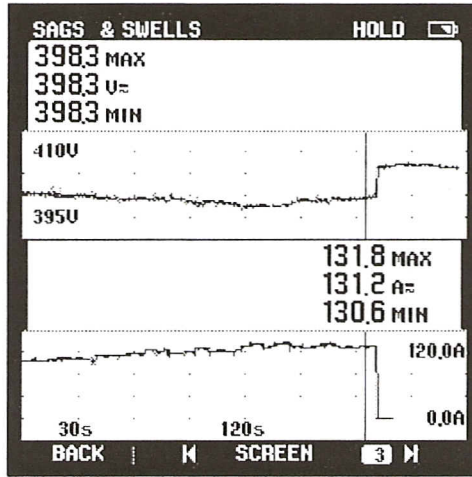
amaçlandığı gibi akım ve gerilimlerin kabul edilebilir bir aralıkta ( $\pm\%4$ ) değiştiği görülmüştür.



(a)



(b)



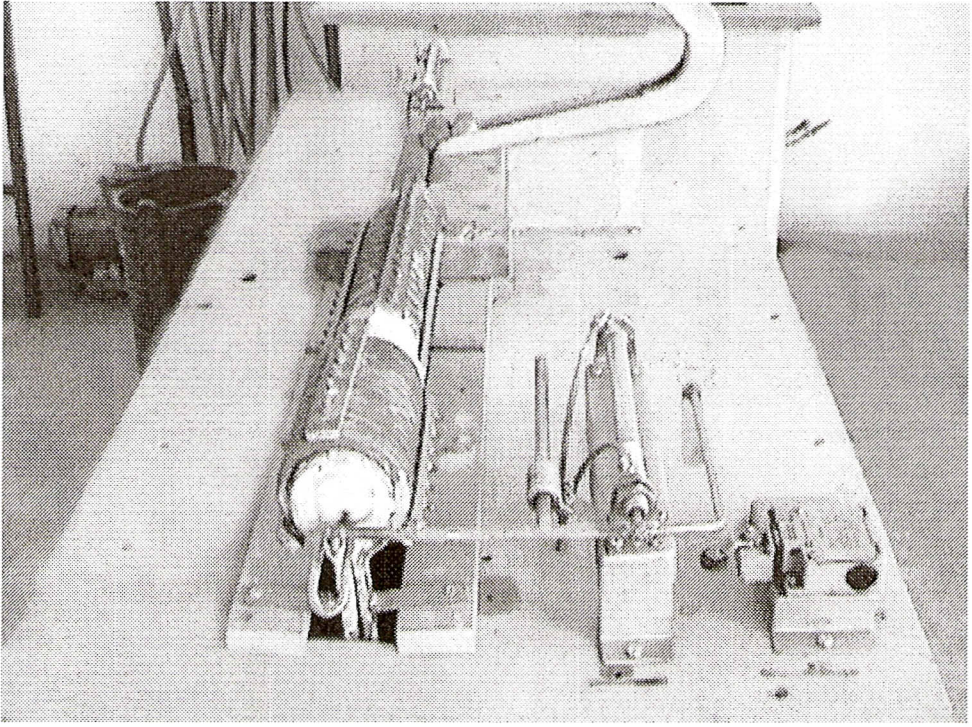
(c)

Şekil 4. Çelik tav ocağına ilişkin elektriksel değerler

#### 4.Sonuçlar

Tasarlanan sistem ile 7 sn'de 1 adet, 25 mm $\phi$  x 35 mm boyutlarında çelik parçaların tavlanması gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.'te sistemin çalışma anındaki görüntüsü yer almaktadır. Yapılan denemelerde PLC, hem tav ocağının hareket ve koruma fonksiyonlarını gerçekleştirirken hem de güç ünitesinin rezonans frekansı ve güç değişimini denetim altında tutabilmiş, kararlı bir çalışma elde edilebilmiştir.

Elde edilen birikimle, ısıtma işlem atölyelerinde tam otomasyona geçilebilecek bir alt yapı sağlanmıştır. Isıtma işlem atölyelerinde bulunan tüm tezgahlar birbirlerine otomasyon ağı üzerinden bağlanabilecek, dolayısıyla, büyük oranda enerji ve zaman tasarrufu sağlanabilecektir. Ayrıca adaptif kontrol, bulanık mantık, yapay zeka modern kontrol tekniklerinin uygulanması kolaylıkla gerçekleştirilebilecektir.



**Şekil 5.** Tasarlanan sistemin çalışma sırasındaki görünümü

## 5. Kaynaklar

1. Tzou Y. and Jung S., “Adaptive Repetitive Control of PWM Inverters for Very Low THD AC-Voltage Regulation with Unknown Loads”, IEEE Transactions on Power Electronics, 14(5), Sep 1999
2. 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 , Volume: 3 , 31 May-3 Jun 1998 Page(s): 427 -430 vol.3
3. Khan, I.; Tapson, J.; De Vries, Automatic frequency control of an induction furnace I; AFRICON, 1999 IEEE , Volume: 2 , 1999 Page(s): 913 -916 vol.2
4. 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 00. 2000 IEEE 31st Annual , Volume: 3 , 2000 Page(s): 1430 -1435 vol.3
5. 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, 1993., Conference Record of the 1993 IEEE , 2-8 Oct 1993 Page(s): 843 -849 vol.2
6. 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 , Volume: 1 , 14-18 Mar 1999 Page(s): 575 -581 vol.1

7. Okudaira, S.; Matsuse, K.; “Power control of an adjustable frequency quasi-resonant inverter for dual frequency induction heating”, Power Electronics and Motion Control Conference, 2000. Proceedings. PIEMC 2000. The Third International , Volume: 2 , 2000 Page(s): 968 -973 vol.2
8. 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, 1998. Proceedings. ISIE '98. IEEE International Symposium on , Volume: 1 , 7-10 Jul 1998 Page(s): 294 -299 vol.1
9. 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, 80(2), sf 239-340, 1996,
10. Uchihori, Y.; Kawamura, Y.; Tokiwa, M.; Kim, Y.J.; Nakaoka, M.; “New induction heated fluid energy conversion processing appliance incorporating auto-tuning PID control-based PWM resonant IGBT inverter with sensorless power factor correction”, Power Electronics Specialists Conference, 1995. PESC '95 Record., 26th Annual IEEE , Volume: 2 , 18-22 Jun 1995 Page(s): 1191 -1197 vol.2
11. Komatsu, W.; Po, W.; “A method for control and protection of series resonant induction furnaces”, Industry Applications Conference, 1997. Thirty-Second IAS Annual Meeting, IAS '97., Conference Record of the 1997 IEEE , Volume: 2 , 5-9 Oct 1997 Page(s): 1661 -1666 vol.2
12. Agu, M.U.; “A microprocessor-based control method for a voltage-fed inverter with a tank load”, Industry Applications Society Annual Meeting, 1988., Conference Record of the 1988 IEEE , 2-7 Oct 1988 Page(s): 1018 -1022 vol. 1
13. Terai, H.; Miyauchi, T.; Hirota, I.; Omori, H.; Al, M.A.; Nakaoka, M.; “A novel time ratio controlled high frequency soft switching inverter using 4<sup>th</sup> generation IGBTs”, Power Electronics Specialists Conference, 2001. PESC. 2001 IEEE 32nd Annual , Volume: 4 , 2001 Page(s): 1868 -1873 vol. 4
14. Bayindir, N.S.; Kukrer, O.; Yakup, M.; “DSP-based PLL-controlled 50-100 kHz 20 kW high-frequency induction heating system for surface hardening and welding applications “, Electric Power Applications, IEE Proceedings- , Volume: 150 Issue: 3, May 2003,Page(s): 365 -371