



T.C.

SELÇUK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÜTÜ MASASI İMALATINDA KULLANILAN NOKTA DİRENÇ KAYNAK MANİPÜLATÖRÜN KONTROLÜ

Yasin ALTUN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektrik - Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Ağustos - 2012
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Yasin ALTUN

Tarih: 10/08/2012

ÖZET

YÜKSEK LİSANS

ÜTÜ MASASI İMALATINDA KULLANILAN NOKTA DİRENÇ KAYNAK MANİPÜLATÖRÜN KONTROLÜ

Yasin ALTUN

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Muciz ÖZCAN

2012, 119 Sayfa

Jüri
Yrd. Doç. Dr. Ömer AYDOĞDU
Yrd. Doç. Dr. A. Afşin KULAKSIZ
Yrd. Doç. Dr. Muciz ÖZCAN

Günümüzde otomatik kontrole dayalı üretim, modern sanayinin temel yapıtaşıdır. Gelişen teknolojiyle beraber firmaların kaliteli, daha ekonomik ve seri bir şekilde imalat yapabilmeleri gerekmektedir. Üretimde kullanılan makine ve teçhizatların; seri üretime elverişli, verimli çalışan ve kaliteli ürünler verebilecek nitelikte oluşu dünya firmaları ile rekabette yerli firmaların elini güçlendirecektir. Bu bağlamda, endüstriyel otomasyon ve robotların kullanıldığı uzman sistemlere olan ihtiyaç artmaktadır.

Bu tez çalışmasında, ütü masası üretiminde kullanılmak üzere tasarlanan senkron servolu ileri seviye bir Elektrik Direnç Nokta Kaynak (EDNK) makinesinin kontrolü gerçekleştirilmiştir. Makine de, puntalamayı yapan manipülatörlerin bulunduğu servo motorlu bir puntalama arabası ile kaynak için gerekli transformatörleri taşıyan yine servo motorlu ikinci bir taşıyıcı araba bulunmaktadır. Bu çalışmada manipülatörlerin tasarımı esnasında kaynak maniplatörünün yük ve ataletinin azaltılmasına özen gösterilmiş ve elde edilen yapı ile puntalama arabası üzerindeki manipülatörlerin istenilen hızda ve sıklıkta kaliteli bir punta kaynağı işlemini gerçekleştirilmesi sağlanmıştır.

EDNK makinesi kontrol işlemi Programlanabilir Lojik Kontrolör (PLC) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. İki eksende hareket etmek üzere tasarlanan puntalama arabası üzerindeki manipülatörlerin konum ve hız kontrolü, pnömatik sistemin kontrolü, kaynak sürecinin kontrolü ve anolog-seri haberleşmeler kontrol algoritmasına bağlı kalınarak hazırlanmıştır. Elde edilen kontrol algoritması PLC yazılım geliştirme ortamında ladder diyagramlar ile kodlanmıştır. Sistemde, X-Z düzlemindeki kaynak noktalarının her biri, kaynak parametreleri ve reçeteler, yine, PLC' li sisteme

entegre edilen ve kontrol algoritmasına uygun olarak hazırlanan operatör panel arayüz yazılımı aracılığı ile makineyi kullanan operatör tarafından belirlenebilecek şekilde gerçekleştirilmiştir.

Elde edilen EDNK manipülatörünün kontrol algoritması ve donanımlarının çalışmasını test etmek amacıyla ütü masaları üzerinde kaynak denemelerinde bulunulmuştur. Denemeler sonucunda kaynak işleminin istenilen kalitede oluşması için gerekli olan punta kaynak akım değerleri, puntalama uç genişliği, puntalama işlemi esnasında beklenilmesi gereken süreler ve puntalama ucuna uygulanması gereken kuvvet değerleri elde edilmiştir. Elde edilen verilerden optimum kaynak parametreleri belirlenmiştir. Elde edilen parametrelere uygun olarak punta kaynak maniplatörünün çalıştırılması sağlanmış ve elde edilen ütü masalarından punta kaynağın gereken kalitede olduğu gözlenmiştir. Ayrıca bu tez çalışması ile bir ürün için geçen kaynak süresi, günlük çıkan ürün miktarı ve makine maliyet analizi de yapılması sağlanarak bu çalışmanın gerçekleştirildiği Doğrular Madeni Eşya San. ve Tic. Ltd. Şti. için önemli olan verilerin elde edilmesi sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Elektrik Direnç Nokta Kaynağı, Kaynak Otomasyonu, Punta Kaynak Proses Kontrol, Servo Pozisyon Kontrol

ABSTRACT

MS THESIS

RESISTANCE SPOT WELDING MANIPULATOR CONTROL IN ORDER TO FABRICATE IRONING BOARD

Yasin ALTUN

The Graduate School of Natural and Applied Science of Selçuk University
The Degree of Master of Science of Philosophy
in Electrical and Electronics Engineering

Advisor: Asst.Prof.Dr. Muciz ÖZCAN

2012, 119 Pages

Jury
Asst.Prof.Dr. Ömer AYDOĞDU
Asst.Prof.Dr. A. Afşin KULAKSIZ
Asst.Prof.Dr. Muciz ÖZCAN

Today, the automatic control based on the production is the cornerstone of modern industry. Together with the developing technology, companies need to carry out manufacturing with high quality. Machine and equipment will use in the production for suitable mass production, which are efficient and high quality products that could strengthen the hand of domestic firms to compete with companies in the world. In this respect, it is increasing the need for expert systems used in industrial automation and robots.

In this thesis, the control of an advanced synchronous servo Electric Resistance Spot Welding (RSW) machine which was designed for use in the fabrication of ironing boards has been performed. The spot welding trolley having the servo motor has located the manipulators and that the second carrier trolley still having the other servo motor would carry to require transformers for welding are found in this machine. In this study, during the design of manipulators, it has been taken care to reduce the load and inertia welding manipulator, and the structure obtained with manipulators on the spot welding trolley is provided to realize the quality spot welding process, the desired speed and range.

Electric Resistance Spot Welding machine control process has been performed with the Programmable Logic Controller (PLC). Position and velocity control of manipulators designed to move in two axes and to locate on the spot welding trolley, control of pneumatic system, control of welding process and analog -serial communication has been prepared in accordance with the control algorithm. The control algorithm was coded with ladder diagrams in PLC software development environment. In system, each of the welding spots in the X-Z plane, welding parameters and recipes realized that they can

be determined by the operator using the machine through the operator panel interface software which is integrated with PLC' s system and prepared in accordance with the control algorithm.

In order to test the control algorithm and the operation of equipment of the obtained RSW manipulator, welding experiments have been done on ironing boards. As a result of experiments, the spot welding current values, the size of welding elctrodes, periods of time that must be anticipated during tack and tack end of the force values to be applied those to be necessary for the desired quality of welding process have been obtained. Optimum welding parameters are determined from the data obtained. In accordance with the parameters obtained from the experiments, operation of spot welding manipulator is provided. The desired quality of spot welding has been observed from obtained ironing boards. Furthermore, the welding time for one product, the amount of product per day and the cost analysis of the machine have been achieved with this thesis study. Obtaining these data was important for Doğrular Company where this study is carried out.

Keywords: Resistance Spot Welding, Servo Position Control, Spot Welding Process Control, Welding Automation

ÖNSÖZ

Okul ve gündelik hayatta bilgi ve tecrübeleri ile yol gösteren, tez çalışmasının seçiminde, yürütülmesinde, sonuçlandırılmasında ve sonuçlarının değerlendirilmesinde destek ve yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Muciz ÖZCAN' a, bölümümüzün tüm öğretim üyelerine, katkı ve desteklerini esirgemeyen öğrenci arkadaşlarıma ve her zaman yanımda olan aileme ve değerli dostlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Projenin tamamlanmasında maddi ve manevi katkılarını esirgemeyen Doğrular Medeni Eşya Tic. Ltd. Şti.' den Genel Müdürler İsmail DOĞRU ve Fahrettin DOĞRU' ya, yapılan makinenin mekanik tasarımını gerçekleştirip lineer elemanların seçimi, dizaynı ve montajında zaman harcayan, emek veren, tecrübesini paylaşan ütü masası üretim hattından sorumlu Mak. Müh. Fatih DOĞRU' ya, üretimden sorumlu Mak. Müh. S. Ahmet ÖZSELÇUK' a ve katkı sağlayan tüm DOĞRULAR MADENİ EŞYA TİC. LTD. ŞTİ. personeline teşekkür ederim.

Yasin ALTUN
KONYA-2012

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **iv**

ABSTRACT ..... **vi**

ÖNSÖZ ..... **viii**

İÇİNDEKİLER ..... **ix**

SİMGELER VE KISALTMALAR ..... **xi**

1. GİRİŞ **1**

1.1. Proje Detayları 2
1.2. Tez Organizasyonu 3

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI **4**

3. ELEKTRİK DİRENÇ NOKTA KAYNAĞI **9**

3.1. EDK ve Çeşitleri 9
3.2. EDNK Esasları 11
3.2.1. Isı Oluşumu ve Nedenleri 14
3.2.2. Kaynak Akımı 17
3.2.3. Elektrot Kuvveti 21
3.2.4. Kaynak Süresi 22
3.2.5. Kaynak Kabiliyeti 23
3.2.6. Temas Yüzeyi 25
3.3. EDNK Makine Tasarımları 25
3.4. Uygunluk ve Test Yöntemleri 27

4. KONTROL SİSTEMLERİ ve SERVOMEKANİZMALAR **30**

4.1. Kontrol Sistemi 30
4.1.1. Kontrol sistemi kavramları 30
4.1.2. Kontrol sistemi türleri 31
4.2. Servomekanizma 32
4.2.1. Hız kontrol 33
4.2.2. Pozisyon kontrol 34
4.2.3. Moment kontrol 34
4.2.4. Hibrit kontrol 35

5. KONTROL SİSTEMLERİNDE TAHRİK UNSURLARI **36**

5.1. Elektrikle Tahrik 36
5.1.1. Step motorlar 37
5.1.2. Servo motorlar 38
5.2. Pnömatik Tahrik 50
5.2.1. Silindir 51
5.2.2. Valf 51
5.2.3. Şartlandırıcı 51

5.3. Hidrolik Tahrik 52

6. SERVO SİSTEM BİLEŞENLERİ 53

6.1. Merkezi Kontrol Birimi 53
6.2. Operatör Panel (HMI) 54
6.3. Servo Sürücü 55
6.4. Servo Sistemlerde Kullanılan Algılayıcılar 57
6.4.1.Takogeneratör 58
6.4.2.Resolver (Çözümleyici) 58
6.4.3.Enkoder 61
6.4.4.Alan etkili algılayıcılar 65
6.5. Dişli Kutusu (Redüktör) 65

7. SENKRON SERVOLU EDNK SİSTEMİN KONTROLÜ 67

7.1. Projenin Çıkış Noktası 67
7.2. Projeye Bakış 68
7.3. İmalatta Kullanılacak Sac Malzemenin Yapılacak Sistem Tasarımına Etkileri 69
7.3.1. Kaynak Yöntemi 70
7.3.2. Kimyasal Birleşim 70
7.3.3. Kaynak Ölçütleri 70
7.3.4. Kaynak Parametreleri 71
7.4. Sistem Bileşenlerinin Tasarımı 72
7.4.1. Güç Hattı 73
7.4.2. Servo Sistem 75
7.4.3. Pnömatik Sistem 77
7.5. Yapılan Çalışmaya Ait Kontrol Blok Diyagramı 77
7.5.1. Fiziki Altyapı 78
7.5.2. Kontrol Algoritması, PLC Program ve Görsel Arayüz 82
7.5.3. Uygulama Sonuçları 88

8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 90

8.1. Sonuçlar 90
8.2. Öneriler 90

KAYNAKLAR 93

EKLER 99

EK-1 : EDNK Parametre Tespit Tablosu 99
EK-2 : Sistem Programı Ladder Komut Listesi (STL) 100
EK-3 : Makine İnsan Arabirimi (HMI) 116

ÖZGEÇMİŞ 119

SİMGELER VE KISALTMALAR

SİMGELER

θ : Rotor Açısal Konum Değişimi
ω_r : Rotor Açısal Hızı
ω : Elektriksel Açısal Hız ($2\pi f$)
Ω : Direnç Miktarı (Ohm)
η : Verim (%)
a : İvme (m/s^2)
A : Akım Şiddeti (Amper)
B : Manyetik Endüksiyon (Tesla, Gauss)
c : Sabit Sayı
D : Pnömatik Piston (kürsor boyu), Bir Kenar Uzunluğu (mm)
J_L : Yük Momenti
J_r : Rotor Eylemsizlik Momenti
m : Kütle
l : Uzunluk
d : Yoğunluk
r : Yarıçap
f : Frekans (Hz)
F : Kuvvet (kilogram-kuvvet; kg.f)
I : Akım (A)
I_m : Motor Akımı (A)
i_m : Transformatör Mıknatıslanma Akımı (A)
i_{Rm} : Transformatör Remanans Akımı (A)
i_p : Transformatör Primer Akımı (A)
i_s : Transformatör Sekonder Akımı (A)
k : Transformatör Çevrim Oranı
L_p : Transformatör Primer Kaçak Reaktans (A)
L_s : Transformatör Sekonder Kaçak Reaktans (A)
L_m : Transformatör Nüve Kaçak Reaktans (A)
M_o : Gerekli Servo Momenti (N.m)
N : Newton ($kg.m/s^2$)
N_p : Primer Sarım Sayısı (sarım)
N_s : Sekonder Sarım Sayısı (sarım)
P : Sistem hava basıncı (Bar)
P_{kW} : Gerekli Servo Gücü (kW)
R : Ohm Kanuna göre Elektriksel Direnç (Ω)
R_1 : Üst Elektrotun Malzeme Direnci (Ω)
R_2 : Üst Elektrot - Üst İş Parçası Arasındaki Geçiş Direnci (Ω)
R_3 : Üst Parçanın Malzeme Direnci (Ω)
R_4 : Üst Parça - Alt Parça Arasındaki Geçiş Direnci (Ω)
R_5 : Alt Parçanın Malzeme Direnci (Ω)
R_6 : Alt Elektrot - Alt Parça Arasındaki Geçiş Direnci (Ω)
R_7 : Alt Elektrotun Malzeme Direnci (Ω)
R_c : Toplam Kontak Direnci (Ω)
R_p : Transformatör Primer Sargı Direnci (Ω)

Rs	: Transformatör Toplam Sekonder Direnci (Ω)
S	: Yüzey alanı (cm^2)
S_o	: Nüve Kesiti (cm^2)
Sn	: Nominal Görünür Güç (kVA)
V	: Gerilim Değeri (Volt)
Va	: Transformatör Primer Gerilim Düşümü (V)
Vb	: Transformatör Sekonder Gerilim Düşümü (V)
Vm	: Transformatör Remenans Gerilimi (V)
V_p	: Transformatör Primer Gerilimi (V)
V_s	: Transformatör Sekonder Gerilimi (V)
V_{max}	: Maksimum Hız (m/s)
W	: Joule Kanununa göre Üretilen Isı Miktarı (W.s)
t	: Süre (s)
t_{acc}	: Hızlanma İvme Süresi (s)
t_{dec}	: Yavaşlama İvme Süresi (s)
t_{sum}	: Toplam Hareket Süresi (s)
t_{max-V}	: Maksimum Hızda Gitme Süresi (s)
x_{acc}	: Hızlanma Boyunca Katedilen Mesafe (m)

KISALTMALAR

AC	: Alternatif Akım (Alternative Current)
ACSM	: Alternatif Akım Servo Motor (Alternative Current Servo Motor)
ASM	: Asenkron Servo Motor
CW	: Saat İbresi Hareket Yönünde (Clock Wise)
CCW	: Saat İbresi Hareketine Ters Yönde (Counter Clock Wise)
DC	: Doğru Akım(Direct Current)
DCSM	: Doğru Akım Servo Motor (Direct Current Servo Motor)
DKP	: SAE 1010, Çelik, 0.70 mm Kalınlıklı
EDK	: Elektrik Direnç Kaynak (Electric Resistance Welding)
EDNK	: Elektrik Direnç Nokta -Punta- Kaynak (Electric Resistance Spot Welding)
HMI	: Makine İnsan Arabirimi (Human Machine Interface)
HSC	: Hızlı Sayıcı (High Speed Counter)
I/O	: Giriş/Çıkış (Input/Output)
MMF	: Manyeto motor kuvvet (Magnetomotive force)
SKNK	: Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynağı (Friction Stir Spot Welding)
SM	: Servo Motor
SSM	: Senkron Servo Motor
SMSSM	: Sabit Mıknatıslı Senkron Servo Motor
PID	: Oransal-Integral-Türev Kontrol Denetimi (Proportional Integral Derivative)
PLC	: Programlanabilir Lojik Kontrolör (Programmable Logic Controller)
PWM	: Darbe Genişlik Modülasyonu (Pulse Width Modulation)
TR	: Transformatör (Transformer)

1. GİRİŞ

Son yıllarda yurt içi ve yurt dışı pazarda rekabet edebilmek için daha iyi, ucuz maliyetli ve aynı zamanda kaliteli üretim yapabilmek gereksiniminin hızla artması sebebi ile firmalarımızın tasarım ve yeni imalat yöntemlerine ağırlık vermeleri kaçınılmaz bir hale gelmiştir. Geçmişte çizilen ekonomik sınırların aksine günümüz koşullarında, sektörel bazda rekabete katılan firma sayısı sürekli artmaktadır. Bu koşullar altında firmaların geleceği, günümüz rekabet koşullarına olan uyumuna bağlıdır. Bu aşamada, ülkemizde ve dünyada imalatı yapılan parçalarının daha seri bir şekilde ve kısa süre içerisinde üretilmesi ön plana çıkmaya başlamıştır.

Firmaların; kontrol sistemleri ve teknolojide kaydedilen gelişmelere paralel, kaliteli, ekonomik ve seri şekilde *(fason)* imalat yapabileceği makine ve teçhizatlar ile oluşturulan üretim hatlarını benimsemeleri modern çağın bir gereğidir.

Ütü masası gibi paha, yani ederi düşük ürünler, imalat süreçlerinde fason üretimi gerektirir. Fason üretimin temel gayesi birim zamanda üretilen ürün miktarını artırmaktır. Bu durum, uygulamada, üretim hattı boyunca her noktada ölü zamanları azaltma ve ütü masalarının işleneceği makine ve teçhizatların dinamik performanslarını artırma ihtiyacını doğurur. 200' ü aşkın tipte ve ebatta üretilen ütü masasılarının imalat süreci;

- Her bir tipe yönelik kaynak parametrelerini uygun şekilde belirlemeyi,
- Ütü masası düzleminde kaynak noktalarını uygun şekilde pozisyonlayıp kaynağı gerçekleştirmeyi,
- Bu ayarları en kısa sürede makinelere adapte ederek hattı çalıştırmayı,
- Fason üretimin temel gayesi olan az zamanda çok iş yapmayı,
- Ve en kaliteli kaynağa sahip ürünleri tüketiciye sunmayı beraberinde getirir.

İhtiyaca uygun şekilde dizayn edilmiş bu işlevleri yerine getirebilen uzman sistemler birim zamanda üretilen ürün ya da iş akış miktarını arttırmakla kalmayıp üretim şartlarını daha iyi hale getirmekte ve fiziki iş gücünün azalmasına yardımcı olmaktadır.

1.1. Proje Detayları

Gündelik hayatta evlerimizde kullandığımız ütü masaları basit ama önemli işleve sahip ürünlerdir. Metalik ince saclardan yapılmış ütü masası tablası, ütülük, çerçeve profil ile üst delikli sacın birleşiminden oluşmaktadır. Bu parçaların birleştirilmesinde otomotiv sektöründe gövde elemanlarının birleştirilmesinde olduğu gibi elektrik direnç nokta kaynağı (EDNK) teknolojisinden faydalanılır. Elektrik enerjisinin ısı enerjisine dönüşümünün bir uygulaması olan EDNK, ısı ve basıncın bir arada kontrollü şekilde uygulanması ile gerçekleştirilen ve sac malzemelerin bir birine kaynatılmasında kullanılan yaygın bir kaynak yöntemidir. Bu kaynak yöntemi çok ince sacların kaynatılmasında kullanıldığı için oldukça hassas bir imalat sürecini beraberinde getirir. Kaynak işleminde kullanılacak makine ve işlem parametrelerinin uygun şekilde belirlenmemesi ısının doğru bölgede oluşmamasına, görüntü ve şekil bozukluklarına ve kaynağın istenen kalitede olmamasına sebep olmaktadır. Bununla birlikte uygun aralıkta düzgün ve gerekli kaynak işleminin yapılamaması ileriki zamanlarda puntaların atmasına ve bu iki yüzeyin birbirinden ayrılarak üst sünger ve bezinin yırtılmasına sebep olmaktadır. Bu çıktılar kaynak kalitesinin üretim aşamasında oldukça önemli bir yere sahip olduğunun göstergeleridir. Sonuçta, kaynak işlemini yapacak manipülatörün tasarımı ve sürecin kontrolü açısından oldukça kompleks bir uğraş karşımıza çıkmaktadır.

Bu tez çalışmasında ütü masası üretim hattı için geliştirilen elektrik direnç nokta kaynak makinesine ait kontrol ve kumanda işlevlerini yerine getiren merkezi kontrol birimi üzerine odaklanılmış ve uygun kontrol algoritmaları ile operatör arayüzleri tasarlanıp kontrol yazılımları oluşturulmuştur. Bununla birlikte makine bileşenlerine ait tasarım değerleri belirlenmiştir. Kaynak süreci incelenip süre, basınç, akım ve görüntü değişkenleri ile kaynak uygunluğu irdelenmiş ve dolayısı ile makinenin işlevini yerine getirmesinden emin olunmuştur.

Kontrolü gerçekleştirilen 4 ayrı kaynak manipülatörü bulunan EDNK makinesi ütü masası bileşenlerinin bir araya getirilmesinde kullanılmaktadır. Ütü masasında yapılacak nokta kaynağı işleminde gerekli noktaların pozisyonlaması servo sistemlerle, manipülatörlerin basınç kuvvetinin üretilmesi pnömatik tahrikle, sistemin tüm unsurlarının kontrolü ise PLC ile sağlanmaktadır. Bu tez çalışmasında gerçekleştirilen kaynak manipülatörü elektrik, kontrol, mekanik, pnömatik, metalurjik ve yazılımın bir birleşiminden oluşmaktadır.

Gerçekleştirilen tez çalışması ile ütü masasının üretim aşamasında seri ve kaliteli üretim için Endüstriyel Otomasyon sistemlerinin teknolojik üstünlüklerinden faydalanılması düşünülmüştür. Yeni nesil EDNK makinesi hem kalite hem de üretim hızına katkı sağlamakta ve doğrudan ülke ekonomisine hizmet etmektedir.

1.2. Tez Organizasyonu

Bu çalışmanın 2. bölümde kaynak araştırmasına yer verilmiştir. Üçüncü bölümde, EDNK' nın esasları anlatılmıştır. Dördüncü bölümde kontrol sistemlerinde tahrik incelenmiştir. Bu kısımda robotik ve ileri seviye otomasyon uygulamalarında genellikle bir veya birkaçının bir arada kullanıldığı elektrik, pnömatik ve hidrolik tahrik ile bu tahriklerin elemanlarına yer verilmiştir. Beşinci bölümde servo kontrol sistemi tanıtılmış ve 6. bölümde endüstriyel servo sistemlerde kullanılan elemanlardan bahsedilmiştir. 7. kısımda gerçekleştirilen makinenin kontrol sistemleri tasarlanmış, temel prensipleri incelenmiş ve uygulama sonuçlarına değinilmiştir. Son kısımda ise projeden elde edilen genel sonuçlar ile öneriler aktarılmıştır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Akbaş (2010) cam delme işlemini hatasız, firesiz, hızlı ve standart bir şekilde yapabilen bir makine tasarımı gerçekleştirmiştir. Birbirinden bağımsız iki delme kafasına sahip bu makine ile birim zamanda daha fazla sayıda ve aynı zamanda iki farklı çapta delik delebilmek mümkündür. Bu makinede her hareket ekseni için seçilmiş hassas servo motorlar sayesinde hızlı ve doğru pozisyonlama yapılabilmektedir.

Er (2010) EDNK ve sürtünme karıştırma nokta kaynağı (SKNK) yöntemleri ile birleştirilen EN AW–5005 (AlMg1) alüminyum alaşımı bağlantılarının kaynak performansı açısından mukayesesini yaparak SKNK bağlantılar için optimum kaynak parametrelerini tayin etmeyi amaçlamıştır. Bununla birlikte SKNK yöntemi ile elde edilen bağlantıların kaynak performansına etki eden kaynak parametrelerinin etkileşimlerini araştırmıştır. Ayrıca her iki nokta kaynak yöntemi ile elde edilen bağlantıların mikro yapı özelliklerini incelemiştir.

Coşkun (2009) çalışmasında endüstriyel koşullarda EDK ve SKNK yöntemlerini kullanarak bağlantılar oluşturmuş ve bu bağlantıların elde edilmesinde bilinen kaynak parametreleri ile bunlardan başka kaynak parametrelerini kullanmıştır. Elde ettiği bağlantıları laboratuvar koşullarında kesme-makaslama deneyine, kaynak bölgelerinin incelenmesi maksadıyla metalografik incelemeye ve Vickers sertlik taramasına tabi tutmuştur.

Keleş (2008), yapmış olduğu çalışmada protatip bir punta kaynak makinesi tasarım ve imalatı yaparak bu makineyi nesne yönelimli programlama mantığıyla bilgisayar kontrollü hale getirmiştir. Sistemde pozisyonlamayı adım (step) motorlar ile yapmış; step motorun sürülmesi ile diğer kontrol işlemlerini DSP PIC ile gerçekleştirmiştir. Punta kaynak manipülatörünün düşey hareketlerini valfler aracılığıyla sağlamıştır. Makine insan arayüzünü C++ ile nesne yönelimli olarak kodlamıştır. Bu programı ile noktalar arası mesafeyi, X-Y koordinatları ve kaynak akımını ayarlayabilmektedir. Sistem kaynak kalitesi, zaman ve maliyet açısından ciddi iyileştirmeler yapılabileceğinin göstergesi olmuştur.

Aktaş (2008) çalışması ile EDNK' nın otomotiv endüstrisinde kullanılan en yaygın yöntem olduğunu göz önünde bulundurmuş ve sektörde yaygın kullanılan

kalınlıklar olan 1mm ile 1,2 mm dual-faz sacların elektrik direnç nokta kaynağı ile kullanım yerine göre uygun kaynak parametrelerini tespit etmeyi amaçlamıştır.

Klopcic ve ark. (2008) yaptığı çalışmada orta frekenslı bir nokta direnç kaynak sistemi üzerinde durmuştur. Girişte doğrultulan kaynak akımı, kontrollü PWM inverter ile kıyılmış ve kaynak transformatörü üzerinden sekonder kısma aktarılmıştır. Sekonderde tam köprü bir doğrultucu ile yeniden doğrultulan DC kaynak akımı yüke uygulanmıştır. Çalışmada kullanılan transformatörün doyuma gidip gitmemesi gözlemlenmiştir.

Eşme ve ark. (2008)' ları çalışmalarında, direnç kaynağın modellenmesinde geri yayılmalı (BPN) ve genel regresyonlu (GRNN) yapay sinir ağları metodunu kullanmışlar ve çekme mukavemetini her iki modelleme tekniği ile modelleyerek sonuçları kıyaslamıştır. Bu çalışmada, direnç kaynağın modellenmesinde her iki modelleme yönteminin kullanılabileceğini kanıtlanmıştır. Elde ettikleri sonuçlar, genel regresyonlu sinir ağları metodunun geliştirdikleri yöntemde daha kesin ve düşük hata ile sonuç verdiğini göstermişler ve geri yayılmalı yapay sinir ağlarının direnç kaynağın da parametre genelleştirmesinde geri yayılmalı yapay sinir ağlarının genel regresyonlu modellemeden daha etkin olduğunu göstermiştir.

Pal ve ark. (2008)' ları kaynak işleminde kaynak birleştirme mukavemetinin izlenmesini bu makalede adresler. Çalışmada çok katmanlı yapay sinir ağı tayin etmek için geliştirilmiş ve bu modelde altı proses parametresi giriş değişkeni, buna karşın çıktı değişkeni olarak ise kaynak mukavemeti alınmıştır. Kaynaklı plakaların çekme gerilmelerini tayin etmede birçok katlı sinir ağı modeli geliştirilmiştir. Altı proses parametresini model giriş değişkeni, çıktı değişkeni olarak ise kaynaklı plakanın UTS' sini kullanmıştır. Çoklu regresyondan elde edilen çıktı, ANN model çıktısı ile karşılaştırılmıştır. Geliştirilen ANN modelle elde edilen kaynak mukavemeti çoklu regresyondan elde edilenden daha iyi olduğunu belirlenmiştir.

Kaçar ve ark. (2008)'ları, teorikte paslanmaz çeliklerin nokta direnç kaynaklı birleştirmeleri üzerine çeşitli çalışmalara rastlanırken fabrikasyon uygulamaları göz önünde bulundurulduğunda soğuk deforme edildikten sonra nokta dirençli kaynaklı birleştirmelere ait geniş kapsamlı çalışmalara ihtiyaç duyulduğunu belirtmiştir. Bu amaçla çalışmada AISI 304 kalite ostenitik paslanmaz çelik saclar, mukayese yapabilmek amacıyla, ticari olarak temin edildiği gibi ve %5, %10 ve %20 soğuk deforme edildikten sonra üç farklı kaynak zamanında (20, 30 ve 40 çevrim) sabit elektrot baskı kuvveti uygulayarak birleştirmiştir. Bağlantının kaynak kalitesini

belirlemek amacıyla birleşimin mikro yapısını inceleyip sertlik ve çekme makaslama yükü taşıma kapasitesini belirlemişlerdir. Ostenitik paslanmaz çelikler endüstride belirli soğuk deformasyon işlemine tabi tutulduktan sonra direnç kaynaklı işlemlere maruz kalacaksa istenilen yeterli bağlantı dayanımını sağlayan en düşük ısı girdisi ile birleştirilmesi sonucuna varmıştır.

Yılmaz (2008)' ın yapmış olduğu çalışmada, endüstrinin çeşitli alanlarında kullanılabilecek AC ve DC servo sistemleri anlatmış ve bu sistemlerin eğitim amaçlı prototiplerini gerçekleştirmiştir. Kullandığı deney düzenekleri için PC tabanlı servo motor kontrol yazılımı gerçekleştirmiştir. Kullanılan PLC'nin, PC ile seri haberleşmesinden yararlanarak Visual Basic ortamında entegre yazılım geliştirmiştir. Kontrol yazılımını, servo motorlara PLC üzerinden uygulamıştır. Servo motorların çalışması için gereken gücü, servo sürücüler aracılığıyla sağlamıştır. AC servo sistemde geri besleme sinyal bilgisi sürücüye, DC servo sistemdeyse PLC' nin hızlı sayıcı girişine uygulamıştır. Servo sürücüler üzerindeki motor kontrol parametreleri ile hassas bir kontrol sağlamıştır.

Xinmin ve ark. (2007)' ı otomobil endüstrisinde kullanılan servolu punta kaynak manipülatör üzerine bir çalışma yapmıştır. Elektrot posizyonu ve basınç bilgisinin geri besleme olarak alındığı servo motorla sürülen kaynak manipülatörün daha hassas bir işlem gerçekleştirildiği ve bunun kaynak kalitesini artırdığını görülmüştür.

Ünlükal (2007)'ın yaptığı çalışmada otomotiv gövdesinin üretiminde direnç nokta kaynağı prosesi, kaynak parametreleri ve kaynak kalitesini etkileyen etmenleri incelemiştir. Çalışmasında, direnç nokta kaynağını tanıttıktan sonra, otomotiv sanayindeki uygulamaları ve direnç nokta kaynağını etkileyen etmenleri anlatmıştır. Yapılan deneylerle kaynak parametrelerinin direnç nokta kaynak kalitesine etkilerini incelemiştir.

Keskin (2007)' in yaptığı çalışmada, bilhassa otomotiv sektöründe, robotik kaynak sistemine geçiş için gerekli bilgiler verilmiş ve takip edilmesi gereken prosedür araştırılmıştır. Otomotiv sektöründe kullanılan elektrik direnç, gaz altı ve lazer kaynak metodları detaylıca incelenmiştir. Bu metodların prensipleri, ekipmanları, uygulama alanları ve avantajlarından bahsedilmiş ve ardından kaynaklı bağlantının kalite kontrolü ele alınmıştır. Bu hususta kaynaklarda meydana gelen hatalar ile bu hataları tespit etmek için kullanılan tahribatlı ve tahribatsız muayene yöntemlerine değinilmiştir.

Almus (2006)' un çalışmasında, titanyum ve düşük karbonlu çelik levhalar nokta direnç kaynak yöntemi kullanılarak birleştirmiştir. İşlemleri ara bağlayıcılı ve ara

bağlayıcı kullanılmaksızın gerçekleştirmiş ve ara bağlayıcı olarak da A1306 gümüş alaşımını folyo kullanmıştır. Kaynak işlemleri esnasında kaynak akım ve basınç değerlerini sabit tutup, kaynak sürelerini değiştirmiştir. Kaynaklı numunelere çekme ve sertlik testleri ile mikro yapı çalışmaları uygulamıştır. Çekme testleri sonucunda titanyum-çelik birleştirmelerinde en iyi sonucu ara bağlayıcılı birleştirmelerden elde ederken, titanyum-titanyum birleştirmelerinde ara bağlayıcının birleşme mukavemetini olumlu yönde etkilediğine dair bir bulguya rastlamamıştır. Sertlik testleri sonucunda en yüksek sertlik değerlerini ITAB' da ölçerken bunu sırasıyla kaynak çekirdek merkezi ve ana malzeme takip ettiğini belirtmiştir.

Yılmaz (2005) çalışmasında, iki eksenli hareket eden punta kaynak makinesinin konum kontrolünü, bilgisayar ve mikrodenetleyici kullanarak gerçekleştirmiştir. Punta yapılacak noktayı bilgisayar ekranı üzerinden iki boyutlu bir düzlemden oluşan grafik yardımıyla görsel şekilde tayin edilebilir hale getirmiştir. İki eksende hareketi sağlamak üzere iki adet adım motor kullanmıştır. Adım motorların denetimini PIC16F877 ile yapmıştır. Bilgisayarın paralel portu ile PIC16F877 arasındaki haberleşmeyi IEEE-1284 protokolünün Compatibility modu ile gerçekleştirmiştir.

Junno ve ark. (2004)' ı nokta direnç kaynağı sisteminde Öz düzenleyici Haritalar Metodunun işlemi öğretme ve başlangıç parametrelerini belirlemede nasıl kullanılacağını açıklamışlardır. Sistemden elde edilen öğrenme parametrelerini proses kendi içinde sınıflandırmaktadır. Eğitilmiş Öz düzenleyici Haritaya yeni veriler girildiğinde sistem operatörün istediği şekilde işlemi gerçekleştirmektedir.

Kelkar (2003)' ın yapmış olduğu çalışmada PWM darbeli güç kontrolünün EDNK' da gerekliliğinden bahsetmiştir. Sabit ve darbeli şekilde EDNK enerjisi ile örneklediği çalışmada malzeme ve temas dirençlerin her iki durumdaki dinamik değişimini incelemiştir. Neticede, darbeli şekilde güç aktarımının enerji tasarrufu, kalite ve görünüm açısından daha iyi olduğunu vurgulamaktadır.

Yumurtacı ve ark. (2003) 'ı ülkelerin endüstriyel robot kullanımına ait istatiksel verilerden ve endüstriyel robotlar ile yapılabilecek kaynak yöntemlerinden bahsettikleri makalelerinde; kendi maliyetlerini uzun sürede amorti etmelerine rağmen kaynak robotlarının yaptığı kaynağın insanların yaptığı kaynaktan çok daha kaliteli ve tutarlı olduğunu belirtmişlerdir.

Chen ve ark. (1997)' ı yaptığı çalışmada, direnç nokta kaynağı ile yapılan proses boyunca dinamik direnç kaynağı akım değerinin kestiriminde bulanık adaptif kontrolü kullanmışlardır. Akım referans modeline dayalı kontrol üzerine uygulanan fuzzy adaptif

kontrol ile kaynak prosesin transiyent performansının iyileştiğini FEM üzerinden gözlemlemişlerdir. Bu metodla punta kaynak prosesinde dinamik kontrolün ve enerjinin daha verimli kullanılabildiği vurgulanmıştır.

3. ELEKTRİK DİRENÇ NOKTA KAYNAĞI

3.1. EDK ve Çeşitleri

Metallerin ve alaşımların ayrıca bir metal (elektrot) kullanarak veya kullanmadan, sıcaklık ve basınç etkisi ile birleştirilmelerine "kaynak" adı verilir (Peşint, 2000). Pratikte kaynak bağlama, imalat ve tamirat işlemlerinde kullanılan bir birleştirme yöntemidir (Akkurt, 2000).

Kaynak yerindeki sıcaklığın elde edilişine göre iki türlü kaynak vardır.(Peşint, 2000) Bunlar:

A. Ark kaynağı

B. Direnç kaynağıdır.

Ark kaynağına ergime - eritme kaynağı, direnç kaynağına ise katı hal - basınç kaynağı gibi isimler de verilmektedir (Peşint, 2000). Ark kaynağında, ısı ile birlikte elektrot adı verilen bir ek malzeme kullanılırken bu yöntem oldukça büyük yüklere maruz kalan bağlantılar da kullanılmaktadır (Akkurt, 2000). Direnç kaynağında ise ek bir malzemeye ihtiyaç duyulmamaktadır. Isı ile birlikte malzemeler birbirine bastırılmakta, ısının yoğun olduğu temas yerlerinde malzeme nokta halinde yumuşamakta ve bağlantı difüzyon yolu ile gerçekleşmektedir (Er, 2010).

Direnç kaynak yöntemleri yüz yılı aşkın bir süredir kullanılan özellikle ikinci dünya savaşından sonra kullanımı hızla artan bir üretim yöntemi olma özelliğini korumaktadır (Coşkun, 2009).

Elektrik direnç kaynağı (EDK) akımın ısı etkisinden faydalanılarak yapılan bir kaynak şeklidir. Kaynak edilecek parçalar belirli bir basınç altında yanyana getirilerek üzerlerinden yüksek akımlar geçirilir. Bu sırada birleşme yüzeylerinde oluşan ısı, parçaların ergiyip kaynak olmasını sağlar (Peşint, 2000). Tabiki, uygun bir akım şiddeti ve kaynak zamanı ayarı tüm EDK çeşitleri için geçerlidir.

EDK, yaklaşık 3 mm kalınlığa kadar olan levhaların birbiri üzerine bindirilerek birleştirilmesinde çok geniş bir şekilde kullanılır. Genellikle aynı birleşimde ve aynı kalınlıktaki saçların birleştirilmesinde kullanılır. Bununla beraber ikiden daha fazla metal levhanın birleştirilmesi, kalınlıkları ve birleşimleri farklı metallerin başka bir metal ile kaplanmış saçların birleştirilmesinde de kullanılır. Gaz veya su sızdırmazlığı

istenmeyen, pres ile şekillendirilmiş parçalardan meydana gelen birleşik parçalar yüksek bir üretim hızıyla en ekonomik şekilde nokta kaynağı vasıtasıyla birleştirilebilirler (Ünlükal, 2007).

Özellikle uçak ve otomotiv endüstrisinde tercih edilmekle birlikte ev aletleri yapımı, hassas cihaz tekniği, elektroteknik, aparat yapımı, çelik konstrüksiyonlar, kap imalatı, boru üretimi gibi alanlarda, değişik malzeme ve malzeme kombinasyonlarının kaynağı için kullanılır (Anık, 2000).

Bu kadar çok alanda kullanılabilir olmasının nedenleri şu şekilde sıralanabilir (Hwang, 2010; Kaluç, 2004) :

- Seri üretime uygunluk,
- Kaynak operatörünün az bir bilgiyle yüksek kaliteli imalatı,
- Kısa işlem süresinde hızlı bir üretim,
- Düşük işçilik giderleri,
- Otomasyona ve mekanize hale getirilmeye elverişlilik,
- Ek kaynak metali ve dolgu malzemesi kullanılmadığından dolayı hafif bir birleştirme,
- Yüksek kaynak mukavemeti,
- Görünüm olarak diğer kaynak yöntemlerine göre daha düzgün kaynak bağlantıları elde edilmesidir.

EDK kullanımının bu avantajlarının yanı sıra aşağıdaki gibi bazı dezavantajları da bulunmaktadır (Ünlükal, 2007) :

- Kontrol altında tutulması gereken kaynak parametreleri çok fazladır. Yüksek güç tüketimi gerektirir. Özellikle tek fazlı makinalarda güç tüketimi yüksektir.
- Bağlantılar minimum bozulmayla oluşturulur.
- Levhalar arasındaki çekirdeğin çevresindeki çentikten dolayı, nokta kaynakları düşük gerilme ve yorulma dayanımlarına sahiptir. Bir nokta kaynağı bağlantısından sacın dayanımının tamamı elde edilemez, çünkü bu kaynakta erime süreksizdir ve basınç etkisi ile temin edilen bindirme kaynağın homojen dağılımını güçleştirmektedir.
- Ekipman açısından bazı dezavantajları vardır; ilk donanım kurulumunun maliyeti fazladır. Punta kaynak akım yolu için kullanılan malzemelerin sökülmesi ve tamiri zordur.

EDK yönteminin endüstriyel uygulamaları aşağıdaki gibi sınıflandırılır (Anık, 2000).

A. Nokta Kaynağı

A_1. Normal Nokta Kaynağı *(EDNK)*

A_2. Kabartılı Nokta Kaynağı

B. Dikiş Kaynağı

B_1. Sürekli Dikiş Kaynağı

B_2. Aralıklı Dikiş Kaynağı

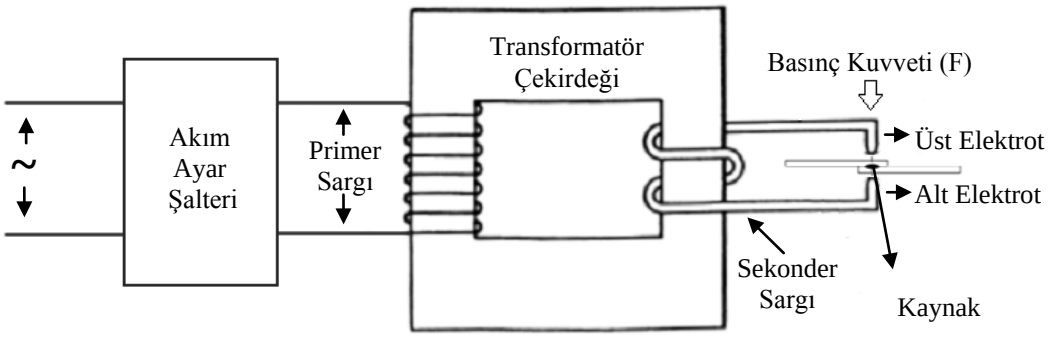
C. Alın Kaynağı

C_1. Basınçlı Alın Kaynağı

C_2. Yakma Alın Kaynağı

3.2. EDNK Esasları

EDNK, EDK çatısı altında bulunan ve bu metodu açıklamada kullanılan temel yöntemdir. İyi cins iletken (örneğin; bakır) iki elektrot (punta ya da çene de denilmektedir.) arasına yerleştirilen iletken iş parçalarının oluşturduğu kısa devre kaynak direncinin, sistemden geçen yüksek değerdeki elektrik akımına karşı zamana bağlı oluşturduğu ısıl enerji ile, elektrot sistemine uygulanan basıncın bir arada tatbiki; ve bu işlem sonucunda oluşan metal eriyiğin basınç altında gerekli soğuma süresince kalıcı bir yapı oluşturması esasına dayanır. Bu işlem için gerekli temel devre Şekil 3.1' de verilmiştir.



Şekil 3.1. EDNK Temel Devresi (AC)

Kaynak süresince gereken akım transformatörlerden sağlanır. Kaynak makinelerinde kullanılan transformatörlerin normal iki sargılı ile oto transformatörlerden farklı bazı özellikleri vardır. Bu transformatörlerin dış karakteristikleri, kaynak akımı arttıkça gerilimi hızla düşecek şekildedir. Bu tip transformatörlerin yük akımları arttıkça gerilimleri azalmaktadır. Sistemde kullanılan transformatörlerin kısa devre gerilim değeri %100' dür (Peşint, 2000).

Kaynak işlemi sırasında kaynak transformatörünün primerine etiketinde bulunan nominal gerilim değeri uygulanır. Genellikle, sisteme özgü bir transformatör sardırılır. Bu değer şebeke şartlarına bağlı olarak yükselip-alçalabilir. Primer gerilim neticesinde transformatörün sekonderinde lenz kanunu uyarınca bir gerilim indüklenir. Bu gerilimin değeri transformatörün çevrim oranına bağlı olarak 1-10 V (Peşint, 2000) aralığında olabilir. Bu değer tasarıma göre az çok farklılıklar gösterebilir.

EDNK transformatörlerinin primeri çok sipirli ve ince kesitli; sekonderi ise az sipirli ve kalın kesitlidir. Bu tasarım malzemenin direnç etkisine dayalı EDNK yönteminde yüksek akımlara ihtiyaç duyulmasından ileri gelir. EDNK makinelerinde akım ayarı eski tip makinelerde primerden çıkartılan uçların akım şalteri ile değitirilmesi ile yeni nesil makinelerde ise bu yapının yerini alan güç elektroniği elemanlarının anahtarlanmasına dayalı kontrol sistemleri ile yapılmaktadır. Uygulamada kaynak hem doğru (DC) hemde alternatif (AC) akımla yapılabilir. DC ile yapılan kaynak, AC ile yapılan kaynağa göre daha iyi sonuçlar vermektedir. Bazı kaynak transformatörlerinde doğrultucular kullanılmakta ve AC akım, DC akım şekline dönüştürülerek kaynak yapılmaktadır. İyi bir kaynak için akımın elektrotlar basarken geçmesi daha önce geçmemesi gereklidir. Elektrotların birleştirilmeleri ve ayrılmaları sırasında bir ark olmaması için mekaniksel ve elektriksel düzenekler (Peşint, 2000) ile kontrol birimleri gereklidir.

EDNK için gereken basınç kuvveti, transformatör ile sekonderden irtibatlı elektrotların pnömatik, hidrolik veya mekanik tahriki ile iletilir. Uygulamada hızlı ve ucuz olması nedeniyle elektrotlar pnömatik tahrikle bastırılmaktadır. Bununla birlikte hassas pozisyon gereken sistemlerde mekanik kontrol motorları ve servo valflerden yararlanmak daha uygun olabilir.

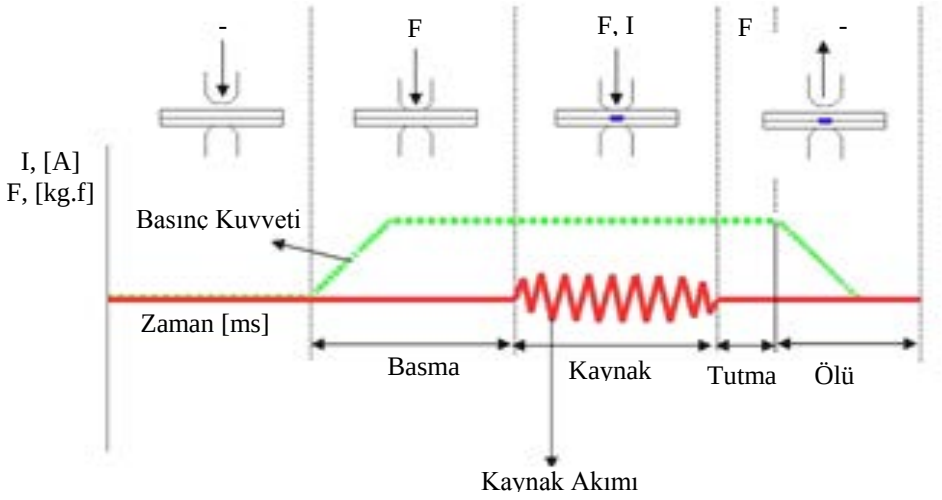
Elektrotlar basınç altında dinamik hareket ederler. Hareket hızının değişimi, hareketli parçaların ağırlığından veya ataletinden, sabit ve hareketli parçalar arasındaki sürtünmeden etkilenir. Bu şartlar altında yeterli elektrot kuvvetini sağlamak gereklidir (Keleş, 2008). Kaynak işi bittikten sonra, elektrotlar parçaların bir süre daha basınç

altında tutar ve kaynağın katılaşmasını sağlar. Bu nedenle soğutma işlemi süresini azaltmak için, elektrotlar imal edilirken içerilerinden soğutma suyu dolaşabilecek şekilde yapılırlar. Bu yolla elektrotların malzeme üzerinde basınç altında kalma süreleri azaltıldığından, elektrotların mekanik ömrü de uzatılmış olur (Peşint, 2000).

Elektrotların iş parçalarına yaklaşma ve uzaklaşma hızları önemlidir. Bu işlem sırasında elektrot hızı yüksek olmalı ancak, elektrotların deforme olmasına da neden olmamalıdır. Çünkü ısınan iş parçalarında, kaynak işlemi sırasında hem genişleme hem de büzülme meydana gelmektedir (Keleş, 2008).

EDNK' da akımın geçiş süresi çok kısadır. Kaynak süresi parçaların cinsi, kalınlığı ve akımın şiddetine bağlıdır. Bu amaçla cetveller hazırlanmıştır ve en uygun değerler buralardan seçilmektedir (Peşint, 2000).

Kaynak esnasında akım, basınç ve ölü sürelerin belirlenmesi ve bu sürecin kontrolü hassas bir düzenleme gerektirir. Kontrolü temin etme adına, EDNK süreci aşağıdaki (Şekil 3.2) gibi safhalara ayrılmıştır.



Şekil 3.2. EDNK Kaynak Çevrimi (Gourd, 1995; Keleş, 2008)

Kaynak safhaları en basit haliyle aşağıdaki şekilde özetlenebilir (Keleş, 2008; Kurşungöz, 1986).

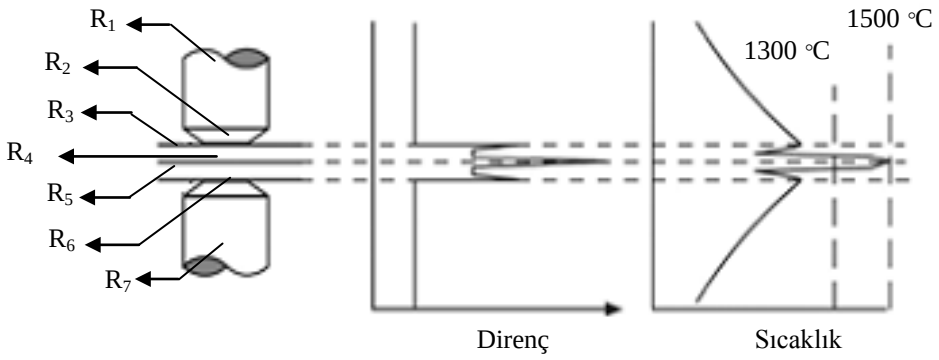
i) Basma Zamanı: Elektrot kuvvetinin uygulanmasından, kaynak işleminin gerçekleşmesine kadar geçen süredir. Bu süre "Ezme Zamanı" şeklinde de isimlendirilmektedir.

ii) Kaynak Zamanı: Kaynak akımının uygulanmaya başlanmasından, bitmesine kadar geçen süredir.

iii) Tutma Zamanı: Kaynak akımının kesilmesinden, elektrot kuvvetinin kesilmesine kadar geçen süredir. Bu süre "Dövme Zamanı" olarak da adlandırılmaktadır.
iv) Ölü Zaman: Elektrot kuvvetinin kesilmesi ve elektrot ağızlarının açılmasını kapsayan süredir.

3.2.1. Isı Oluşumu ve Nedenleri

Temelde EDNK işlemini gerçekleştiren makine, sekonder sargısı kaynak malzemeleri ve hava boşlukları üzerinden kısa devre edilen bir transformatördür. Sistemde kaynatılacak parçalar transformatör ile irtibatlı kaynak manipülatörünün alt ve üst elektrotu arasına kağıt destesi şeklinde yerleştirilir. Bunun sonucunda, sekonder tarafta çeşitli direnç bölgelerine sahip bir elektrot sistemi (Şekil 3.3) oluşur.



Şekil 3.3. EDNK Direnç Bölgeleri (Anonymous, 2009)

Bu dirençler :

R_1 : Üst elektrotun malzeme direnci,

R_2 : Üst elektrot - üst iş parçası arasındaki geçiş direnci,

R_3 : Üst parçanın malzeme direnci,

R_4 : Üst parça - alt parça arasındaki geçiş direnci,

R_5 : Alt parçanın malzeme direnci,

R_6 : Alt elektrot - alt parça arasındaki geçiş direnci,

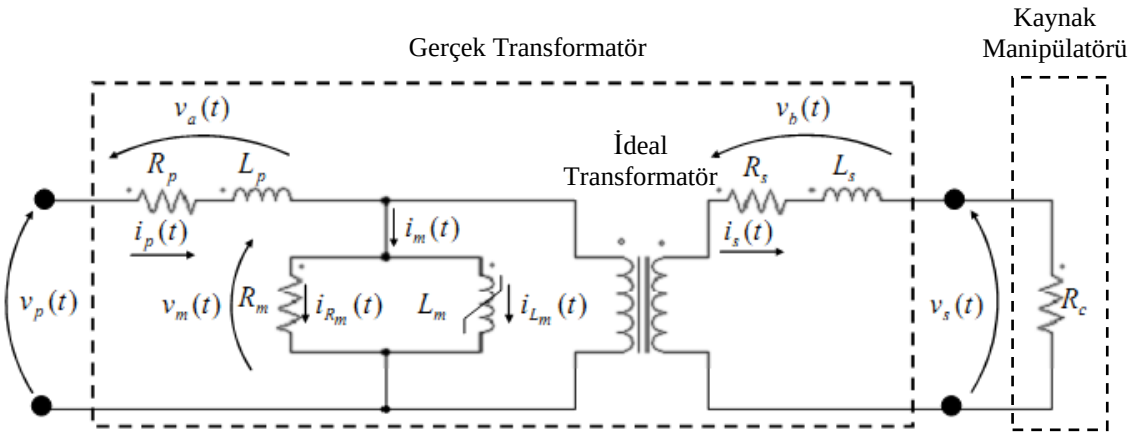
R_7 : Alt elektrotun malzeme direncidir.

Şekil 3.3.' de verilen dirençlerin transformatör eşdeğer devresindeki dağılımı; yani, sekonder direnç (Rs) ve bu dirençler ile seri haldeki kontağı sağlayan direncin (R_C) karşılıkları aşağıdaki gibidir.

$$R_S = R_1 + R_7 \quad (\Omega) \tag{1}$$

$$R_C = R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6 \quad (\Omega) \tag{2}$$

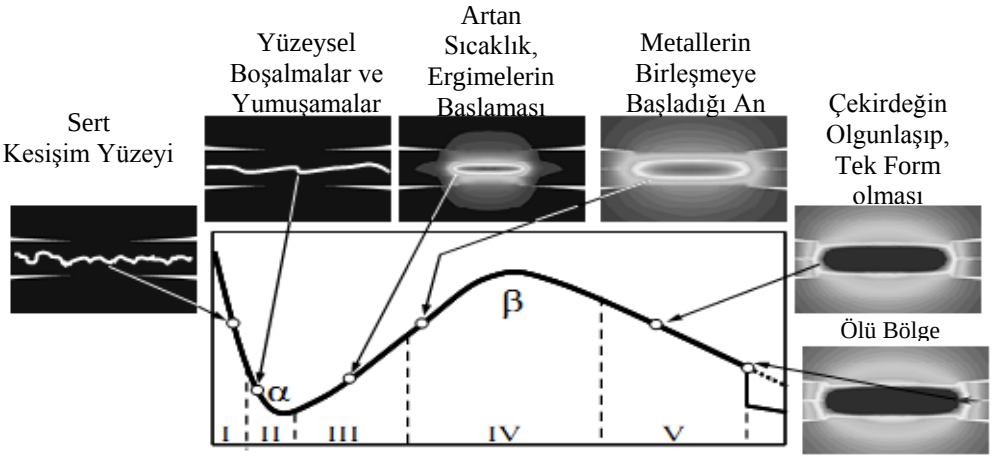
Bu değerler transformatör elektrodinamik modelinde aşağıdaki şekilde gösterilebilir.



Şekil 3.4. Monofaze EDNK Makinesi için Elektrodinamik Model (Furlanetto, 2005)

Bu modelde; toplam sekonder direnç (R_C + R_S), toplam sekonder endüktif reaktans (L_S) ve sekonder gerilim (V_S) kaynak akımının değerini belirler. Transformatörün sekonder akım değeri aşağıdaki gibidir :

$$I_S = \frac{V_S}{R_C + R_S + jwL_S} \quad (A) \tag{3}$$

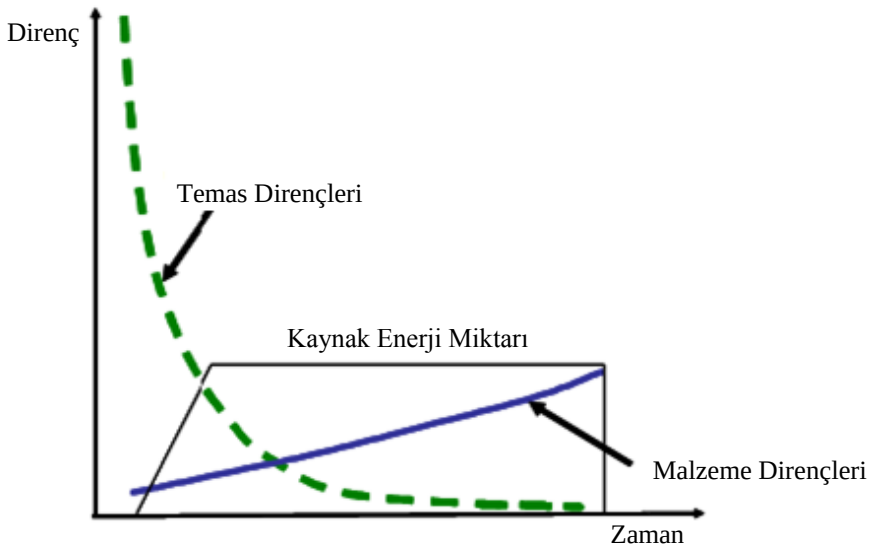


Şekil 3.5. R_C Direncinin Zamana Bağlı Değişimi

Kaynak sırasında R_C sıcaklık ve basınca bağlı değişken bir dirençtir. (Şekil 3.5) Direnç üzerine etkiyen basınç ilk etapta metalleri ezer ve birbirine yaklaştırır. Bu esnada R_C' nin direnci azalır. Primere uygulanan şebeke gerilimi ile oluşan I_S akımı ve sistem gereği var olan direnç nedeniyle Joule Kanununa göre bir ısı açığa çıkar;

$$W = I^2.R.t \qquad (w.s) \qquad (4)$$

Ortaya çıkan ısı ile birlikte ilk etapta maksimum dirence sahip alt ve üst parça arasındaki geçiş direncinde (R_4) yüzeysel boşalmalar başlar. Devam eden süreç boyunca artan sıcaklık metalik iş parçalarının özdirencini artırır. Artan direnç daha çok ısı açığa çıkmasına neden olur. Metallerin ergime sıcaklığına varıldığında, metaller ergir ve kaynak çekirdeği genişler. Ergime ile birlikte basıncın etkisi metalleri tek form haline getirir. Bu esnada hava boşluklarının tamamen yok olması R_C' nin direncini azaltır.



Şekil 3.6. Sabit Enerji Miktarında EDNK Dirençlerinin Değişimi (Kelkar, 2004)

Sabit bir enerji miktarı sisteme uygulandığında R_S ve R_C' yi oluşturan dirençlerden temas dirençlerinin (R_2, R_4, R_6) basınç etkisi ile azaldığı, malzeme dirençlerinin (R_1, R_3, R_5, R_7) ise sıcaklık etkisi ile arttığı görülebilir. (Şekil 3.6) Dinamik haldeki bu dirençler (*) yeniden isimlendirildiğinde sekonder seri toplam direnci (R_T) :

$$R_T = R_1^* + R_2^* + R_3^* + R_4^* + R_5^* + R_6^* + R_7^* \qquad (\Omega) \qquad (5)$$

şeklindedir. Kaynak ısı miktarının hesabında Joule Kanunun elektriksel iş eşdeğeri;

$$W = U.I.t = I^2.R.t \quad (W.s) \tag{6}$$

geçerlidir.1 W.s = 0,239 cal yerine yazıldığında oluşacak ısıl enerji miktarı:

$$Q = 0,239.I_S{}^2.R_T.t_W \quad (cal) \tag{7}$$

kadardır. Bu eşitlikte; I_S kaynak akımını, R_T dinamik temas ($R_2{}^*$, $R_4{}^*$, $R_6{}^*$) ve malzeme dirençlerinin ($R_1{}^*$, $R_3{}^*$, $R_5{}^*$, $R_7{}^*$) birleşiminden oluşan toplam kaynak direncini ve t_W kaynak akımının devreye uygulanma zamanını temsil eder. Ancak, kaynak işlemi sürecinde I_S ve R_T' nin zamana bağlı değişken olduğu düşünüldüğünde, denklemin integral formunda olmasının daha uygun olacağı aşikârdır.

$$Q_{ZU} = c.\int_{t=0}^{t=t_w} I_S{}^2(t).R_S(t).dt \quad (cal) \tag{8}$$

Üretilen ısıdan (Q_{ZU}) elektrotlarda iletim (Q_{VZ}), saclarda iletim (Q_{VB}) ve ışıma (Q_{VS}) yolları ile kaybolan ısı miktarları (Anık, 2000) çıkartıldığında faydalı kaynak enerjisi (Q_W) elde edilir.

$$Q_W = Q_{ZU} - \left(Q_{VZ} + Q_{VB} + Q_{VS}\right) \quad (cal) \tag{9}$$

Sistemin enerji verimi ise aşağıdaki şekilde hesaplanabilir.

$$\eta = \frac{Q_W}{Q_{ZU}} \times 100 \tag{10}$$

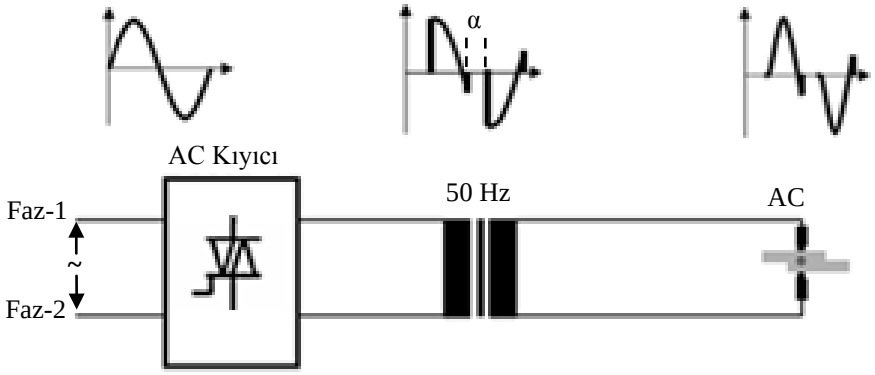
Sekonder devreyi meydana getiren elektriksel sistem, istenilen noktada ısı meydana getirecek ve sistemin geri kalan elemanlarının nispi olarak soğuk kalmasını sağlayacak şekilde (Şekil 3.3) etüt edilmelidir (Hayat, 2005). Çünkü, EDNK direnç bölgelerinin her birinde o bölgenin direnci ile orantılı ısıl bir dağılım oluşur. En fazla ısının kaynak noktasında, yani, kaynak edilecek metallerin temas yüzeyinde (R_4 direnci) oluşması gerekmektedir. Bu nedenle sistem tasarımında direnç değerlerini iyi tespit ederek maksimum ısıyı doğru bölgede oluşturmak önemlidir.

3.2.2. Kaynak Akımı

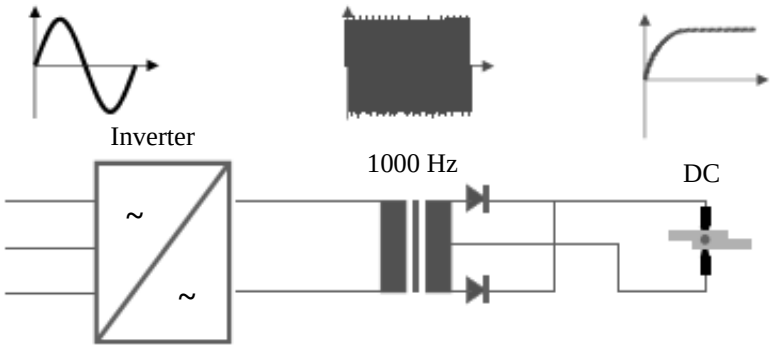
Akım, selektif direnç dağılımı iyi yapılmış EDNK makinesinde ısı oluşumunun ($Q \sim I^2$) en önemli parametresidir. EDNK makineleri için kontrollü bir akım, güç elektroniği sistemleri ile temin edilebilmektedir. Bunlar :

- SCR AC (AC Kıyıcı + Kaynak Transformatörü, Şekil 3.7),
- MFDC (Orta Freakans Inverteri + Kaynak Transformatörü + Doğrultucu, Şekil 3.8)

yöntemleridir.



Şekil 3.7. AC Kıyıcılı Güç Hattı



Şekil 3.8. Orta Frekans-İnverterli DC Güç Hattı

Kaynak akımının ısı üretiminde önemli bir değişken olması, dikkatlice kontrolünü gerektirmektedir. Akım değişimlerine şebeke gerilimindeki değişimler ve kaynak makinesinin sekonder devresinde yapılan çeşitli değişiklikler neden olabilir. Diğer yandan, kaynak sırasında, kaynak bölgesindeki akım yoğunluğunda da azalma meydana gelebilir. Bu olay, akımın bir önceki kaynak noktasından ve elektrotların etki alanı dışındaki metalik temas noktalarından kısa devre olması sonucunda ortaya çıkar. Kısa devre nedeniyle nokta çapı yeterli bir değere erişemez. Ayrıca, kullanım sırasında, uç çapı çeşitli sebeplerden dolayı büyümüş elektrotlar, akım yoğunluğunda azalmaya neden olur (Hayat, 2005).

Kaynak makineleri için akımın temin edileceği yapıda aranacak temel kriterler şunlar olmalıdır (Peşint, 2000):

- İlk ateşlemenin yapılması için yeterli gerilimin bulunması,
- Kaynak akımının mümkün olduğu kadar sabit tutulmasıdır.

Bu amaçla tasarımı yapılacak makinede primer giriş gerilimi ile sekonder akımını izlemek, sürecin kontrolünü kolaylaştıracak ve EDNK performansını artıracaktır.

Yapılan kaynak işlemi düşünüldüğünde, sacları birbirine puntalama sürecinde çenenin tüm ekipmanları arasında sadece elektrot ucu saca temas etmektedir. Bu yüzden punta kaynak işleminde doğru elektrot kullanımı, yapılan puntanın istenen kalitede olması için en önemli etkenlerden biridir (Ünlükal, 2007). EDNK 'nda elektrotlar üç ana fonksiyonu yerine getirir (Keleş, 2008):

1. Kaynak akımının iş parçasına iletilmesi,
2. Kaliteli bir kaynak üretmek için, kaynak alanı içinde iş parçalarına gereken güç miktarının iletilmesi,
3. Isıyı kaynak bölgesinden dışarıya hızla yaymak.

Elektrotlar ısıl yayılımı, elektrik iletkenliği ve sürünme direnci yüksek olan malzemelerden yapılır. Elektrot malzemesinin tavlanma sıcaklığı ve sertliği yüksek olmalıdır. Sıcaklıkla dayanım ve iletkenlik özellikleri bozulmamalıdır (Ünlükal, 2007). Elektrot kuvveti, ısıtılmış iş parçalarını birlikte sıkıştırmanın yanısıra, akımın odaklanma alanından geçişini sağlar. İş parçalarına iletilen akım sabit alanda odaklanmalıdır ve elektrotlar aşırı deformasyona uğramadan uygulanan kuvvetlere direnç gösterebilmelidir (Keleş, 2008).

EDNK' da yöntem gereği ancak levhaların bindirme tip kaynağı gerçekleştirilebilmektedir. Alt elektrot sabit olup üst elektrot hidrolik, pnömatik veya mekanik tertibatlar yardımı ile hareket edebilmekte ve elektrotlar arasında kaynak edilecek levhalara istenilen yük değeri uygulamaktadır (Esendir, 2008).

Nokta kaynağı elektrotları;

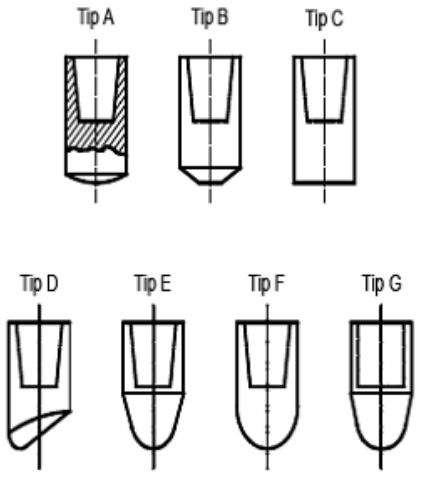
- Elektriksel iletkenlikleri yüksek olmalıdır.
- Isıl iletkenlikleri yüksek olmalıdır.
- Yüksek mukavemet ve sertlikte olmalıdır.
- Kaynak edilecek malzemeyle alaşım oluşturma eğilimi düşük olmalıdır.

Saf bakır yüksek elektriksel ve ısıl iletkenliğe sahiptir ancak yumuşaktır ve aşınması kolaydır. Bu nedenle, uygulamada çoğu elektrot bakır alaşımıdır (Esendir, 2008). Elektrotlar kullanılan katkı malzemesine göre gruplandırılmaktadır :

Çizelge 3.1. Elektrot Ucu Malzemesi ve Özellikleri, Baz Metal: Cu (Ünlükal, 2007)

Grup	Klas	Bileşenler	Mekanik Özellikler			Uygulama
			HRB	Elektrik İletkenliği (%IACS)	Mukavemet (ksi)	
A	1	% 1 Cd	50-65	80	(+) 40-60	Düşük karbon çelikleri
	2	% 0,8 Cr	65-75	70-75	(+) 45-65	Düşük karbon çelikleri
	3	% 0,5 Be % 1 Ni	90	45	(+) 85-100	Düşük karbon çeliklerinin kalın kesimleri
B	10	Cu-W refraktör metalleri	72	35	(-) 135	Yüksek sıcaklık, yüksek basınç ve düşük soğutma proseslerinde kullanılır.
	11		94	28	(-) 160	
	12		98	27	(-) 170	
	13	Alaşımsız W	69 HRA	30	(-) 200	
	14	Alaşımsız Mo	85	30	-	
C	20	% 0,5 - 1,1 Al2O3	-	78	-	Galvanizli çelik saç

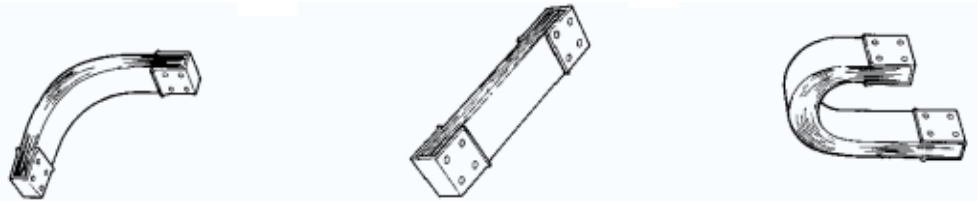
EDNK’ da parça kalınlığına, türüne göre elektrot seçimi kaynağın kalitesini belirleyen önemli bir unsurdur. Şekil 3.9’ da kullanılan elektrot başlıklarının hangi tipte yapıldıklarını görülmektedir (Esendir, 2008).



Şekil 3.9. TS EN 2582’ e göre Nokta Kaynağı Elektrot Başlıkları

Elektrot yüzeyinin çapı önemlidir. Eğer yüzey çok küçükse yüksek akım yüksek sıcaklığa yol açar. Eğer yüzey çok büyük olursa, birim yüzeye düşen basınç azalır. Yapılan çalışmalar, 2.3 mm'den ince saçlar için elektrot ucunun istenen çekirdek çapından %5 büyük olması gerektiğini göstermiştir (Gallagher, 2003).

Yapılacak işleme göre uygun uç seçilmelidir. Örneğin, eğer kaynak yapılacak parça düzgün oturuyorsa E tipi elektrot tercih edilir. B tipi elektrotlar parça düzgün oturmuyorsa ve kaynak işlemi sırasında uygulanan kuvvetin parçaya zarar vermesi istenmiyorsa tercih edilir (Ünlükal, 2007).



Şekil 3.10. Çeşitli Tipteki Şöntleri

Kaynak transformatörü ile elektrotlar arası bağlantılarda 0.1-0.3 mm kalınlıktaki yaprak baraların perçin ya da pres ile istenilen kesitte birleştirilmesinden elde edilen şöntler (esnek baralar) kullanılmaktadır. Şöntlerin, transformatör ve elektrot ile bağlantı (kontak) noktaları kalın plakalar ile güçlendirilmekte ve bu kısımlar ilave malzemeler ile kaplanabilmektedir.

3.2.3. Elektrot Kuvveti

Kaynak kuvveti veya elektrot kuvveti, kaynak çevrimi boyunca elektrotlar tarafından iş parçalarına uygulanan kuvvettir. Çoğunlukla statik bir değer olarak ölçülen ve ifade edilen elektrot kuvveti, operasyonda dinamik kuvvettir ve kaynak makinesinin hareketli parçalarının sürtünme ve ataletinden etkilenmektedir.

Nokta kaynağı yapılacak iş parçaları kaynak noktasında akımın geçişini sağlayacak şekilde sıkıca tutulmalıdır. elektrot kuvvetinin artırılması iş parçasının temas direncini azaltacaktır. Bu durum kaynak akımı tarafından iş parçalarının kaynak bölgesindeki yüzeyleri arasında açığa çıkması istenen toplam ısıyı düşüreceği için, elektrot kuvveti çok yüksek olmamalıdır. Ayrıca, çok yüksek elektrot kuvveti, levhalarda istenmeyen distorsiyonlara neden olmaktadır.

Elektrot kuvveti, kaynak akım akımının değeri göz önüne alınarak tespit edilir ve kaynak işlemi sürecinin bitmesine kadar kuvvet uygulayabilecek şekilde seçilmelidir. Bu kuvvet, kaynak işleminin üç safhasında önemli bir rol oynamaktadır (Şekil 3.2). Elektrot kuvveti, basma safhasında, levhalar arasındaki temas direncinin uygun bir değerde, buna karşılık elektrot-levha temas direncinin düşük bir değerde olmasını sağlamaktadır. Ayrıca, levhaların, elektrotlar altında belli bir alanda temas etmesini sağlamakta ve kaynak noktasının kesin yerini belirlemektedir. Elektrot kuvveti, kaynak safhasında, levhalar arasından fışkırmaya çalışan sıvı metali katı haldeki metal çukuru içinde basınç altında tutarak, bu fışkırmayı engellemektedir. Dövme safhasında ise, kaynak dikişinin sıvı halden itibaren soğuması ve katılaşması sırasında, büzülme nedeniyle ortaya çıkabilecek boşluk, çatlak gibi kusurların oluşumunu dövme kuvveti yoluyla önlemektedir (Aslanlar, 1999).

3.2.4. Kaynak Süresi

Isı üretim hızı çok iyi ayarlanmalı ki, kaynak, arzu edilen zaman aralığı içerisinde, ısı kayıplarını da karşılayarak gerçekleşebilsin. Isı formülünde de görüldüğü gibi, üretilen toplam ısı zamanın lineer bir fonksiyonudur. Isı kayıpları, iş parçalarına ve elektrotlara kondüksiyon ile olduğu gibi, iş parçalarından çevreye radyasyon yolu ile de meydana gelir. Bu kayıpların genel olarak kontrol edilmesine imkân yoktur, ancak kayıplar toplam zamanın artması ile birlikte illaki artar.

Üretilen ısı, akımın karesi ile doğru orantılı olduğundan, kayıplar ihmal edilirse, herhangi bir zaman aralığında teşekkül eden ısıyı dört katına çıkarır. Gerekli toplam ısı miktarında ki değişim ya akımı, ya da zamanı değiştirerek elde edilebilir. Bununla beraber, ısı iletimi zamanın bir fonksiyonudur. Elektrotların basınç altında uygun olmayan sürede malzeme yüzeyine ulaşmalarının ilk etkileri olarak ısının temas yüzeylerinde hızla gelişip kaynak bölgesinde eriyen malzemenin fışkırarak malzeme yüzeyini terk etmesine sebep olur (Keleş, 2008).

Kaynak süresi çok kısa olursa kaynak tutmayabilir veya kaynak çekirdeğinin çapı çok küçük kalabilir. Kaynak süresi uzun olunca da ergimiş bölge fazla büyüyeceği için baskı altında patlar, aradan malzeme fışkırır ve çok derin izler oluşur (Almus, 2006).

Belirli bir ısı enerjisi elde etmek için çeşitli (I, t) değerler mevcut olmakla beraber, ısı kaybının da, zamana bağlı olması nedeni ile akım şiddetini keyfi olarak

azaltarak kaynak zamanını arttırmak mümkün değildir. Akımın bir minimum şiddetinden küçük değerlerinde kaynak bölgesinde herhangi bir ergime meydana gelmez. Bu minimum şiddet, malzemenin cinsine, kalınlığına, elektrot uçlarının boyutlarına ve elektrot kuvvetine bağlıdır. Bir başka deyimle, ergimenin meydana gelebilmesi için bir minimum akım yoğunluğu mevcut olup, bu değer malzemenin cinsine, kalınlığına ve kaynak bölgesine etki yapan elektrot basıncına bağlıdır (Eryürek, 1982).

3.2.5. Kaynak Kabiliyeti

Kaynak kabiliyeti kesin ve belirgin ifade edilebilen bir özellik değilse de metalik malzemelerin birleşebilme kabiliyetini gösterir. Metaller yüksek derecede kaynak kabiliyetine sahiptir denildiği zaman; kaynak esnasında hiçbir tedbire başvurmadan kaynak şartları geniş bir aralıkta tatminkâr bir kaynak kalitesinin elde edileceği anlamına gelir. Düşük dereceli kaynak kabiliyeti de kaynakta iyi bir netice alabilmek için özel tedbirlere ihtiyaç olduğu ve kaynak şartlarının çok dar limitler arasında tutulması gerektiği manasına gelmektedir (Hayat, 2005).

Metallerin direnç nokta kaynak kabiliyeti aşağıdaki üç faktöre bağlıdır.

1. Metalin ısı iletkenlik katsayısı
2. Metalin ısı direnci
3. Metalin ergime sıcaklığı

Metalik malzemelerin direnç nokta kaynak kabiliyetleri arttıkça kaynak hataları azalıp kaynak kalitesi ve mukavemeti yükselmektedir. Bir metal ne kadar safsa o metalin kaynak kabiliyeti o kadar yüksektir. Fakat saf metaller endüstride nadir kullanılırlar. Bir metalin kaynak kabiliyetinin yüksek olması onun kaynak makine ve teçhizatını sadeleştirmektedir. Bu durum kaynağın ekonomik olmasını da sağlamaktadır. Metallerde alaşım eleman sayısı ve % miktarı arttıkça nokta kaynak kabiliyeti azalır (Anık, 1983).

Metalin akıma karşı gösterdiği direnç yüksek, ısı iletme yeteneği ve ergime sıcaklığı düşük ise bu metal bir dereceye kadar kaynak edilebilmektedir. Çelikler bu tanıma girmektedir (Hayat, 2005).

Metallerin bileşimi, onların özgül ısılarını, ergime sıcaklıklarını, gizli ergime ısılarını, ısıl ve elektrik iletkenliklerini ve yoğunluklarını etkiler. Metallerde elektrik ve ısıl iletkenlik genelde aynı yönde paralel olarak değişir. Bu nedenle yüksek elektrik

iletkenliği ve yüksek ısı iletkenliğine sahip bakır, gümüş, alüminyum gibi metallerde yüksek akım yoğunluğunda dahi üretilen çok az ısı çevreye hızla yayılır ve ergime için gerekli ısı birikimini engeller. Bu ise kaynak işlemini imkânsız veya zor bir hale getirir. Diğer taraftan mevcut birçok metalin birim kütlelerini ergime sıcaklığına yükseltmek için gerekli ısı miktarı aynı mertebededir. Örneğin alüminyum ve paslanamaz çelik gibi oldukça farklı nokta kaynağı özelliklerine sahip iki metali ergime sıcaklıklarına getirmek için birim kütleleri başına yaklaşık aynı miktarda ısı vermek gerekir. Bununla beraber alüminyumun elektrik ve ısıl iletkenliği paslanmaz çeliğe nazaran sırasıyla yirmi ve on defa daha büyüktür. Bu nedenle, alüminyum için gerekli kaynak akımı paslanmaz çelik için gerekli olandan oldukça fazladır (Esendir, 2008).

EDNK' da, kaynak işlemi yaklaşık bir saniyede gerçekleşmekte ve daha sonra da çok hızlı bir soğuma oluşmaktadır. Kaynak işleminden dört - beş saniye sonra, kaynak bölgesi sıcaklığı oda sıcaklığına inmektedir. Kaynak işleminde, malzeme içyapısında oluşabilecek değişimler, işlem gören malzemenin cinsine, kalınlığına, iş parçası ile kaynak bölgesi arasındaki sıcaklık farkına, yani soğuma hızına bağlıdır. Bu nedenle bazı kaynak işlemlerinde, iş parçası ile kaynak sıcaklığı arasındaki sıcaklık farkını azaltarak soğuma hızını düşürmek amacı ile ön tavlama uygulanabilir. Yani, kaynaktan önce malzeme belirli bir sıcaklığa kadar ısıtılabilir. Çünkü işlem sırasında malzemeyi ve kalınlığı değiştirmek mümkün değildir. Bazı durumlarda kaynak sonrası ısıl işlemler de uygulanabilir (Keleş, 2008).

Çeliklerin kaynak kabiliyeti üzerinde karbon içeriğinin çok önemi vardır. Kaynak sertliği karbon içeriğindeki ufak artışlarla hızlı şekilde artar. Bu yüksek sertlik, çekirdek içi yırtılmalara ve çekirdek bozulmasına sebep olabilir. Kabul edilebilir kaynak kalitesi için, karbon miktarı s (mm) levha kalınlığı olmak üzere, 0,10 % + 0,12 s' in altında tutulmalıdır. Bu değerin üstündeki malzemeler için kaynak sonrası temperleme gerekebilir (Ünlükal, 2007).

Metalin bileşimindeki diğer maddelerin de kaynak kabiliyetine etkisi vardır. Fosfor ve kükürt genellikle çekirdek ara yüzeyinde yırtılmayı ilerletici rol oynamaktadır. Titanyum içeriğinin artması çoğunlukla çekirdek çapını, çekme-makaslama dayanımını ve kaynak akımı sınırını düşürmektedir. Azot, ara yüzeysel hasara neden olmaktadır (Akyol, 2001).

Kaynak esnasında lokal bir bölgenin eritilmesi söz konusu olduğundan, eriyik civarında malzemenin kristal yapısında önemli değişiklikler olur. Kaynak işleminden sonra elektrotlar hemen kaldırılırsa kaynak bölgesindeki ısı alınamadığı için geniş bir

halka şeklinde etrafa yayılır ve elektrot temas yüzeyi siyah veya menevişli olabilir. Kaynaktan sonra elektrot bir süre bekletilirse (tutma zamanı), malzemedeki ısı, su ile soğur elektrotlar tarafından uzaklaştırılacağı için kaynak izi küçük ve beyaz olur (Anık, 1982).

3.2.6. Temas Yüzeyi

Yüzeysel pürüzlülük iki metalik yüzeyin temasının elektriksel ve mekanik özelliklerini etkiler. Birçok küçük temas yüzeylerinin toplamından oluşan, gerçek temas yüzeyi, teorik temas yüzeyinden çok küçük bir değerdedir (Keleş, 2008).

Kaynak yapılacak malzemelerde yüzey durumu, temas direnciyle yakından ilgili olan; yüzey pürüzlülüğü, parçaların yüzeyindeki filmler ve yüzey kirlilikleridir. Yüzey kirliliği çeşitli kimyasal ve mekanik yöntemlerle giderilmelidir. Çünkü yüzeydeki kirlilik ve homojen olmayan bir yüzey pürüzlülüğü, heterojen ve kalitesiz bir kaynak noktasının oluşmasına neden olur (Eryürek, 1976).

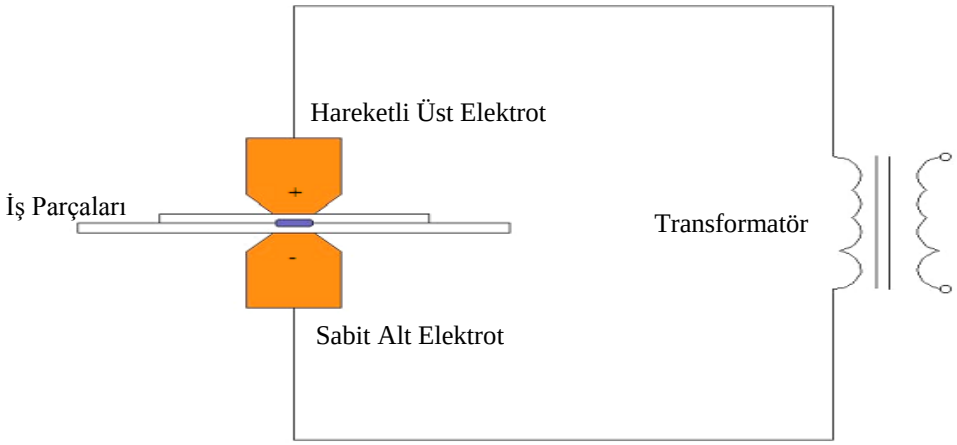
Kaynak yapılacak iş parçalarının yüzey durumu Şekil 3.3' deki, R_2 ve R_4 temas dirençleri yoluyla da ısı değişimini etkiler. Eğer yüzey temiz ise, belirli bir uygulamada, daima aynı kalitede kaynak noktası elde edilir. Yüzeyi üzerinde oksit, pul gibi şeyler olan iş parçası değişik kalitede kaynak noktalarının oluşumuna yol açar (Almus, 2006).

3.3. EDNK Makine Tasarımları

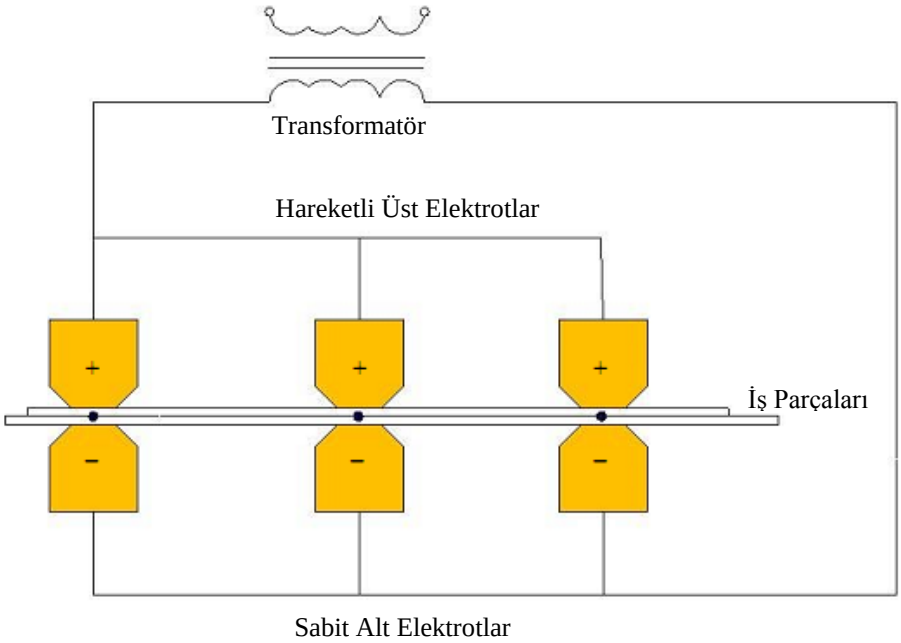
EDNK makineleri tasarım yönüyle iki grupta sınıflandırılır.

- Tek noktalı kaynak
- Çok noktalı kaynak

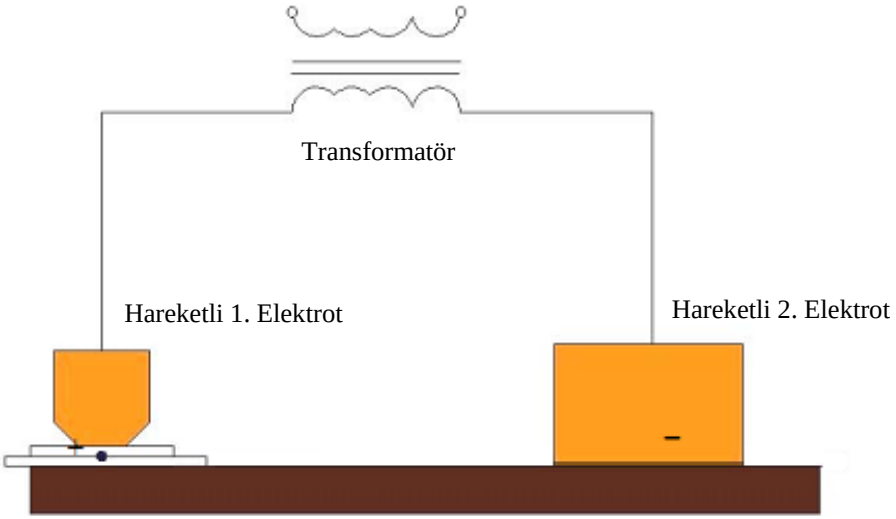
Akımın uygulandığı periyot boyunca bir kaynak noktası elde ediliyorsa tek noktalı kaynak (Şekil 3.11), aynı anda iki veya daha çok kaynak noktası oluşuyorsa çok noktalı kaynak (Şekil 3.12) adı verilir. Çok noktalı kaynak, tasarım şekline bağlı olarak paralel veya seri noktalar halinde elde edilebilir (Keleş, 2008).



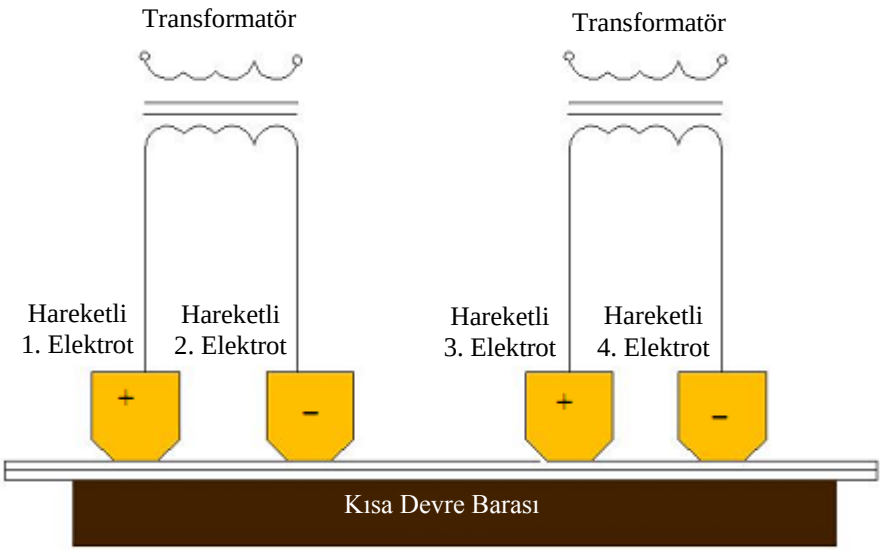
Şekil 3.11. Tek Noktalı Direk Kaynak



Şekil 3.12. Çok Noktalı Direk Kaynak



Şekil 3.13. Tek Noktalı Dolaylı Kaynak

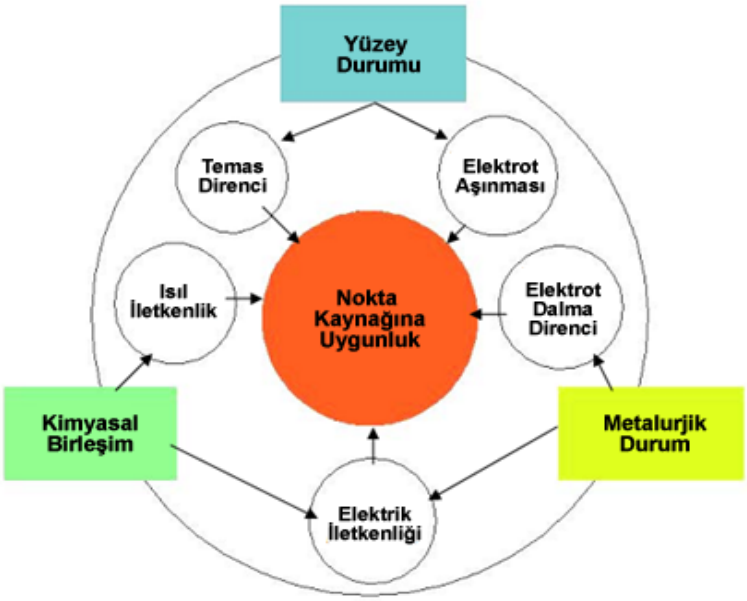


Şekil 3.14. Çok Noktalı Dolaylı Kaynak

3.4. Uygunluk ve Test Yöntemleri

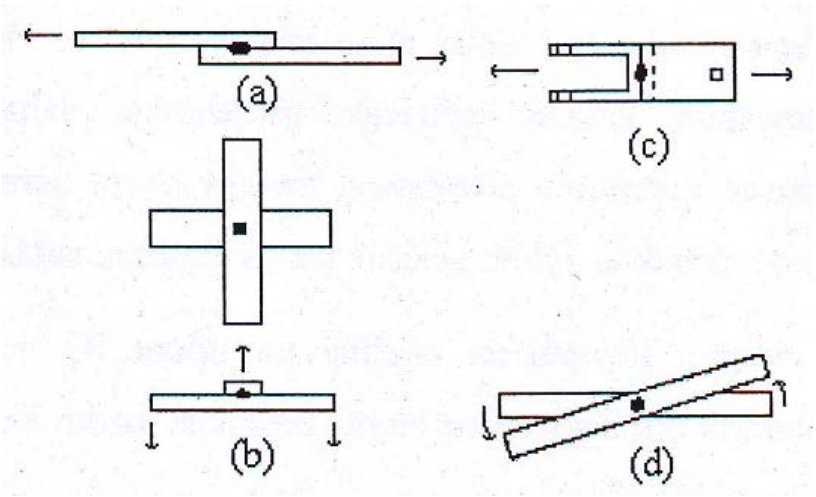
EDNK, birleştirilen malzemeler bakımından diğer kaynak yöntemlerine kıyasla çok büyük bir serbestlik ve çeşitliliğe sahiptir. Bu yöntemden yararlanmak suretiyle, birçok metal ve metal çiftini, değişik biçim ve boyutlarda kusursuz olarak birleştirmek mümkündür (Keleş, 2008).

EDNK ’na uygunluk kriterleri Şekil 3.15’ de gösterilmiştir.



Şekil 3.15. EDNK Uygunluk Kriterleri (Keleş, 2008)

Nokta kaynağının statik mukavemetini tayin için aşağıdaki deneyler yapılmaktadır (Akkuş, 2006).



Şekil 3.16. Nokta Kaynağına Uygunluk Mukavement Deneyleri

a. Çekme – makaslama deneyi

b. Haç biçimi çekme deneyi

c. U biçimi çekme deneyi

d. Burulma deneyi

Ayrıca, kaynak yapılan bir malzemede, zamana bağlı sıcaklık değerlerinin termal kameralarla izlenmesi soğuma hızı ve buna bağlı olarak da kaynak sonrası malzeme iç yapılarındaki değişimler hakkında fikir vermektedir. Kaynak yapılan malzemenin mekanik ve metalurjik değişiminin bu yolla izlenmesi kaynağın, işletme şartlarına uygunluğunu denetlemede kullanılabilir (Keleş, 2008).

4. KONTROL SİSTEMLERİ ve SERVOMEKANİZMALAR

4.1. Kontrol Sistemi

Sistem davranışının istenilen ve belirlenen iş akışı doğrultusunda çalışmasını sağlamak amacı ile yapılan çalışmalar kontrol şeklinde ifade edilir. Kontrol sistemi ise, kendisini ya da başka bir sistemi düzenlemek, kumanda etmek ya da yönetmek üzere uygun bir biçimde bağlanmış fiziksel elemanlar kümesidir (Anonymous, 2012).

Son yıllarda önemli bir bilim dalı haline gelen kontrol sistemleri, gerek literatürde gerekse de günlük uygulamalarda geniş bir kullanım alanına sahiptir. Kontrol sistemleri ile günlük yaşamda kullanılan birçok sistemi kontrol edebilmek mümkündür. Örneğin; evlerde kullanılan klimalar, buzdolapları, şofben vb. birçok elektronik cihaz bünyesinde bir kontrol sistemi barındırmakta ve belli bir ısı derecesinde çalışması için ayarlanabilmektedir. Bu cihazların bazıları tam otomatik sistemler olabildiği gibi bazıları ise aç-kapat sistem şeklinde çalışmaktadır (Anonymous, 2012).

4.1.1. Kontrol sistemi kavramları

Temelde bir kontrol sisteminin üç öğesi bulunmaktadır. Bu üç öğenin birbiriyle ilişkisi basitçe Şekil 4.1' de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Kontrol Sistemi

Sistem, belli bir işlev için bir araya getirilmiş, bir bütünü oluşturan ve birbiri ile bağlı olan elemanlar topluluğudur. Kontrolü istenilen sistemi kontrol etmek için uç elemanlardan sisteme alınan dijital, analog, haberleşme vb. veriler veya işaretler giriş şeklinde ifade edilmektedir. Çıkışlar ise, kontrol edilen sistemin girişlerinin, sistem dahilinde bulunan bir işlemcide sistemden istenilen fonksiyonu gerçekleştirecek şekilde hesaplanması ile elde edilen işaretlere verilen adlardır. Bir başka deyişle amaçlar (u girişleri) ya da sürücü işaretleri ile belirlenir, sonuçlar ise y çıkışları ya da kontrol edilen

değişkenleri etkiler (Bozkurt, 2006). Genel olarak kontrol sisteminin amacı, kontrol sisteminin elemanları aracılığı ile girişleri kullanarak, çıkışları önceden (Kuo, 2005) belirlenen senaryoya uygun şekilde kontrol etmeye çalışmaktır.

4.1.2. Kontrol sistemi türleri

Kontrol sistemleri, çıkış işaretinin kontrolü ya da yönetilmesi açısından, geri besleme elemanın yapısında varlığına göre ikiye ayrılmaktadır. Geri besleme elemanı bulundurmayan sistemler Açık Çevrimli Kontrol Sistemi; bulunanlar ise Kapalı Çevrimli Kontrol Sistemleridir.

4.1.2.1. Açık çevrimli kontrol sistemleri

Sistemi kontrol eden düzeneğin, sistemin çıkışından etkilenmediği, sadece verilen referans değerine göre denetim işleminin yapıldığı sistemlerdir. Hassasiyet gerektirmeyen sistemlerde kullanılan bir denetim sistemi mekanizmasıdır. Sisteme etkiyen bozucu faktörlerin algılanması insan faktörüyle olabilmektedir. Verilen referans işareti kontrol elemanı tarafından alınır ve oransal bir kontrol işareti üretir. Bu işaret, kontrol edilen sisteme verildiğinde, sistem giriş değişkenini süreç içine alır ve istenilen çıkış işaretini verir. Açık çevrim denetim sistemi, genellikle kumanda edilen sistemin yapısının ve sisteme etkiyen diğer girişlerin önceden çok iyi bilindiği uygulamalarda kullanılır (Anonymous, 2012).

Bu sistemi daha iyi anlamak için trafik kontrolü yapan trafik ışıkları örneğini göz önüne alabiliriz. Bu sistemde belirli zamanlayıcılar bulunur ve ışıklar bu zaman ayarlayıcılara göre çalışırlar. Sisteme göre belli bir **tk** zamanı boyunca kırmızı ışık yanar ve geçişleri durdurur. Diğer bir **ty** zamanı boyunca da yeşil ışık yanarak trafik akışı sağlanır ve bu işlem **tk** ve **ty** için uygun görülen süreler aralığında sürekli olarak devam eder. Böyle bir kontrol sisteminin trafik yoğunluğunu ölçmeksizin aynı şekilde çalışması, verimli bir sistem olmadığının göstergesidir. Bu kontrol sisteminde girişler **(tk, ty)** kırmızı ve yeşil ışıkların yanma süreleri, çıkış ise trafik yoğunluğudur ve kontrol sisteminin girişleri, ışıkların yanma sürelerinden etkilenmemektedir. Farklı bir ifade ile belirtmek gerekirse kumanda işaretini sağlayan girişler, çıkışı oluşturan durumlardan bağımsızdırlar. Bu şekilde çalışan sistemler açık çevrim kontrol sistemini oluşturmaktadır (Anonymous, 2012). Bu sistemde, sistem çıkışı olan trafik yoğunluğu

ölçülür, referans bir değerle karşılaştırılır ve trafik ışıklarının yanma süreleri bu işlemlere göre yeniden belirlenirse, bu yeni sistemin kapalı çevrim bir kontrol sistemi olduğu söylenilebilir (Dumanay, 2009; Anonymous, 2012).

4.1.2.2. Kapalı çevrimli kontrol sistemleri

Kontrol faaliyetinin, sistemin denetlenen çıkışına bağlı olduğu sistemdir. Kapalı çevrim kontrol sisteminin açık çevrim kontrol sisteminden en belirgin farkı "geri besleme" etkisidir. Geri besleme denetlenen çıkış değişkeninin ölçülüp geri beslenerek istenen giriş değeri ile karşılaştırılmasını sağlar.

Geri besleme negatif veya pozitif yönde etki edebilir. Negatif etkinin anlamı, çıkışın girişe ters yönde etki etmesidir. Pozitif etkinin anlamı ise çıkışın girişe aynı yönde etki etmesi demektir (Anonymous, 2012). Ancak kapalı çevrim denetim sisteminde kullanılan sistemler çoğunlukla negatif geri beslemelidirler (Sarıoğlu, 1985).

4.2. Servomekanizma

Servo sözcüğü Latincede "servus" sözcüğünden türetilmiştir; "hizmetçi", "köle", "yardımcı" anlamına gelmektedir (Anonymous, 2004). Servo motor sistemleri günümüzde pek çok uygulama alanında kullanılmaktadır. Bunun asıl nedeni, motor kontrol sistemlerinin kompakt yapıya sahip, kumandalarının basit ve verimli olmalarıdır. Servo sistemler aşağıda belirtilen özelliklerinden dolayı kontrol uygulamalarında çokça tercih edilmektedirler:

- Pozisyon doğruluğu,
- Hız doğruluğu,
- Tork kararlılığı,
- Yüklenebilme kapasitesi,
- Dinamik performans.

Servomekanizma olarak adlandırılan geri besleme kontrol sistemi endüstriyel uygulamalarda ve kontrol sistemi literatüründe yaygın olmasından dolayı dikkat çeken sistemdir (Ogata, 1990).

Servomekanizma, kapalı çevrimli geri beslemeye sahiptir. Bu sistem merkezi bir işlemci ya da denetleyici, işlemci ya da denetleyiciye komut gönderen bir arayüz,

işlemciye gelen sinyalleri değerlendiren ve ileten bir arabirim, sinyalleri alan bir motor grubu ve motorun konum, hız ya da hata bilgisini tekrar denetleyiciye gönderen ve sistem çevrimini kapatan geri besleme elemanından oluşur (Bozkurt, 2006).

Servo sistem veya servomekanizma çıkışın, giriş tarafından, çalıştırılmasına neden olan bir hareket ve negatif geri besleme prensibi üzerine çalışan bir sistemdir (Younkin, 1996).

Servomekanizma otomatik geri beslemeli kontrol sistemidir. Servomekanizma tamamen otomatik olarak yapılabilir ve mekanik hareketleri çok küçük hata değerleri ile kontrol edilebilir. Servomekanizma kullanılan kontrol sinyaline bağlı olarak, dijital veya analog olabilir (Hall, 2005).

Bir servomekanizma şu parçalardan oluşur:

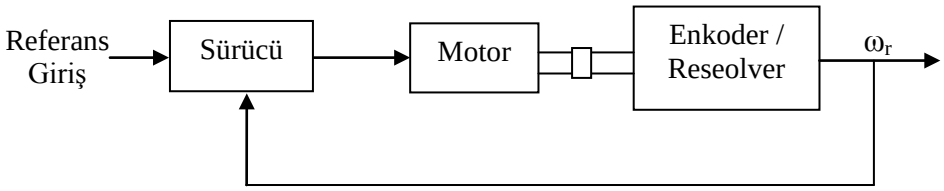
1) Motor
2) Dişli kutusu *(Bulunmayabilir.)*
3) Servo sürücü
4) Merkezi kontrol birimi *(PLC, İşlemci vb.)*
5) Güç ve Motor kablosu
6) Fren kablosu *(Bulunmayabilir.)*
7) Geri besleme (Resolver/Enkoder) kablosu
8) Kumanda sistemi ve kabloları

Servo kontrol sistemi veya servomekanizmada giriş genel olarak değişkendir ve sistem, çıkışı giriş sinyallerini ve bundaki değişmeleri yakından takip edecek şekilde işler (Bozkurt, 2006).

Servo sistemler hız, pozisyon, moment *(tork)* ve hibrit *(karma)* kontrol olmak üzere dört farklı kontrol uygulama alanına sahiptir.

4.2.1. Hız kontrol

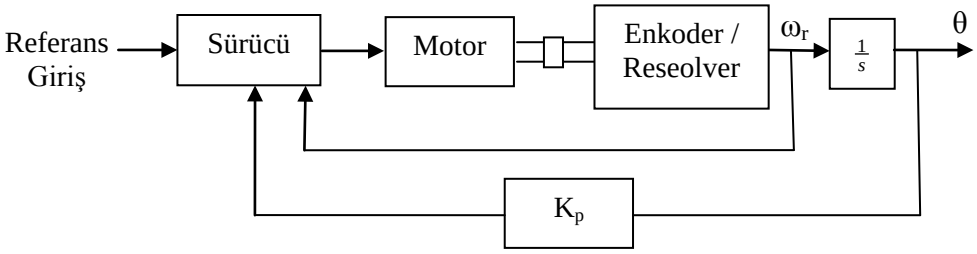
Hız kontrol sistemi; motor hızının ayarlandığı yapıdır ve servo sürücülerin hepsinde bulunan birimdir (Hancı, 2007). Servo sistemde geri beslemeyi oluşturan elemandan alınan hız bilgisi sürücüye iletilerek referans giriş ile kıyaslanır ve oluşan fark motora iletilir. Servo hız kontrol sistemine ait şema Şekil 4.2’ de verilmiştir.



Şekil 4.2. Servo Hız Kontrol Sistemi

4.2.2. Pozisyon kontrol

Pozisyon kontrolünde, motor milinden alınan dinamik hız bilgisi konum bilgisine çevrilir ve belirli bir kazanç sabiti ile çarpılır. Elde edilen negatif geri besleme sistem çıkışına tekrar yansıtılır. Pozisyon kontrol sistemi yapısında hız kontrol sistemini de barındırır. Pozisyon kontrol sistemi Şekil 4.3' de verilmiştir.

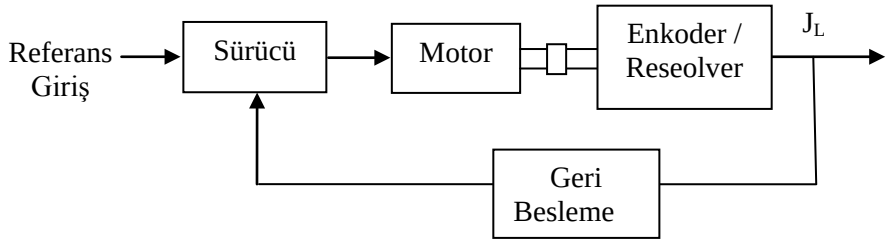


Şekil 4.3. Servo Pozisyon Kontrol Sistemi

Servo pozisyon kontrolörler; boy kesim, taşıma-aktarma hatları, uçan testere vb. uygulamalarda kullanılmaktadır (Hancı, 2007).

4.2.3. Moment kontrol

Moment kontrol, motor milinden yüke uygulanan momentin istenen bir değerde sabit tutulmasını sağlar.



Şekil 4.4. Servo Tork Kontrol Sistemi

Motor akımı; motor momentiyle orantılı olduğundan; moment kontrolünü gerçekleştirmek için motor dinamik akımından *(Im)* bir geri bildirim alınır (Hancı, 2007). Sürücü devresi istenen çalışma moment değerini ayarlamak için moment

değeriyle oransal bir akım değerini, yapısında bulunan karşılaştırma elemanında, dinamik motor akımı ile kıyaslar. Bu işlemde farkın sıfır olması durumunda motorun moment kontrolü sağlanmış olur. Servo moment kontrol sistemleri özellikle sarıcı-boşaltıcı uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadırlar (Hancı, 2007).

4.2.4. Hibrit kontrol

Hibrit kontrol, çeşitli kontrol sistemlerinin bir arada kullanılmasından oluşur. Kullanılacak kontrol modu, parametre ayarları ve ilgili servo girişin anahtarlanması ile seçilir. Hız, pozisyon ve moment kontrol sistemlerinden herhangi ikisi ile bir hibrit kontrol yapı oluşturabilir.

5. KONTROL SİSTEMLERİNDE TAHRİK UNSURLARI

Elektrik, pnömatik ya da hidrolik bir kuvvetin mekanik enerjiye dönüştürülerek bir iş makinasına aktarılmasına tahrik denir. Bir sistemde kuvveti sağlayan tahrik eden, iş makinası ise tahrik edilendir.

5.1. Elektrikle Tahrik

Bir elektrikli tahrik bir iş makinesinden, onu çalıştıran elektrik motorundan, gücü motordan iş makinesine ileten aktarma öğelerinden ve motorun besleme, koruma, kumanda veya denetim düzenlerinden oluşan bir sistemdir. Elektrik motoru elektrik enerjisini mekanik enerjiye dönüştüren bir elektrik makinasıdır. Elektrik motoru şebekeden aldığı elektrik enerjisini mekanik enerjiye dönüştürerek iş makinesine verir. Motoru, iş makinesine bağlayan aktarma öğesi en basit durumda bir kavrama veya dişli kutusu, kayış-kasnak gibi hız değiştirme düzenlerinden oluşabilir (Schusky, 1987).

Bir tahrikin davranışını onu oluşturan öğeler belirler, fakat uygulanan teknoloji süreci dolayısıyla iş makinesi önde gelir. Motor iş makinesinin isteklerine uymak zorundadır. Bu nedenle bir tahriki projelendirmek için her şeyden önce iş makinalarının işletme özelliklerini, yani yüklenme davranışlarını, güç gereksinimlerini bilmek gerekir. Ayrıca uygulanan üretim ve çalışma yöntemi incelenmelidir. İş makinesinin koşullarına uygun ve onunla güç, döndürme momenti, gerilim, devir hızı, yapı biçimi, koruma türü, gürültü düzeyi vb. bakımından en iyi uyumu sağlayan elektrik motorunun ve yardımcı donanımının seçilebilmesi için elektrik motorunun işletme özellikleri de çok iyi bilinmelidir (Schusky, 1987).

Hassas hız, pozisyon ve tork kontrol gereken sistemlerde tahriki sağlamada genellikle bu sistemler için tasarlanmış ve servo motor olarak adlandırılan özel yapıdaki motorlar kullanılır. Bununla birlikte geleneksel tip AC ve DC motorlar da, bir geri besleme elemanın yapılarına ilavesiyle servo sistemlerde kullanılmaktadır. Ancak bu motorlar; ısıl davranış, dinamiklik, hız ayar aralığı, kararlılık vb. özellikler açısından servo motorlar kadar elverişli değildirler (Hancı, 2007). Diğer motorlara göre sürücü ünitelerinin ucuz olmasından dolayı tercih edilen step motorlar ile yapılan uygulamalarda, servo motorlar kadar olmasa da, hassas kontrol sağlama olanağı vardır.

Servo motorlar belirli bir kumanda sinyali ile istenilen referans konuma gelen motorlardır. Bunların kontrol uygulamalarında sıkça kullanılan step motorlardan farkı, devamlı olarak kapalı çevrim kontrollerinin olmasıdır. Step motorlarda kapalı çevrim kullanılmayabilir. Çünkü, bu motorlarda atılan adıma karşılık gelen dönme açısı bellidir. Fakat bu motorların dezavantajı adım atlama olayının olabilmesidir. Yani istenilen adımda dönme miktarı yükün karakteristiğine bağlı olarak gerçekleştirilemeyebilir veya istenilenden fazla gerçekleşebilir. Bu durumda pozisyon bilgisi kaybolur. Oysa kontrol algoritması ve çevre birimleri iyi dizayn edilmiş bir servo kontrol sisteminde böyle bir sorunla karşılaşılmaz.

5.1.1. Step motorlar

Açısal konumu adımlar halinde değiştiren, çok hassas sinyallerle sürülen motorlara step (adım) motorlar denir. Adından da anlaşılacağı gibi step motorlar belirli adımlarla hareket ederler. Bu adımlar, motorun sargılarına uygun sinyaller gönderilerek kontrol edilir (Keleş, 2008). Herhangi bir uyarımda, motorun yapacağı hareketin ne kadar olacağı, motorun adım açısına bağlıdır. Adım açısı motorun yapısına bağlı olarak 90°, 45°, 18°, 7.5°, 1.8° vb. olabilir. Motora uygulanacak sinyallerin frekansı değiştirilerek motorun hızı kontrol edilebilir. Step motorlarının dönüş yönü uygulanan sinyallerin sırası değiştirilerek saat ibresi yönü (CW) veya saat ibresinin tersi yönünde (CCW) olabilir (Keleş, 2008).

Step motorlarının hangi yöne doğru döneceği, devir sayısı, dönüş hızı gibi değerler merkezi kontrol birimleri veya bilgisayar yardımı ile kontrol edilebilir. Sonuç olarak adım motorlarının hızı, dönüş yönü ve konumu her zaman bilinmektedir. Bu özelliklerinden dolayı step motorlar hassas konum kontrolü istenen yerlerde çok kullanılırlar. Step motorların kullanıldıkları yerlere örnek olarak, endüstriyel kontrol teknolojisi içerisinde bulunan bazı sistemler, robot sistemleri, takım tezgahlarının ayarlama ve ölçmeleri verilebilir. Ayrıca, step motorlar konumlandırma sistemlerinde ve büro makineleri teknolojisi alanında da çok yaygın olarak kullanılmaktadır (Keleş, 2008).

Step motorların kullanım alanı bulmasının nedeni, bu motorların bazı avantajlara sahip olmasıdır. Avantajları şu şekilde sıralanabilir:

- Geri beslemeye ihtiyaç göstermezler. Açık döngülü olarak kontrol edilebilirler.

- Ucuzdurlar.
- Sayısal olarak kontrol edilebildiklerinden bilgisayar veya PLC gibi elemanlarla kontrol edilebilirler.
- Mekanik yapısı basit olduğundan bakım gerektirmezler.
- Herhangi bir hasara yol açmadan defalarca çalıştırılabilirler.

Step motorlar bu avantajların yanısıra, bazı dezavantajları da bulunur:

- Adım açıları sabit olduğundan hareketleri sürekli değil, darbelidir.
- Sürtünme kaynaklı yükler, açık döngülü kontrolde konum hatası meydana getirirler.
- Elde edilebilecek güç ve moment sınırlıdır.

5.1.2. Servo motorlar

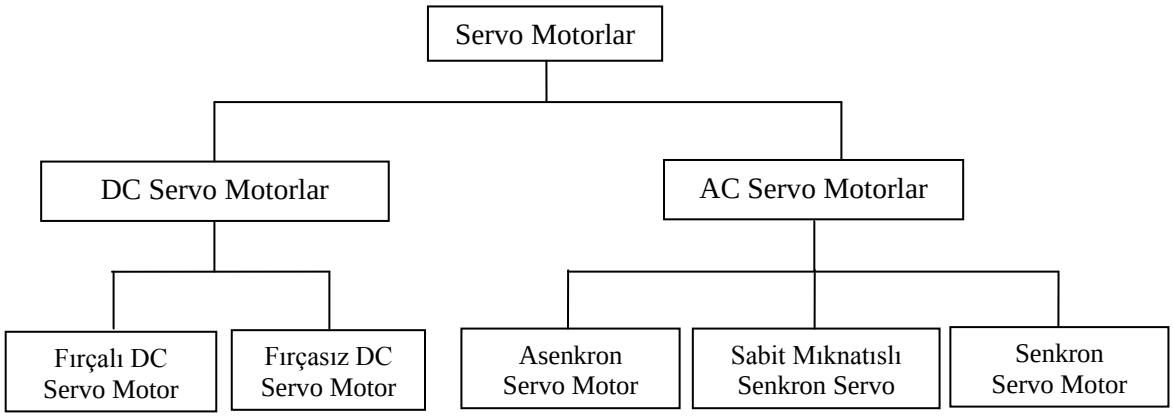
1 d/dk' lık hız bölgelerinin altında bile kararlı çalışan, hız-pozisyon-moment kontrolü yapan yardımcı motorlara servo motor denir. Hassas bir şekilde konum kontrolü yapabilen, değişken devirlere hızlı bir şekilde cevap verebilen, otomatik kontrol sistemlerinde çok kullanılan özel motorlardır. Servo motorlar "kontrol motorları" olarak da adlandırılır. Özellikle geri beslemeli kontrol sistemlerinde çıkış hareketini kontrol edici olarak kullanılırlar. Servo motorlar aşağıdaki isteklere cevap verebilirler (Akar, 2005).

- Motor milindeki 40 N.m' ye kadar olan büyük dönme momenti,
- Dönme momentinin, iki katına kadar olan kısa aralıkta aşırı yük yüklenebilme,
- Yüksek devir kararlılığı, böylece çeşitli yüklerde hızın sabit kalması,
- Yaklaşık 1-10.000 arasındaki devir sayısının ayarlanabilmesi,
- Çok küçük yol adımları ile hareket edebilme,
- Küçük atalet momenti sayesinde, komutların gecikmeden yerine getirilmesinin sağlanması.

Servo motorlar günümüzde çok farklı tahrik çözümlerinde yaygın şekilde kullanılmaktadır. Sürücü devresiyle birlikte kullanılan motor veya motor grupları; PLC, endüstriyel PC vb. otomasyon elemanlarıyla beraber makinelerin kontrol ve tahrik sistemini oluştururlar (Hancı, 2007). Servo motorlar; robotlar, radarlar, CNC tezgahlarda, otomatik kaynak makinelerinde, pres makinelerinde, paketleme

makinelerinde, sargı yarı iletken üretim ünitelerinde, yüksek hızlı çip yerleştiricilerinde, tıbbi cihazlarda, anten sürücüleri vb. yerlerde kullanılır (MEGEP, 2007).

Servo motorlar besleme gerilimine ve yapılarına göre Şekil 5.1' de görüldüğü gibi sınıflandırılabilir (Anonymous, 2004).



Şekil 5.1. Servo Motorların Sınıflandırılması

5.1.2.1. DC servo motorlar

DC motorlar ilk geliştirilen ve uygulanan elektrik makinesidir. DC motor teknolojisinin günümüzde geldiği nokta; yüksek moment, geniş hız kontrol aralığı, taşınabilirlik, iyi hız-moment karakteristiği, basit ve doğru model ve kontrol tiplerine kolay adapte olabilmeleridir (Hancı, 2007). Pozisyon ve hız kontrolünü hassas (geniş ölçekte) ve kolay yapılabilen motorlar olduğu için kullanılmaktadırlar. Mekanik olarak sürtünen parçaları olduğu için bu tip servo motorların bakım masrafları ve kurulum masrafı diğerlerine göre çok daha fazladır (Çengelci, 2005).

Aynı güç ve hız değerlerinde olmasına rağmen; motor ve rotor kütlesi en büyük ve motor boyu en uzun DC motorlardır. Endüvisinin *(armatör)* kütlesinden dolayı da; atalet momenti en yüksek yine DC motordur. Bu yüzden dinamikliği diğer motor tiplerine göre pek iyi değildir (Hancı, 2007). Motorun dinamik olması, kalkış zamanının ve eylemsizlik *(atalet)* momentinin düşüklüğü olarak ifade edilebilir. Bu durumda, normal bir DC motorun dinamik servo sistemlerde kullanılabilmesi yapısal olarak pek mümkün değildir.

Yapı olarak silindire benzeyen rotor için eylemesizlik momenti şu formül ile verilebilir:

$$J = \frac{m}{2}.\, r^2 = \frac{\pi}{2}.\, l.d.r^4 \qquad (11)$$

Formülden görüldüğü gibi motorun eylemsizlik momenti; rotor çapının kısaltılması ya da kütlesinin azaltılmasıyla sağlanabilir. Kütlenin azaltılması; rotorun yapısında daha düşük yoğunluğa sahip bir madde kullanımı ya da kullanılan maddenin miktarının azaltılmasıyla mümkündür. Ancak kullanılan maddenin değiştirilmesi, o elemanın manyetik alan içerisindeki davranışının iyi olması şartıyla gerçekleştirilebilir. Eylemsizlik momentinin azaltılması için rotorunun çapının azaltıldığı motorların, boyları uzundur ve rotor kütlelerinin azaltıldığı motorlar ise enine geniştirler (Hancı, 2007).



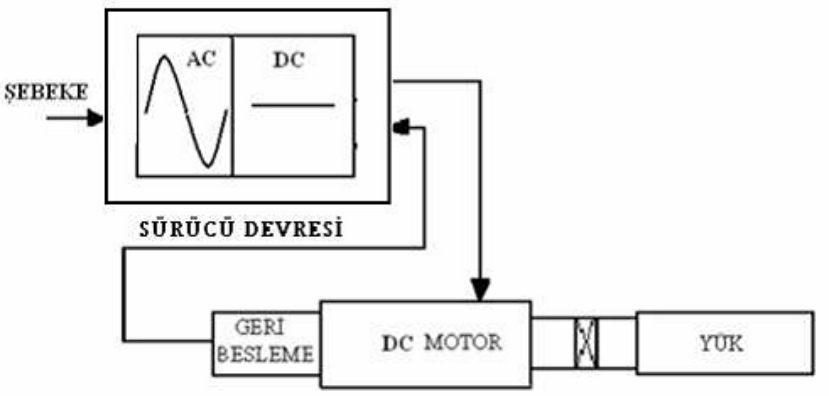
Şekil 5.2. Rotoru Boyuna Uzatılmış DCSM (Hancı, 2007)

DCSM' lar günümüzde motor üreticileri tarafından 100 kW' a kadar standart olarak üretilirler. Ancak uygulamalarda küçük güçlüler daha çok tercih edilmektedir (Hancı, 2007). Küçük güçlü DCSM, DC motorlar gibi üretilirler; ancak boyutları minyatürdür ve eylemsizlik momentini minimize etmek için endüvi uzunluk/yarıçap oranı yüksektir. Alan sarılabilir, bu durumda ayrık ya da merkeze bitişik olur. Alternatif olarak alan sistemi sabit mıknatıslarla kurulabilir, bu durumda motor sabit mıknatıslı motor olarak bilinir ve sadece endüvi kontrol edilebilir. Kutupsal eylemsizlik momentini düşük tutmak için, düşük endüvi kütlesi düşük uzunluk/yarıçap oranını dengeler (MEGEP, 2007).

Doğru akım servo motorlarda hız, genellikle endüvi gerilimiyle kontrol edilir. Endüvi, moment-hız karakteristiklerinin doğrusal olması bakımından büyük dirence

sahip olacak şekilde tasarlanır. Bu motorda endüvi MMF' i ile uyartım alanı MMF' i birbirlerine diktir. Moment ve akı birbirlerinden bağımsız olduğu için bu özellik hızlı moment tepkisi sağlar (Doğan, 2009). Bundan dolayı endüvi gerilimi veya akımındaki adımsal değişim devir veya konum için hızlı değişiklikler yapar.

DCSM temel prensip şeması şu şekildedir:

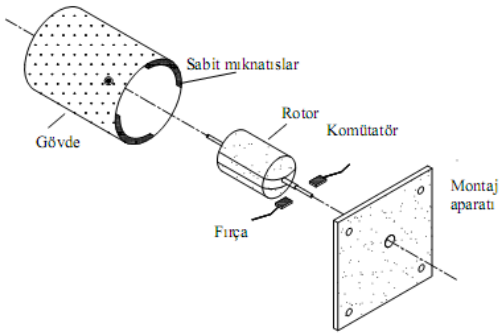


Şekil 5.3. DCSM Temel Prensip Şeması (Hancı, 2007)

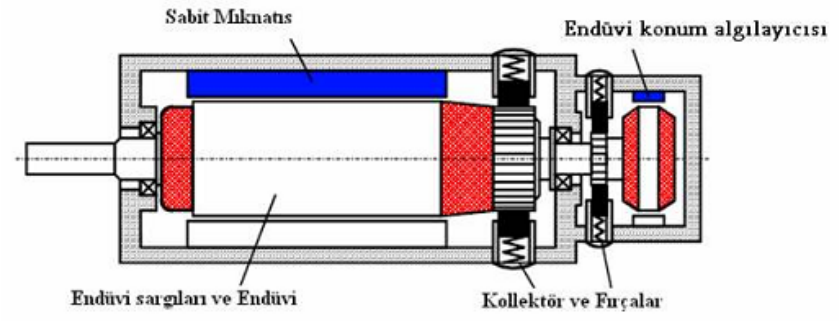
DC motorlarda endüvi manyetik alanıyla, endüktör manyetik alanının etkileşimi ile dönme hareketi oluşmaktadır. Geleneksel tip DC motorlar sargılı kutuplu olarak üretilmekteydi. Ancak Fırçalı *(Sabit Kutuplu-Sabit Mıknatıslı)* DCSM' larda kutup sargısı yoktur. Bunun yerine sabit mıknatıslı kutup vardır. Yarı iletken teknolojisindeki gelişmelere bağlı olarak Fırçalı DCSM' larda yapısal değişikliğe gidilerek, sabit mıknatıs kutuplar dönen kısımda kullanılarak Fırçasız *(Döner Kutuplu - Yabancı Uyartımlı)* DCSM' lar üretilmeye başlanmıştır. Ancak bu motorlar elektronik olarak sürülmesi gereken motorlardır (Hancı, 2007).

i) *Fırçalı DC servo motorlar*

Fırçalı DCSM' da sabit kısım olan endüktör mıknatıstan oluşur (Hancı, 2007). Sabit mıknatıslı DCSM' da, statordaki sabit mıknatısın manyetik alanı içerisinde, rotor üzerine yerleştirilmiş telin içinden akım geçirilmesiyle bir döndürme momenti elde edilir (Doğan, 2009). Sabit mıknatısın manyetik alan vektörü ile, sargılı telin içinden geçen akımın oluşturduğu manyetik alan vektörü arasındaki açı 90° olduğunda döndürme momenti maksimum değere ulaşır (Bolton, 1999; Bal, 2004; Aklan, 2008).

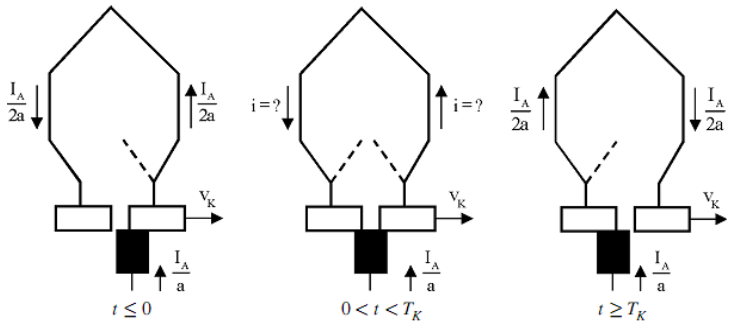


Şekil 5.4. Fırçalı DCSM Açık Şema (Doğan, 2009)



Şekil 5.5. Fırçalı DCSM (Hancı, 2007)

Fırçalı DCSM' ların endüvisinden dönme esnasında alternatif akım geçer. Endüvi iletkenleri tarafsız bölgeden geçerken akım fırçalar ve kollektör yardımıyla yön değiştirir ve endüktör *(manyetik alan sargısı)* içinde bulunan endüvinin dönme yönünün aynı olmasını sağlar. Bu olaya *"akım dönmesi* veya *komütasyon"* denir. İki komşu dilime bağlı her endüvi bobininde akımın yön değiştirmesi esnasında, bir yandan fırça bu bobini kısa devre eder, diğer yandan da bu bobinde *"reaktans gerilimi"* diye adlandırılan bir özindükleme gerilimi oluşur (Hancı, 2007).

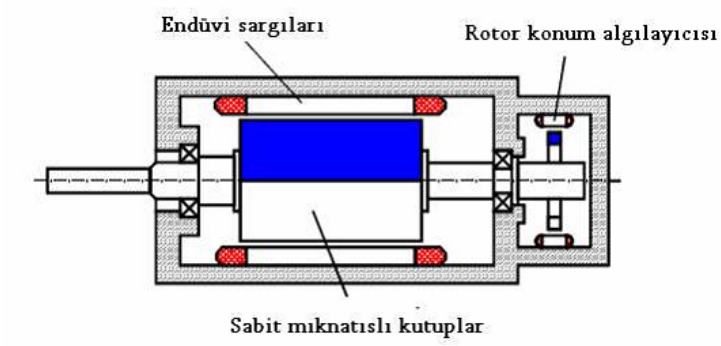


Şekil 5.6. DC Motorlarda Komutasyon

Kısa devre süresi mili saniye düzeyindedir. Reaktans gerilimi makinenin dönme hızına etki eder ve endüvi akımıyla doğru orantılıdır. Akım dönmesine karşı; yardımcı kutup kullanarak ve fırçalar kaydırılarak önlem alınır. Fırçalı DCSM' larda akımı; ısınma ve akım dönmesi sınırlandırır. Yine üst limit hız da yalnız mekanik değil, akım dönmesi bakımından da sınırlanır (Çetin, 2001). Fırçalı DCSM' da fırçalar sürtünmeden dolayı ısınır ve makinenin ısı değerini yükseltir. Fırçaların diğer bir dezavantajı da dönme esnasında ark oluşturmasıdır. Ayrıca fırçalar zamanla aşınmalarından dolayı bakıma ihtiyaç duyarlar (Hancı, 2007).

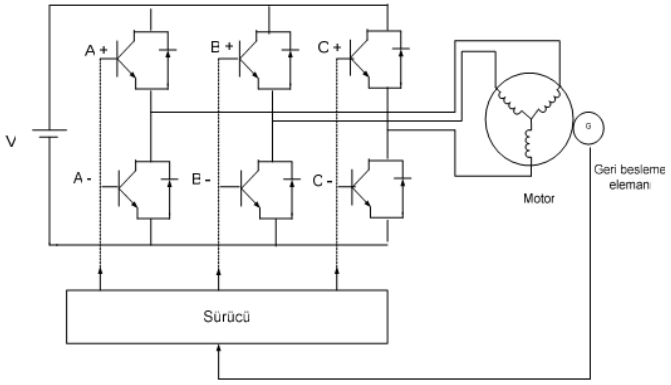
ii) Fırçasız DC Servo Motorlar

Günümüzde DCSM' ların fırçasız tipleri daha fazla kullanılmaktadır. Çünkü fırçalı yapıda sürtünmeye bağlı ısınmalar, mekanik yüklenme, ark oluşumu, çalışılan yere bağlı fırçaların kirlenmesi ve bunun sonucunda temas problemleri vb. sorunlar vardır. Fırçasız DCSM' larda ise bu problemler yoktur ve bakım gerektirmezler ve daha uzun ömürlüdürler (Hancı, 2007).



Şekil 5.7. Fırçasız DCSM (Hancı, 2007)

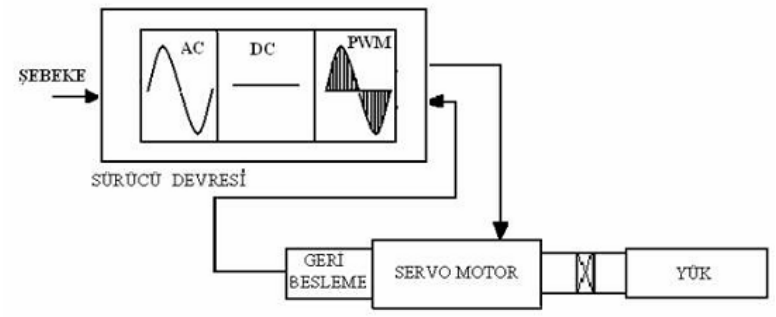
Fırçasız DCSM' lar sinüs dalga gerilimle de beslenebilmektedir. Sinüs dalga gerilimle beslenen motorlar Sabit Mıknatıslı Senkron SM olarak adlandırılır. Bu yüzden fırçasız servo motorların tipinin tanımlanması, besleme gerilimine göre yapılmaktadır. Fırçasız DCSM' un rotorunda kullanılan mıknatısın seçimi; hava aralığı indüksiyonuna, mıknatısın manyetik kalitesine, mıknatıs ömrüne ve mıknatısın maliyetine göre belirlenir (Hancı, 2007).



Şekil 5.8. Fırçasız DCSM Temel Sürücü Devresi (Bal, 2004)

5.1.2.2. AC servo motorlar

AC servo motorlarda besleme gerilimi stator sargılarına uygulanır. Yapılarında fırça yoktur ve rotora hava aralığıyla iletim sağlanmaktadır. Motor hızı kutuplara uygulanan gerilimin frekansına bağlıdır (Hancı, 2007). Sürücü teknolojisinin gelişmesi ile birlikte AC motorlarda hız ve konum kontrolünde büyük ilerlemeler kaydedilmesi sonucu DC servo motorların yerini almıştırlar. DC servo motorlara göre daha ucuzdurlar, bakıma az ihtiyaç duyarlar ve sessiz çalışma özellikleri vardır (Çengelci, 2005). ACSM' ların temel prensip şeması şu şekildedir:



Şekil 5.9. ACSM Temel Prensip Şeması (Hancı, 2007)

i) Asenkron servo motorlar

Optimize edilmiş geleneksel asenkron motorlar, servo sistemlerde günden güne artarak kullanılmaktadır (Hancı, 2007). Statorları; ince saç paketlerin preslenmesiyle oluşturulmuştur ve burada oluklara yerleştirilmiş alan sargıları bulunmaktadır. Bu yapı geleneksel asenkron motorlarla hemen hemen aynıdır. Geri besleme elemanı mile

akupledir. Geleneksel asenkron motorların stator saç kalınlıkları genellikle 0,5 mm civarındadır (Hancı, 2007). Ancak ASM' ların statorları 0,3 mm kalınlıkta saçlardan imal edilmektedir (Anonymous, 2006).



Şekil 5.10. ASM Statoru (Hancı, 2007)

ASM' un rotoru sincap kafeslidir. Sincap kafesli tip kullanılmasının sebebi; yapılarının basit, eylemsizlik momentlerinin düşük olmasıdır. ASM' larda alan zayıflaması söz konusudur. Bu alan zayıflaması oransal olarak besleme gerilimine karşı, besleme frekansının arttırılmasıyla gerçekleştirilebilir (Hameyer, 2004).



Şekil 5.11. ASM Rotoru (Hancı, 2007)

ASM' lar yapılarının basit ve ekonomik oluşundan dolayı tahrik sistemlerinde yaygın şekilde kullanılmaktadır. Optimize edilerek servo sistemlerde kullanılan ASM' lar yüksek hız, yüksek yüklenme kapasitesi, düşük atalet momenti avantajlarını beraberinde getirmiştir. ASM de moment, nominal değeri aşması durumunda doğru akım servo motorundaki gibi donanımsal bozulmalar ve ark meydana gelmez. Fırçasız

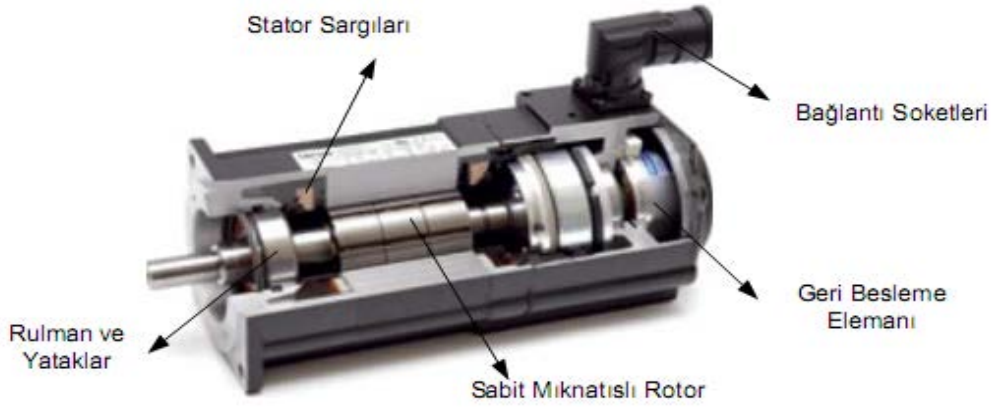
alternatif akım servo motorlar maksimum momenti düşürmeden yüksek hızlarda çalıştırılabilir (Doğan, 2009).

ii) Senkron servo motorlar

Geleneksel tip senkron motorların bir geri besleme elemanının yapılarına ilavesi ve bazı yapısal değişiklikler ile oluşturulan motorlar, senkron servo motorlar *(SSM)* olarak adlandırılmaktadır. SSM' lar fırçasızdırlar ve rotorları sabit mıknatıslıdır. Bu yüzden SSM' lar "*Permanent Magnet* Senkron Servo Motor" ya da "Sabit Mıknatıslı Senkron Servo Motor" olarak isimlendirilirler (Hancı, 2007). Şekil 5.12' de SSM' lara ve Şekil 5.13.' de SMSSM' un yapısına yer verilmiştir.



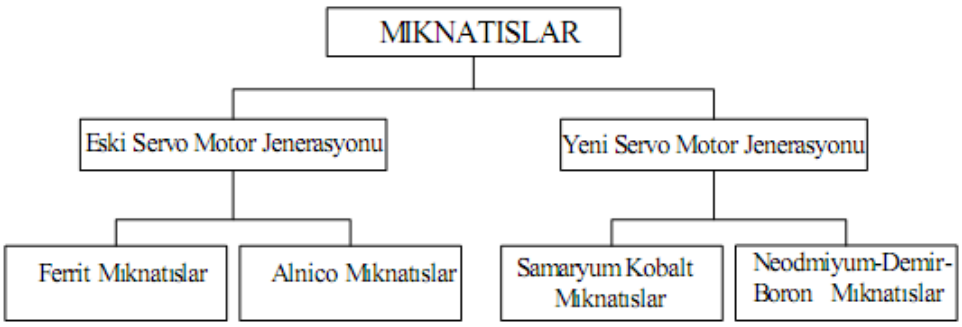
Şekil 5.12. SSM' lar (Hancı, 2007)



Şekil 5.13. SSM' un Yapısı (Hancı, 2007)

Senkron ifadesi, rotor ile stator devrinin birbirine eşit olmasından gelir ve bu motorlarda kayma sıfırdır. Senkron motorda stator ve rotor devrinin eşitliği; motorun yükte ya da boşta çalışmasında da aynıdır. Geleneksel tip senkron motor aşırı yük altında çalışsa bile; rotor daima stator hızını yakalamak ister ve bu esnada aşırı akım çeker. SSM' da rotor hızının, stator hızını yakalaması motor sürücüsü tarafından motora uygulanan frekansın ya da motor geriliminin arttırılmasıyla gerçekleştirilir. Gerilimin arttırılması, moment yükseltilmesi olarak da ifade edilmektedir (Hancı, 2007).

SSM' larda rotor, atalet momentinin düşük olması amacıyla boyuna uzatılmış ya da enine uzatılmış olarak imal edilirler. Rotoru boyuna uzatılmış sürekli mıknatıslı senkron motorlar, düşük bir eylemsizlik ile yüksek ivmelenme sağladığından servo sistemlerde yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Motorun düşük eylemsizliğe sahip olmasını sağlayan en önemli etken rotor yapısında kullanılan sürekli mıknatısın türüdür (Polat, 2009).

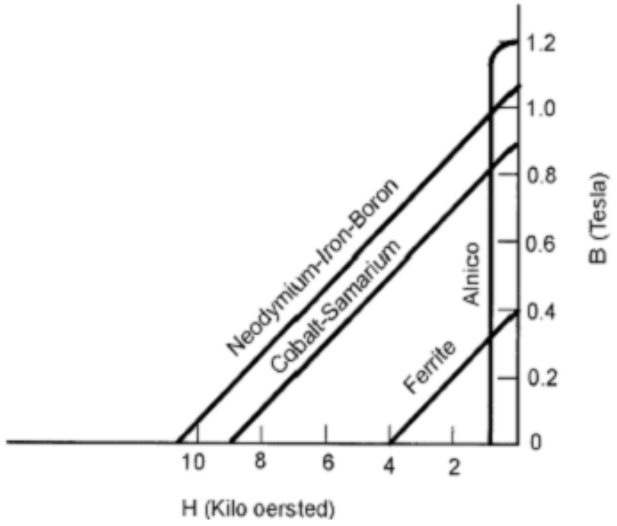


Şekil 5.14. Rotor Yapısında Kullanılan Mıknatıslar (Doğan, 2009)

Alniko türü mıknatıslar, yapısında yoğunlukla Alüminyum, Nikel ve Kobalt az miktarda Bakır, Titanyum ve diğer katkı malzemelerinin bulunduğu mıknatıs yapılarıdır (Doğan, 2009). Yüksek çalışma sıcaklığına, iyi bir termal dengeye, yüksek akı yoğunluğuna sahiptir, fakat düşük sıfırlayıcı kuvvet ile birlikte karesel B-H karakteristiği en büyük dezavantajlarıdır. Bu tip karakteristik, Alniko' nun sürekli demanyetizasyonun yüksek olmasına ve bu nedenle SMSSM' da kullanımının uygun olmamasına yol açar (Polat, 2009).

Ferrit mıknatıslardan Baryum ve Stronsiyum ferritleri, sürekli mıknatıs olarak yaygın biçimde kullanılırlar. Ferrit ucuzdur, üretimi kolaydır, yüksek sıcaklıklarda *(400 C°)* kullanılabilir. Baryum ve Stronsiyum ferritleri doğrusal manyetik demanyetizasyon eğrisine sahiptir fakat remenansı *(B_r)* düşüktür. Bu nedenle SMSSM' da kullanılırsa makinanın ağırlığı ve hacmi büyüyecektir. Kobalt-Samarium *(CoSm)* demir-nikel-kobalt ve samariumdan oluşur. CoSm manyetiğinin yüksek remenansı, yüksek enerji yoğunluğu ve lineer demanyetizasyon eğrisi vardır. Çalışma sıcaklığı *(300 C°)* kadar çıkar, aynı zamanda sıcaklık dengesi *(herbir C° için B deki % değişim)* oldukça iyidir *(-0.03%)*. Fakat Samarium' un zor elde edilebilir bir element olmasından dolayı malzeme çok pahalıdır. Neodim-Demir-Bor *(Nd-Fe-B)* manyetiği en yüksek enerji yoğunluğu ve remenansa ve çok iyi bir artık mıknatıslanmaya sahiptir. Temel dezavantajı ise düşük

çalışma sıcaklığına *(150 C°)* sahip olması ve eğer koruyucu kılıf uygulanmaz ise oksitlenmeye açık olmasıdır. Bunun yanında CoSm' ye göre daha düşük *(-0.13%)* sıcaklık dengesine sahiptir (Polat, 2009). Malzeme ferrite göre daha pahalıdır; fakat, yüksek enerji yoğunluğuna sahip olması ve motorun ağırlığını azaltması sebebiyle kullanımı SMSSM' larda çok yaygındır (Bose, 2002).

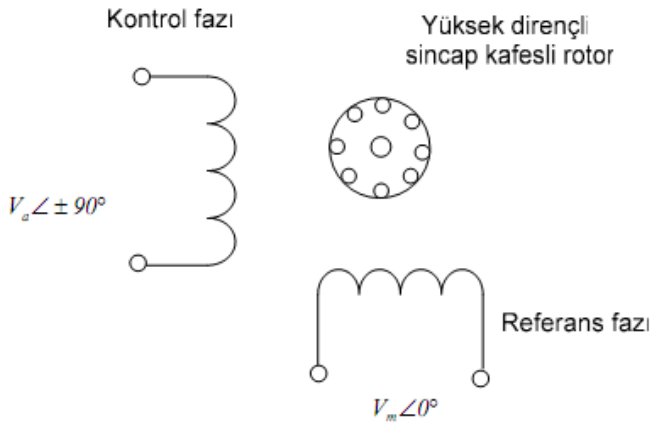


Şekil 5.15. Sürekli Mıknatısların Karakteristikleri (Polat, 2009)

SMSSM' un düşük eylemsizliğinin yanında diğer avantajları yüklenme aralığının daha geniş olması ve komütatöre ihtiyaç duymaması, iyi bir kontrol karakteristiğine sahip olmasıdır (Polat, 2009). Optimize edilmiş senkron motorlar uygulamalarda; düşük hızlarda yüksek moment, yüksek hızlanma ivmesi ve yüksek verimli olmaları en önemli avantajlarıdır (Hancı, 2007). Motorun kullanıldığı uygulamalara; elektronik kam, kesim hatları ve robotları örnek olarak verebiliriz (Brosch, 1999). En büyük dezavantajları ise maliyetinin yüksek olması ve alan akı kontrolünün esnekliğinin ortadan kalkmasıdır (Selezneva, 2007).

5.1.2.3. İki fazlı AC servo motorlar

Kontrol sisteminde kullanılan AC servo motorlar, iki faz sincap kafesli asenkron makinelerdir (MEGEP, 2007).



Şekil 5.16. İki Fazlı ACSM (Hancı, 2007)

İki Fazlı ACSM' un statoru, birbirinden 90◦ elektriksel açılı dağıtılmış iki sargıdan oluşur. Sargının biri, referans fazı veya sabitlenmiş faz olarak adlandırılır ve genliği sabit bir AC gerilim kaynağına bağlanır (MEGEP, 2007). Yapıdaki ikinci sargı kontrol sargısıdır ve referans fazıyla aynı frekans değerli 90◦ elektriki faz farklı gerilimle beslenir (Hancı, 2007). Kontrol fazının gerilimi genellikle bir servo yükselteçten sağlanır. Motorun dönüş yönü, kontrol fazı ile referans fazı arasındaki faz ilişkisinin ileri veya geri olmasına bağlıdır. Dengeli iki-faz geriliminin genlikleri eşit $(V_a = V_m)$ olduğunda motorun moment-hız karakteristiği üç faz asenkron motora benzerdir. Düşük rotor dirençlerinde bu karakteristik doğrusal değildir. Böyle bir moment-hız karakteristiği, kontrol sistemlerinde kullanılamaz. Bu yüzden rotorları yüksek dirençli imal edilirler (MEGEP, 2007).

5.1.2.4. Üç fazlı AC servo motorlar

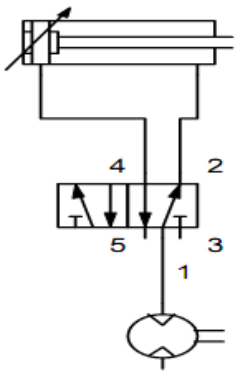
DC servo motorlar, yüksek güçlü servo motor sistemlerinde üstündür. Üç fazlı sincap kafesli indüksiyon motorların servo motorlar gibi kullanımı konusunda bir çok araştırma yapılmıştır (Hancı, 2007). Üç fazlı asenkron motor yapı olarak dayanıklı olmakla birlikte, doğrusal olmayan hız-moment karakteristiğine sahiptir ve bundan dolayı kontrol işlemi karmaşıktır. Birçok araştırmacı, vektör kontrolü veya alan uyarımlı kontrol olarak bilinen bir kontrol metodu kullanarak DC motorlara benzer şekilde, bu motorları lineer kuplajlı sistemlerde başarılı olarak kullanmıştır (Hancı, 2007). Böylece tork ve akım DC motorlarda olduğu gibi kuplajlı hale gelmiştir. Bu ise yüksek hız ve yüksek tork cevabını sağlar. Bu amaçla kullanılan endüstriyel 3 fazlı

frekans inverterlere ve bunlara, modüler halde bağlanabilen enkoder ve resolver geri besleme modüllerine piyasada rastlamak mümkündür (Anonymous, 2006).

5.2. Pnömatik Tahrik

Pnöma, Yunanca' da nefes alıp verme anlamındadır. Pnömatik ise havanın ve diğer gazların özelliklerini ve uygulamalarını içeren bir bilim dalıdır (Kuşçu, 2003). Birçok endüstriyel robotta tahrik sistemi olarak kullanılmakta olup, maliyeti oldukça düşüktür. Ancak kontrolü karmaşıktır. Basit yapılı robotlarda ve endüstriyel uygulamalarda eksen hareketlerinin tahrikinde kullanılırken, gelişmiş robotların tutucu kısımlarının tahrik edilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Hemen hemen bütün fabrikalarda basınçlı havanın bulunması kullanımını yaygınlaştırmaktadır (Çengelci, 2005).

Pnömatik sözcüğü, havanın tahrik unsuru olarak kullanıldığı mekanizmaları akla getirir. Havanın sorunsuz olarak *(mesafe, basınç, vs. nedenlerden)* bir yerden başka bir noktaya taşınamıyor oluşu onun kontrol sinyali olarak kullanılmasının önüne geçer. Bu yüzden, pnömatik ve elektrik teknolojisinin bir arada kullanılması, endüstriyel otomasyon çözümlerinin uygulamalarında önemli rol oynar (Kuşçu, 2003). Bu tür bir çözüm beraberinde iş makinesi çevrim süresinde azalma meydana getirir, ucuz ve güçlü bir üretim sistemi sağlar. Pnömatik, elektrik, elektronik ve mekanik kontrol tekniklerinin bir arada kullanıldığı sistemler elektro-pnömatik sistemler olarak adlandırılır (Kuşçu, 2003). Bu sistemlerde bağımsız iki ayrı devre vardır; bunlar, tahrik sağlayan pnömatik devre ile kontrol işaretlerinin alınması ve işlenmesini sağlayan elektriki devredir. Pnömatik devre kabaca silindir, valf, şartlandırıcı, kompresör ve bağlantı borularından oluşur. En basit haliyle bir pnömatik devre aşağıdaki şekildedir.



Şekil 5.17. Pnömatik Devre Görünüşü (Keleş, 2008)

5.2.1. Silindir

Silindirler pnömatik devrede iş yapan eleman konumundadır. Genel olarak iki etkili olarak çalışır. Silindirin tanımlanmasında önemli olan iki faktör strok uzunluğu ve piston çapıdır. Strok uzunluğu, pistonun silindir içindeki gidip gelme mesafesidir. Bu mesafe pistonun çalışma hızını etkiler. Sanayide kullanılan silindirler maksimum 12 bar çalışma basıncına göre imal edilmektedir. Ancak önerilen çalışma basıncı 6 bar' dır. Sistemin uygulayacağı maksimum kuvveti pistonun hacmi belirler. Bunu da basınç formülünden *(yüzey alanı x kuvvet)* doğrulamak mümkündür (Keleş, 2008).

5.2.2. Valf

Valfler pnömatik sistemin en önemli elemanlarıdır. Kompresörden gelen havayı yapılacak işleme göre yönlendirir; yani sistemde bir beyin görevi görürler (Keleş, 2008).Yapılarında bulunan bobine elektriki kontrol gerilimi uygulanırsa *(220 V AC ya da 24 V DC)* bir elektromanyetik kuvvet oluşur. Bu kuvvet, valf çubuğu ile bağlanmış bobin çekirdeğini hareket ettirir. Valf bobinine akım gitmez ise manyetik kuvvet ortadan kalkar. Valf kurucu, yayı kuvveti sayesinde başlangıç konumuna gelir (Kuşçu, 2003).

5.2.3. Şartlandırıcı

Pnömatik sistemde kullanılan basınçlı havanın elemanlara gönderilmeden önce temizlenmesi, basıncının düzenlenmesi ve yağlanması gerekir. Kompresörden gelen basınçlı havanın içerisinde yağ artıkları, su buharı, toz ve pislikler bulunabilir. Bu yabancı maddelerin basınçlı havayla birlikte sisteme gitmesi çeşitli problemler doğurur. Hassas devre elemanlarında tıkanmalara yol açan toz ve pislikler, hareketli parçalarda sürtünmeyi arttırır, aşınma ve ısınmalara yol açar. Ayrıca sistemin gerçek fonksiyonlar; yerine getirmesine engel olur, hatalı sonuçların doğmasına yol açar ve sistemin verimini düşürür. Bu nedenlerden dolayı sisteme verilecek havanın şartlandırılması küçük ama önemli bir noktadır. Şartlandırıcı ile kompresörden gelen havanın nemini alma, zararlı atıklardan arındırma, yağlama ve basıncını ayarlama işlemleri yapılabilmektedir. Şartlandırıcılar pnömatik sistemde kompresör ile valf arasına bağlanmaktadır (Kuşçu, 2003).

Pnömatik tahrikin diğer tahriklere göre avantajları:

- Pnömatik enerji kaynağı olan hava atmosferden sınırsız olarak elde edilebilir.
- Basınçlı hava gerektiğinde depo edilebilir. Kompresörün sürekli çalışmasına gerek yoktur.
- Basınçlı hava sıcaklık değişimlerine karşı hassas değildir.
- Patlama ve yanma tehlikesi yoktur.
- Basınçlı hava temizdir. Herhangi bir sızma çevreyi kirletmez.
- Devre elemanları ucuzdur.
- Basınçlı hava sistemleri çok yüksek hızlara ulaşabilir.
- Hızlar ve kuvvetler kademesiz olarak ayarlanabilir.
- Havalı el aletleri ve çalışma elemanları aşırı yük halinde sadece dururlar.

Pnömatik tahrikin dezavantajları:

- Basınçlı hava kullanılmadan önce belirli bir bar değerine getirilme zorunluluğu vardır. Bundan dolayı hava basınç değeri kontrol edilmelidir.
- Basınçlı hava ile düzgün ve sabit piston hızlarının elde edilebilmesi mümkün değildir.
- Basınçlı hava ancak belirli kuvvet seviyesine kadar ekonomiktir.
- Tahliye anında hava gürültü çıkarır. Ancak susturucular ile bu ses giderilebilir.

5.3. Hidrolik Tahrik

İlk zamanlarda çok kullanılan bir tahrik sistemi olmasına rağmen bazı vazgeçilemeyen alanlar *(vinç, pres, hidrolik şekillendirme, hidrolik testere, giyotin vs.)* dışında yerini diğer tahrik yöntemlerine bırakmaktadır. Hidrolik sistemler yüksek güç/kütle oranına sahiptirler (100 bar basınç için 1kW/kg'dan büyük) ve belirli bir hız ile ivmelenme sağlayabilirler (Aydoğdu, 2007). Büyük güçlü uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Çünkü hidrolik olarak elde edilen tahrik gücünün diğerlerinden elde edilmesi mümkün değildir (Çengelci, 2005). Hidrolik tahriklerle ilgili ana problemler, akışkan kaçakları, işlem hassasiyetleri ve tekrarlanabilirliktir. Diğer bir ana problemde akışkan vizkozitesinin değişmesi ve sistemin zamanla ağır çalışması ve kullanılan akışkanın yangın tehlikesidir (Aydoğdu, 2007).

6. SERVO SİSTEM BİLEŞENLERİ

Servo motorlar, endüstriyel uygulamalarda kontrol sisteminin yapısına bağlı olarak çeşitli yan ve yardımcı elemanlarla birlikte kullanılır.

6.1. Merkezi Kontrol Birimi

Endüstriyel uygulamalarda, merkezi kontrol birimi olarak sıklıkla programlanabilir lojik kontrolörler *(PLC)* tercih edilir. Bunun haricinde bazı basit kontrol işlemleri gerçekleştirebilen, sınırlı sayıda I/O' su bulunan işlemci tabanlı mini kontrolörlerin kullanımı da yaygındır. Mini kontrolörler hassas servo sistemlerde pek tercih edilmez. Ayrıca, doğrudan PC ya da operatör panel – servo sürücü ile çalışabilen sistemlere de rastlamak mümkündür. Bu durum uygulamada kullanılan servo sürücünün bir özelliğidir; kompleks sistemlerde sınırlı kontrol sunması nedeniyle tercih edilmez.

PLC, endüstriyel bir ortamda görev yapmak üzere tasarlanmış, algılayıcılardan aldığı bilgiyi kendine yüklenen programa göre işleyen ve iş elemanlarına aktaran mikro işlemci tabanlı bir kumanda ve kontrol elemanıdır (Altun, 2010). 1960' lı yılların sonlarına doğru ilk olarak otomobil sektöründe kullanılmaya başlayan PLC' ler zaman içinde geliştirilmiş ve endüstriyel uygulamaların değişmez bir parçası haline gelmiştir. İlk başlarda sadece basit kumanda işlevlerini gerçekleştiren PLC, günümüz teknolojisi ile daha esnek, ekonomik ve kullanım açısından daha geniş bir yelpaze de hizmet verir hale gelmiştir. PLC sistemlerin bu denli tercih edilmesinin temel nedenleri ise şunlardır (Bilgin, 2010):

- Yüksek düzeydeki elektriksel gürültü, elektromanyetik parazitler, mekanik titreşimler, yüksek sıcaklık gibi olumsuz koşullar altında çalışabilmesi,
- Daha az yer kaplama, arıza yapma ve enerji harcaması,
- PWM ve PID denetim kontrolü yapabilmesi,
- Denetim yerinden farklı mesafelere, geliştirilen çeşitli haberleşme protokolleri ile kontrol verileri ve sistem bilgilerini aktarabilmesi,
- Analog, lojik ve yüksek hızlı I/O' ların ve haberleşme kartlarının PLC' ye ilave edilebilecek şekilde modüler bir hale getirilmesi,

- Teknik gereksinimlerin değişmesi veya artması halinde PLC' li sistemin az bir değişikliğe ya da hiçbir değişikliğe gereksinim duymadan teknolojik yeniliğe ayak uydurabilmesi,
- En önemlisi ise PLC' nin yaygınlığının artması için firmalar tarafından hazırlanan paket yazılım programlarının teknik elemanların daha kolay anlayabileceği ve kullanabileceği hale getirilmesidir.

6.2. Operatör Panel (HMI)

Operatör panelin temel işlevi, PLC' nin kontrol ettiği iş akışı *(proses)* değişkenlerinin görselleştirilmesi ve operatör panelden girilen verilerin PLC' ye aktarılmasını sağlamaktır. Operatör panel PLC' nin kontrol ettiği büyüklüklerin kumanda edilmesini sağlayan bir kontrol panosu şeklinde düşünülebilir. Operatör panel, çalışma sıcaklığı, sıvı seviyesi, çalışma hızı, çalışma süresi gibi parametrelerin izlenebilir proses büyüklüklerinin kontrol edilebilir olmasını sağlar (Anonymous, 1999).

PLC-HMI barındıran sistemlerde birden fazla program oluşturulup, parametreler her programda ayrı ayrı değerlere set edilebilmektedir. Aynı makine farklı parametreler gerektiren değişik iş parçalarını işleyeceği zaman, operatörün her farklı parça değişiminde yeniden parametreleri set etmesine gerek olmadan sadece çalıştırmak istediği programın numarasını seçmesi yeterli olmaktadır. Programlanan parametreler kalıcı hafızada enerji kesilse dahi muhafaza edilmektedir (Keleş, 2008).

HMI, operatörlere kontrol ve gözetleme imkânı tanımaktadır. Genel olarak uygulamalarda;

- PLC yazılımında tanımlanmış sisteme ait I/O' lar *(hız, konum, seviye, sıcaklık, basınç, dijital sinyaller, vana ve motor durumları, sistem durumları vb.)* vasıtasıyla sistemin takibini,
- Reçete ekranları *(iş akışına uygun denetimin tanımlanması işlemi)* vasıtasıyla, uygun reçetelerin girilmesi ve işleyen reçeteler hakkında operatörün bilgilendirilmesi,
- Parametre ekranları vasıtasıyla, sistem için gerekli olan limit değerlerin *(set değer, alt ve üst zaman limitleri vs.)* girilmesi,
- PID parametrelerinin girilebilmesi ve gözlenebilmesi,

- İşletme değerlerinin tarihsel ve gerçek zamanlı anlık değişimlerinin *(trend)* grafik gösterimi,
- Dinamik ya da periyodik raporların alması,
- Otomatik ya da manüel çalışan sisteme dokunmatik ekranından müdahale imkânı tanıması,
- Alarm ve çeşitli durumların gösterilmesi, yazıcıya ve/veya veri tabanına kayıt edilmesi

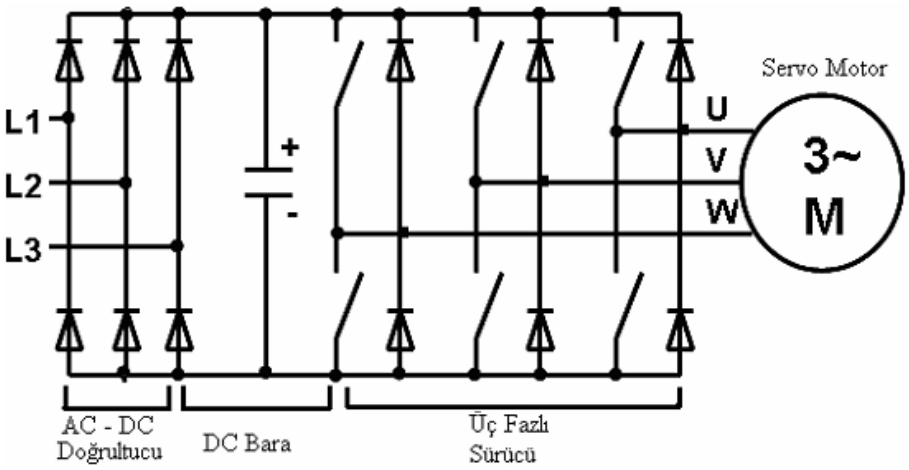
gibi işlevleri, tasarım programı aracılığı ile yerine getirebilir.

6.3. Servo Sürücü

Motor, aktarma organı ve yükten oluşan mekanik servo sistemin hız, moment veya pozisyon değişkenlerinden herhangi birinin, bu değişkenle ilgili verilen referans değere uygun olarak hareket etmesini sağlayan güç elektroniği elemanlarıdır (MEGEP, 2007).

0-5 kW arası düşük güçlü ASM, SSM ve SMSSM' ler pek çok alanda yoğun olarak kullanılmaktadırlar (Yıldız, 2009). Servo sürücülerin en önemli özellikleri motorları çok dinamik çalıştırabilmeleri, hatasız hız ve açı kontrolü yapabilmeleridir. Servo sürücüler motorları kontrol ederken PLC veya diğer cihazlarla da haberleşebilirler (Karaman, 2007). Günümüz yarı iletken teknolojisi sayesinde yüksek performanslı, üzerinde bir çok parametre ve I/O bulunan sürücüler üretilmiştir. Ayrıca sürücülerde programlama yapılabilmesiyle daha etkin kontrol çalışmaları yapılabilmektedir. Sürücülerdeki bu gelişmeler ile sinüs formundaki çıkış akımı ve torktaki dalgalanmalar kontrol altına alınabilmiş ve elektrik enerjisi tasarrufuna katkı sağlamıştır (Doğan, 2009).

Servo sürücüler şebekeden gelen üç fazı doğrultarak, DC barayı oluşturur. DC bara enerjisini IGBT' lerinde tetikleyerek motorun istenildiği gibi tahrik edilmesini sağlar (Karaman, 2007). Sürücü güç şeması Şekil 6.1' de gösterilmiştir.

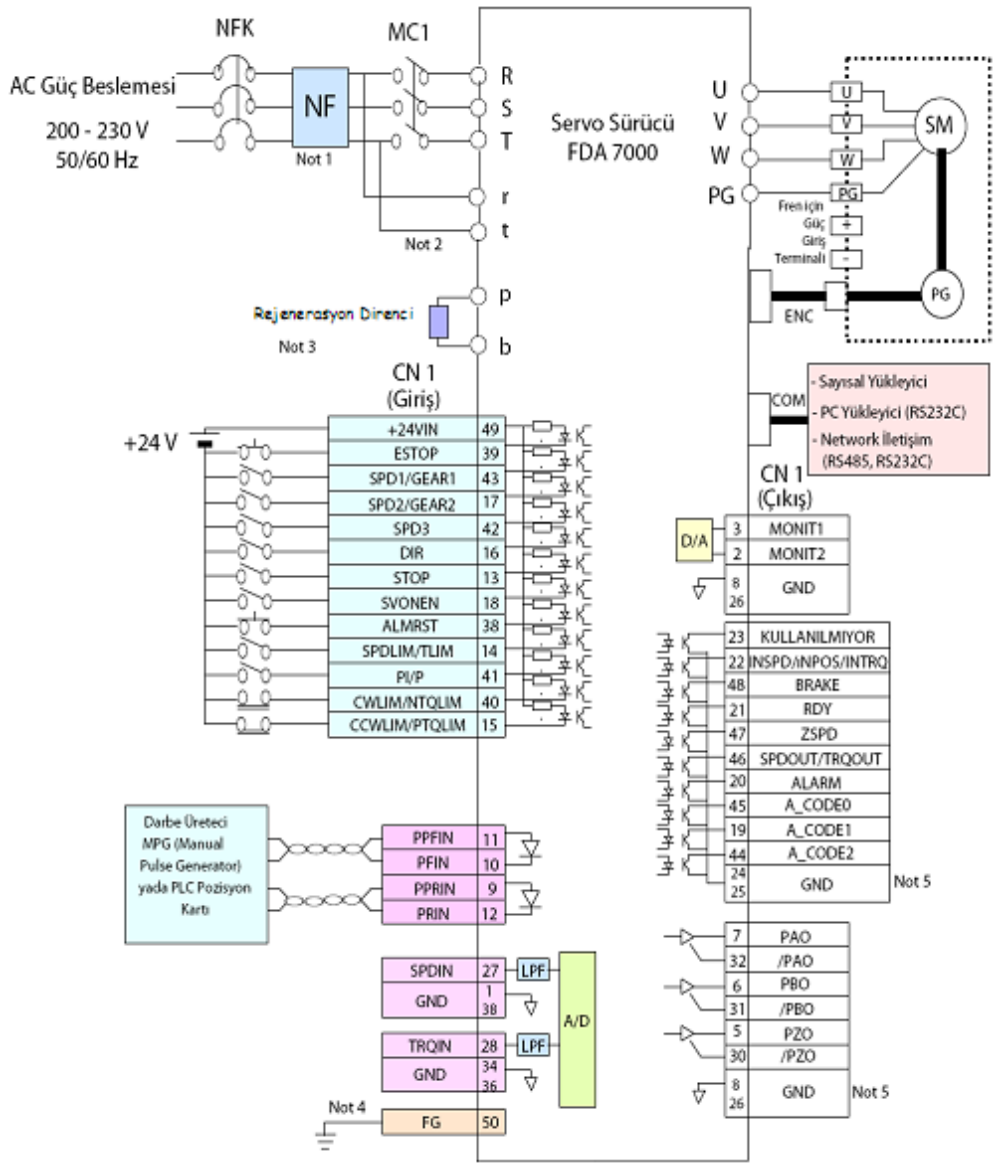


Şekil 6.1. AC Servo Sürücü Güç Şeması (Anonymous, 2012)

Uygulamada servo kontrol uygulanacak sistemler doğru analiz edilip mekanizmaya uygun güçlerde motor ve sürücü seçilmelidir. Güç seçimi mekanik tasarımcılar tarafından yapılmalıdır. Motorlar mekanizmaya bağlandıktan sonra, sürücüler programlanmalı ve motorlara istenilen komutlara uygun şekilde enerji gönderecek şekilde ayarlanmalıdır. Sistemin kontrolü tamamen programcının elindedir. Programcı kullanılan ara yazılımın ve motorların özelliklerini ne kadar iyi kullanabilir ise sistem o kadar kusursuz çalışır. Sistemin kontrolünde oluşan hatalar kullanılan cihazların fonksiyonlarının eksikliğinden olabileceği gibi, programcının eksik bilgisinden de kaynaklanabilir. Sürücüler sahada kullanılmadan önce programcı tarafından deney ortamlarında mutlaka test edilmeli, fonksiyon kabiliyetleri anlaşılmalıdır. Sistemlerdeki fonksiyon ihtiyaçları çok farklıdır. Genellikle firmalarca, bütün sistemlerin ihtiyacını karşılayacak bir motor kontrol cihazı üretilebilir. Bu cihaz birçok fonksiyonu içerdiği için programlanması da çok karışık olacaktır (Karaman, 2007).

Sisteme özel sürücüler programlama açısından kolaylık sağlarken, kullanılacak sürücünün seçimini zorlaştırmıştır. Sistemlerin fazlalığı, sürücü sayısının da fazlalığı sonucunu oluşturmuştur. Piyasada birçok marka ve model servo sürücü bulabilmek mümkündür. Aynı markanın bile birçok model servo sürücüsü bulunabilmektedir. Doğru sürücü, mekanizmada istenilen fonksiyonları gerçekleştirebilecek en ucuz sürücüdür. Sürücü seçiminde ilk olarak sistemin ihtiyaçları belirlenmelidir (Karaman, 2007).

Şekil 6.2’ de endüstriyel uygulamalarda kullanılmak üzere tasarlanmış örnek bir AC servo sürücünün kablo ve kumanda bağlantı terminalleri görülmektedir.



Yukarıdaki giriş ve çıkış bağlantıları, hız kontrol modundaki bağlantı noktalarıdır.(P07-01, P08-01 = 26)
Not 1 : NF gürültü filtresini gösterir ve dışarıdan gelen gürültülerden korunmak için kullanılmalıdır.
Not 2 : FDA7004 ile FDA7045 arasındaki tiplerde, r ve t terminallerine monofaze 220 V ilave besleme gerilimi uygulanmalıdır. FDA7001 ve FDA7002 tiplerinde ilave besleme r ve t terminalleri mevcut değildir.
Not 3 : FDA7004 ile FDA7010 arasındaki sürücü tiplerinde rejenerasyon direnci cihazın içine monte edilmiştir. FDA7015 ve üzeri sürücülerin rejenerasyon direnci haricen kullanılır. Uygun değer seçilmeli ve kullanılmalıdır.
Not 4 : CN1 kablosunun ekran toprağı, FG (Gövde Toprağı) terminaline bağlanır.
Not 5 : GND hattı ile GND24 hattı birbirinden ayrılmalıdır.

Şekil 6.2. Servo Sürücü Kumanda-Kontrol Terminalleri (Anonymous, 2008)

6.4. Servo Sistemlerde Kullanılan Algılayıcılar

Kontrol sistemlerinde uygun geri besleme elemanı seçimi, uygulama ihtiyaçlarına göre ve motorun türüne göre belirlenir. Algılayıcı çıkışının çözünürlüğü ve doğruluk değeri ne kadar iyi ise motor dinamik performansı ve sistem kararlılığı o düzeyde artırılabilir. Alternatif akım servo motorun kontrolünde tam bir sinüs stator faz

gerilimi sağlamak ve motor akımını kontrol edebilmek için, çoğu servo motor sürücü devrelerinin kontrol algoritmaları çok hassas hız ve pozisyon ölçmelerini gerektirir (Doğan, 2009).

Günümüzde takogeneratör, resolver, alan etkili sensör ve enkoder gibi bir çok geri besleme elemanı mevcuttur. Takogeneratörler ve resolverler analog sinyaller üretirken, enkoderler ve alan etkili algılayıcılar sayısal sinyaller üretirler. Bununla beraber, servo sistemlerde en çok tercih edilenleri resolverler ve enkoderlerdir (Bal, 2004).

6.4.1.Takogeneratör

Motor miline akuple edilen takogeneratörler, sabit mıknatıslı doğru gerilim generatörleridir. Hızla orantılı elektromotor kuvvet üretirler. DC servo sistemlerde hız geri besleme elemanı olarak kullanılırlar.

6.4.2.Resolver (Çözümleyici)

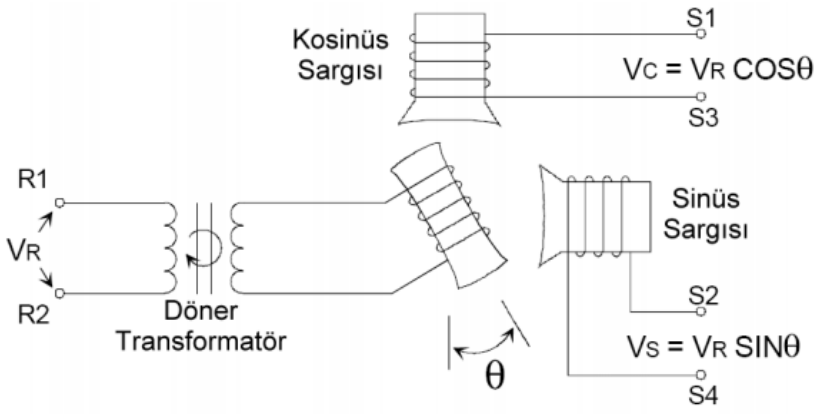
Resolver, alternatif akım servo motorlarda pozisyon algılamada kullanılan, döner transformatör prensibi ile çalışan ve analog sinyaller üreten bir geri besleme elemanıdır. Servo motorlarda motor milinin üzerine monte edilir ve mutlak konum değerini geri besleme sinyali olarak iletir (Hancı, 2007). Resolver yapı olarak genaratöre, ama çalışma prensibi olarak bir primer (Tosuner, 2004) ve bağımsız iki sekonder sargısı olan bir transformatöre benzetilebilir.



Şekil 6.3. Resolver

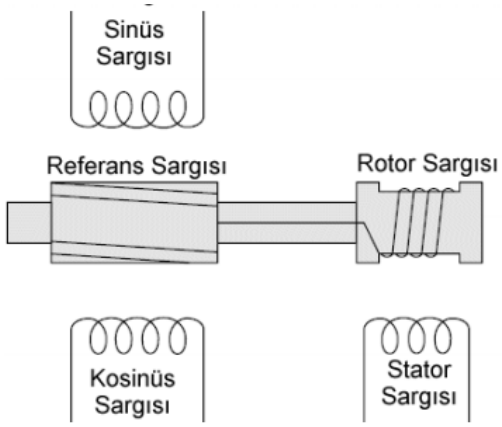
Yapısında ana sargıları oluşturan aralarında 90° faz farkı bulunan iki stator sargısı ve bir rotor sargısı bulunur. Motor bloğu üzerinde konumlandırılmış kısım statordur. Rotor sargısı, şafta yani rotora bağlıdır. Rotor sargılarına bir referans sinyali

uygulanır ve bunun sonucunda aralarında faz farkı bulunan iki stator sargısında endüklenen gerilimin değeri, rotorun dönüş açısının kosinüs ve sinüsü olarak modüle edilir (Yaobin, 2003).



Şekil 6.4. Resolver Temel Prensip Şeması

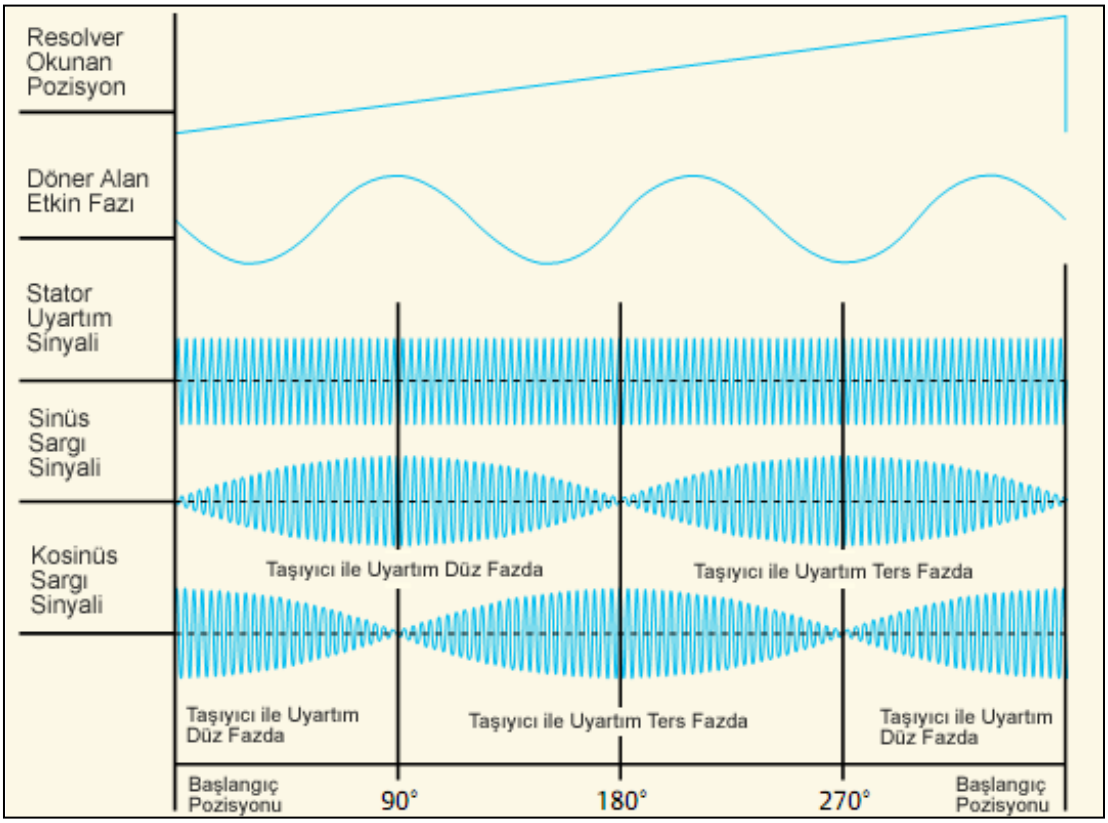
Sinüs ve kosinüs gerilimleri üretebilmesi için ihtiyaç duyulan manyetik alan mile bağlı rotordaki endüvinin elektromanyetik alanı ile sağlanır. Rotora gerilim vermek için fırça ve kollektör düzeneği kullanılmamıştır. Çünkü bu düzenek hem ölçümü bozucu gerilim dalgalanmalarına hemde mekaniki sorunlara yol açabilir. Aslında rotorda yan yana iki ayrı sargı vardır. Sargılardan biri statordaki sinüs ve kosinüs sargılarında gerilim indükleyen referans sargısıdır. Diğeri ise normal sarımlı bir bobindir ve bu ikinci bobin, statorda sarılı bir başka bobin içinde döner. Bu iki bobin döner transformatör denilen kısmı oluşturur. Statora DC gerilim verilerek manyetik alan oluşturulur (Tosuner, 2004).



Şekil 6.5. Resolver Sargı Yerleşimi

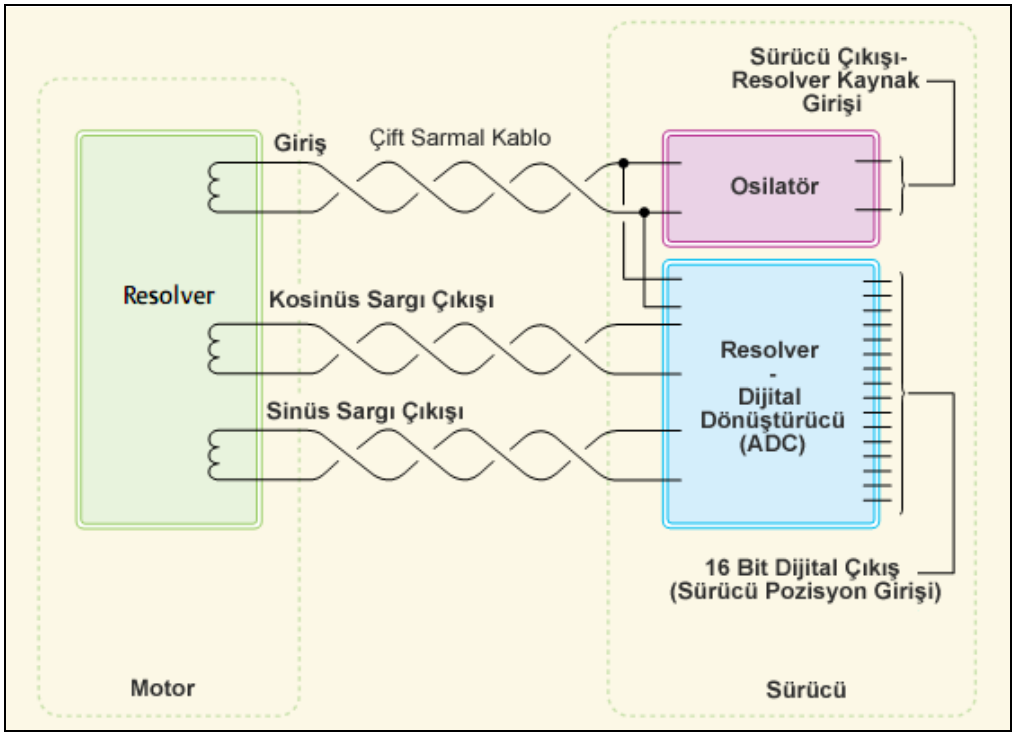
Rotor mil ekseninde döndüğü için stator sargısı manyetik alanı, rotor sargılarına göre değişen manyetik bir alandır. Döner transformatör olarak tabir edilen kısımdaki rotor sargısında bir gerilim indükler. Bu indüklenen gerilim aynı mil üzerinde olduğu referans sargılarına iki kablo ile verilir ve referans sargılarda manyetik alan oluşturur. Mil üzerindeki iki sargıda aynı hareketi yapmakta olduğu için ara bağlantı kabloları herhangi bir sorun teşkil etmez (Tosuner, 2004).

İki kutuplu bir resolverın Sinüs ve Kosinüs çıkışları aşağıdaki şekildedir :



Şekil 6.6. Resolver Sinyal Değişimi (Anonymous, 2011)

Resolver, alternatif akım servo motor komütasyonu için analog çıkışlı, mutlak *(kesin)* bir pozisyon bilgisi verir. Yalnız resolver bilgisini sayısal bilgiye dönüştürmek için ya resolver/dijital dönüştürücüye *(SM-Resolver Modül)* ya da DSP *(Dijital sinyal işleyici)* türü bir yazılıma ihtiyaç vardır. DSP' ler içerisinde Resolver açısal pozisyonu, sinüs ve kosinüs örneklemeleri kullanılarak "arctan" fonksiyonu ile kolayca hesaplanabilir. Motorun hızı, pozisyon bilgisinden bulunabilir (Ayçiçek, 2005). Örnek bir resolver-sürücü bağlantısına aşağıda yer verilmiştir:



Şekil 6.7. Resolver Sürücü Bağlantısı (Anonymous, 2011)

Resolverlerin en büyük avantajı yüksek çözünürlükte pozisyon ölçebilmeleri ve dayanıklılıklarıdır. Endüstriyel bir ortamda çalışan yüksek hızlı servo sistemler için kullanımı son derece uygundur. Resolverlerden sinyal elde etme *(ADC)* maliyetinin yüksek oluşu ise tek dezavantajlarıdır.

6.4.3.Enkoder

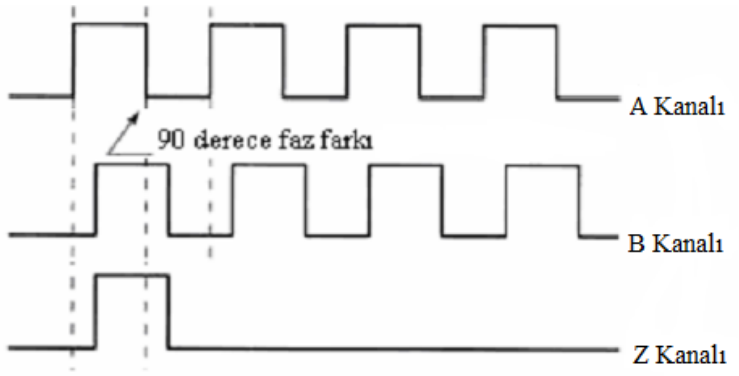
Bir enkoder lineer veya açısal bir yer değiştirmenin sonucunda dijital bir çıkış üreten elektromekanik algılayıcıdır (Doğan, 2009). Enkoderler, genellikle optik veya manyetik algılama teknolojilerinden birini kullanır. Optik algılama; birçok endüstriyel alanda yüksek çözünürlük, yüksek hız ve uzun ömürlü güvenilir bir çalışma sağlar. Manyetik algılama; çelik, metal ve kağıt fabrikaları gibi, ağır *(sert)* koşullarda yüksek çözünürlük ve yüksek çalışma hızında toz, nem, sıcaklık ve mekaniki şok gibi etkilere karşı maksimum dayanım sağlar (Anonymous, 2003).



Şekil 6.8. Artımsal Disk, Mutlak Disk, Lineer Maske (Anonymous, 2003)

Optik enkoderlerin yapısında bulunan bir ışık kaynağından çıkan ışınlar, döner enkoderlerde dönen bir disk ya da lineer enkoderlerde sabit bir maskenin üzerine düzgünce konuçlandırılan şeffaf bölgelerin *(oyukların)* içinden geçerek bir foto elemente çarpar. Döner ya da lineer hareket sonucunda, foto elementte oluşan ışığın durumu değişir. Algılanan bu değişim enkoderin çıkışına işlenilerek aktarılır. Enkoderler çıkış tipine göre artımsal ve mutlak olmak üzere ikiye ayrılır.

Piyasada yaygın şekilde kullanılan artımsal *(incremental)* tip enkoderlerde, motor mili hareket ettiğinde A ve B olarak isimlendirilmiş olan 2 ayrı kare dalga serisi veya kolayca kare dalga serisine dönüştürülebilen 2 ayrı sinüzoidal dalga serisi üretilir (Özcan, 2002). Daha gelişmiş artımsal enkoderlerde A ve B serilerinin yanı sıra Z, A', B' ve Z' serileri de üretilir. *(Burada A tersi A', B tersi B' ve Z tersi Z' şeklinde isimlendirilir.)* Şekil 6.9' da A, B ve Z kanallarından örnek kesitler gözükmektedir.



Şekil 6.9. Enkoder Kanalları

Z serisi enkoder mili her bir tur döndüğünde üretilen darbelerden oluşur ve dönme istikametinden bağımsız olarak enkoder milinin attığı turların sayısını hesaplamaya yarar (Özcan, 2002). Sıfır sinyali *(Z)* gereksiz gibi görünsede enkoderin testi açısından önemlidir. Bir enkoder bir turda çözünürlüğü kadar pulse vermelidir

(Tosuner, 2004). Üzerinde durulması gereken bir diğer nokta A ve B kanallarıdır. Artımsal enkoder CW yönünde döndüğünde B serisi A serisinden 90° geride kalır, CCW yönde döndüğünde ise B serisi A serisinden 90° ileride gider (Özcan, 2002). Sinyallerin önceliği kontrol esnasında yön tayini için kullanılır.

Sistemde bulunan artımsal tip bir enkoderin kanallarındaki değişim hareketi ifade eder. Pozisyonun belirlenmesi için, darbelerin bir sayıcı tarafından toplanması gerekir. Eğer motor yalnız bir tarafa dönecek olsa idi yukarıda gösterilmiş olan A ve B serilerinden yalnız biri yeterli olurdu. Fakat motor değişik istikametlerde dönebileceği için CW yönünde hareket halinde artacak olan mesafe (yani toplanan değer), CCW yönünde hareket halinde azalacaktır (Özcan, 2002). Sayım işlemi bir elektrik kesintisi veya elektriksel geçişlerde bozulma olması durumunda kaybolacaktır. Pozisyon sayıcısının tekrar başlaması için, enkoderin bağlı olduğu cihaz referans veya başlangıç konumuna getirilmelidir (Anonymous, 2003). Bu tip enkoderler PLC, mikrokontrolör vb. kontrol ünitelerinin hızlı sayıcı girişlerine *(HSC)* bağlanır.

Motor pozisyon kontrol problemlerinde motorun hareket ettirdiği mekanizmanın aldığı mesafe motorun dönme açısıyla orantılı olacak şekilde döner. Eğer motor n sayıda tur atar ve bundan sonra β derece dönerek durursa kat etmiş olduğu açı;

$$L = 2\pi n + \beta \qquad (12)$$

derece olur. Gösterilmiş olan olay kullanılarak motorun dönme hızı ve istikameti, bu istikamette alınmış olan yol *(açı)*, hareket etmekte olan mekanizmanın bulunduğu nokta ve mekanizmanın bu noktadaki hızı ve diğer parametrelerin değerleri belirlenebilir. Artımsal enkoder mil ile birlikte bir tur döndüğünde onun bir kanalından P_{sum} sayıda kare şekilli darbe *(pulse)* alınır. Milin her bir turunda P_{sum} sayıda darbe üretildiği için bir darbe 360 / P_{sum} dereceye karşılık gelir. Günümüzde kullanılan artımsal enkoderler için P_{sum}' nin değeri 20 – 5000 darbe arasında olabilir, yani mevcut olan artımsal enkoderler 18° ile 0.072° derece arasında olan bir hassasiyet ile ölçüm yapabilirler (Özcan, 2002).

Paralel çıkışlı mutlak *(absolute)* enkoderlerde ise çıkış bitlerinin sayısı kadar çizgi dizisi vardır (Anonymous, 2003). Belirli bir kodlamaya göre dizilen mutlak diskler konum bilgisini sürekli verebilen bir yapıya sahiptir. Kendi işlemci devresinden gelen ışık kodları işlenerek mutlak konum bilgisi olarak çıkışa aktarılır. Kodlamada her bir pozisyon değişiminin karşılığı binary, BCD ya da gray kodu ile belirlenir. Çözünürlüğü,

çıkışındaki bit sayısı ile tanımlanmaktadır. Mutlak enkoderlerin sağladığı en büyük avantaj konum bilgisi enerji kesilse dahi hiçbir zaman kaybolmaz. Mutlak enkoderlerin dezavantajı ise pahalı olması, sargı sistemlerinin daha kompleks ve güç harcamalarının daha fazla olmasıdır (Tosuner, 2004).

Piyasada, mutlak enkoderler tek turlu ve çok turlu olarak nitelendirilmektedir. Tek turlu bir enkoderde çıkış kodları her turda tekrar edilir. Bu tip enkodelerde bir tur içerisindeki çıkış sinyalleri eşsiz olmasına karşın, enkoderin kaç tur döndüğü ile ilgili bilgi veren bir çıkış yoktur. Çok turlu enkoderlerde ise, enkoder çıkışı şaftın her pozisyonu için eşsiz olmakla birlikte, enkoderin kaçıncı turu attığı bilgisi de bellidir (Anonymous, 2003).



Şekil 6.10. Servo Motor Miline Enkoder Bağlantısı (Tosuner, 2004)

Enkoderler aşağıdaki gibi bir çok uygulamada kullanılabilmektedir:

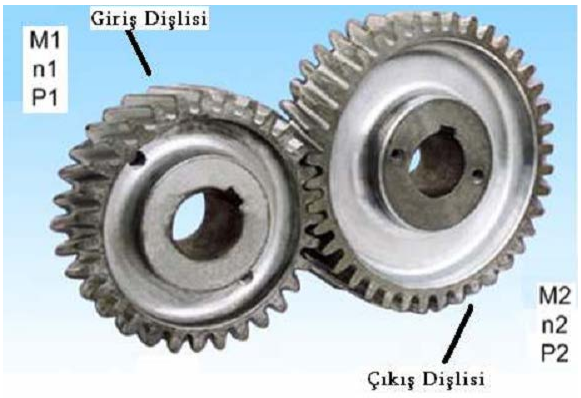
• Endüstriyel kontrol işlemleri,
• Endüstriyel robotlar,
• Tezgâhlarda,
• Ölçme gereçleri,
• Çiziciler *(plotters)* ve bölücüler *(dividers),*
• Levha işleme makineleri,
• Ölçekler ve balanslar,
• Antenler ve teleskoplar,
• Cam, mermer, çimento, tahta vb. işleme makineleri,
• Tekstil, deri işleme makineleri,
• Vinç, köprü vinci, presleme makineleri,
• Baskı ve paketleme makineleri,
• Medikal Cihazlar ve kapı kontrol cihazlarıdır.

6.4.4.Alan etkili algılayıcılar

Alan *(Hall)* etkili algılayıcılar, manyetik alanın varlığının algılanmasında kullanılan, yarı iletken malzemeden yapılmış dijital on-off algılayıcılardır (Doğan, 2009). Alan etkili algılayıcının dönen kısmı rotora akuple edilmiş bir mıknatıstır. Dış gövdede bulunan sargılarda rotorun dönüşüne bağlı olarak sinüsoidal bir gerilim indüklenir. Bu gerilim sensörler vasıtası ile algılanarak sürücü devresine iletilir. Birim tur başına alınan sinyal sayısı *(çözünürlük)*, sensör sayısına bağlıdır. Yapıları basittir ve genellikle küçük DCSM' larda kullanılır (Hancı, 2007). Bu sensörlerin avantajları maliyetinin düşük olması, basit oluşu ve doğruluğu sayılabilir. Düşük çözünürlükleri, sıcaklığa karşı hassas olmaları ve kaçak manyetik alanlardan etkilenebilirlikleri dezavantajlarıdır (Aklan, 2008). Hassas uygulamalarda tercih edilmezler.

6.5. Dişli Kutusu (Redüktör)

Redüktör, elektriki sistemlerde bulunan transformatör gibi görev yapan bir elemandır. Servo sistemlerde genellikle düşük hız, yüksek moment istenen yerlerde kullanılır. Girişteki hız dişli sayılarıyla orantılı olarak düşürülür ve buna karşılık moment de aynı oranda arttırılmış olur. Redüktörün giriş kısmına genellikle motor eleman olarak bağlanır. Ancak bazı uygulamalarda fiziksel bir tahrik elemanı da bağlanabilir. Aşağıdaki şekilde redüktör yapısında bulunan dişliler görülmektedir (Hancı, 2007).



Şekil 6.11. Dişli Çark Sistemi (Hancı, 2007)

Redüktörün giriş tarafındaki devir sayısının *(n_1)*, çıkış tarafındaki devir sayısına *(n_2)* oranına aktarma oranı denir ve "i" ile ifade edilir.

$$i = \frac{n_1}{n_2} \tag{13}$$

Çıkış tarafına aktarılan moment ise aşağıdaki formül yardımı ile hesaplanır. Denklemde, η dişli sistemine ait verimi ifade eder.

$$M_2 = i.\eta.M_1 \tag{14}$$

Geçmişte çıkışta düşük moment, yüksek hız gerektiren uygulamalarda aktarma oranı 1' den küçük redüktörler kullanılmaktaydı. Ancak günümüzde inverter teknolojisinin ilerlemesiyle, aktarma oranı 1' den küçük redüktörler çok fazla kullanılmamaktadır. Bunun yerine AC sistemlerde istenen devrin arttırılması, motoru süren inverterin çıkış frekansının arttırılmasıyla yapılmaktadır. Redüktörler dişlilerinin tiplerine göre adlandırılırlar.

Servo mekanizmalarda yaygın olarak kullanılan redüktör tipleri; helisel dişli, konik dişli, sonsuz dişli, şaft montajlı helisel dişli ve planet dişli redüktördür (Hancı, 2007).

7. SENKRON SERVOLU EDNK SİSTEMİN KONTROLÜ

7.1. Projenin Çıkış Noktası

Doğrular' ın ütü masası üretim hattında mevcut ütü masası imalatında kullanılan EDNK makinesinin 5.5 kW AC servo motorla sürülen puntalama arabası, kayda değer miktarda ağırlığa sahip transformatör grubu ile birlikte hareket etmektedir. Bu tasarımda 50 kVA değerindeki her bir transformatörün düzlemdeki punta kaynak noktasına göre atalet momenti, bu transformatörlerin yerden yüksekliğinin fazla olması nedeniyle gereksiz yere büyük olmaktadır. EDNK tekniği açısından bakıldığında ise transformatör grubunun kaynak noktasına yakın olması, gerekli ısıl işlemin gerçekleşmesi ve ısının kaybolmaması için tasarım açısından zorunlu olarak dikkate alınması gereken parametrellerden biridir. Puntalama ve taşıma işlemini birlikte gerçekleştirilen tek taşıma arabalı söz konusu yapıya ait fotoğraf Şekil 7.1' de verilmiştir.



Şekil 7.1. Doğrular' ın Ütü Masası İmalatında Kullandığı Mevcut Punta Kaynak (EDNK) Makinası

Puntalama ve taşıma işlevlerini birlikte yerine getiren arabanın yüksek atalete sahip oluşu, X ekseninde kaynak noktasını pozisyonlamayı sağlayan servo sistemi

yormakta ve gereksiz yere sık sık arızaya geçmesine neden olmaktadır. Bu durum, temelde üretim hattının gereksiz yere yavaşlamasına sebep olmaktadır. Ayrıca, üzerinde taşıdığı ağır yük ve yükseklik nedeni ile oluşan büyük atalet momenti manipülatörlerin (2 adet) hareketlerini kısıtlamakta, puntalama taşıtının istenilen noktada durmasına mani olmaktadır. Bu ise, çıkan ürün olan ütü masasının punta kaynak kalitesini etkilemektedir.

Doğrular' ın gerek üretim hattı boyunca karşılaştığı sorunlar gerekse kalite bazında müşterilerden aldığı geri beslemeler neticesinde ütü masası üretim hattını yeniden gözden geçirme gerekliliği üzerine bu tez çalışmasına başlanılmıştır.

7.2. Projeye Bakış

Bu tez çalışmasında, ütü masası üretiminde kullanılmak üzere yeniden tasarlanan senkron servolu ileri seviye bir Elektrik Direnç Nokta Kaynak (EDNK) makinesinin kontrolünün gerçekleştirilmesi düşünülmüştür. Bu amaçla, ilk etapta EDNK makinesine ilişkin tasarım parametreleri irdelenip, yeni bir makine tasarımı ortaya çıkarılmıştır. Yeni tasarlanan makine için gerekli hesaplamalar yapılmış ve bu makinenin Doğrular bünyesinde üretimine katkıda bulunulmuştur.

Yeni tasarlanan makine de, kaynak transformatörlerini taşıyacak araba ile kaynağı gerçekleştirecek üzerinde kaynak manipülatörlerini bulunduran puntalama arabası birbirinden ayrılmıştır. Bu iki araba arasındaki bağlantı, esnek bakır baralar yardımı ile gerçekleştirilerek iki mekanizma bir birinden ayrılmıştır. Böylece transformatörleri taşıyan arabanın punta kaynak arabasına olan atalet moment etkisinin değerinin azaltılması sağlanmıştır. Arabalar bağımsız iki servo motor ile sürülmüş ve senkronlanmıştır. Atalet momenti azaltılan, hareket yeteneği artırılan kaynak manipülatörleri ile istenilen pozisyonlar daha kolay şekilde tespit edilerek, istenilen kaynak prosesi çok daha seri ve hızlı bir şekilde gerçekleştirilmiştir.

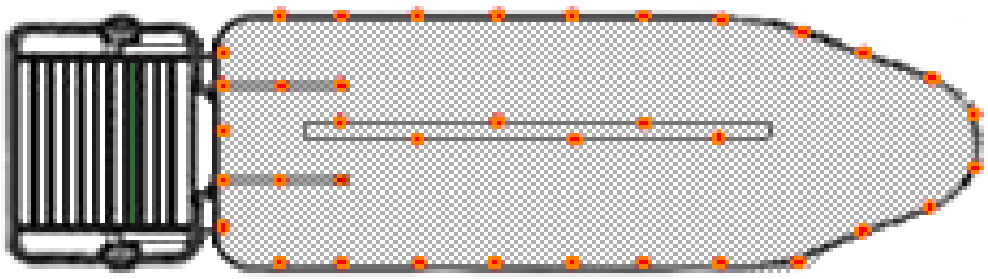
İmalatı gerçekleştirilen yeni makine için bir PLC merkezli kontrol sistemi tasarımı düşünülmüş ve yazılan bir kontrol programı ile sistemin istenilen şekilde çalıştırılması sağlanmıştır. PLC merkezli otomatik kontrol sistemi yardımı ile makinenin gerçekleştirmesi gereken tüm kontrol işlemlerini gerçekleştirmesi sağlanmıştır. Ütü masası imalatında kullanılacak sac malzemenin özelliğine bağlı olarak kaynak akımının değeri, punta kaynak uçlarına uygulanacak basınç değeri ve uygulanma süresi kontrol edilerek kaynak işleminin her noktada aynı kalitede ve

görünümde olması sağlanmıştır. Bu işlem deneysel çalışmalar ve gözlemler neticesinde gerçekleştirilmiştir.

7.3. İmalatta Kullanılacak Sac Malzemenin Yapılacak Sistem Tasarımına Etkileri

Gündelik hayatta evlerimizde kullandığımız ütü masaları basit ama önemli işleve sahip ürünlerden birisidir. Metalik ince saclardan yapılmış ütü masası tablası; çerçeve profil, raylar, ütülük ve üst delikli sacın birleşiminden oluşmaktadır.

Ütü masası ince sacların *(DKP – SAE 1010, çelik, 0.70 mm)* EDNK metodu ile uygun şekilde birleştirilmesinden elde edilir. Bu sacların bir biriyle birleştirilmesi oldukça hassas bir işlem süreci sonucunda gerçekleştirilmektedir. Örneğin, kaynak işleminde kullanılacak makine ve işlem parametrelerinin doğru şekilde belirlenmemesi ısının doğru bölgede oluşmamasına, görüntü ve şekil bozukluklarına neden olur. Eğer uygun aralıkta ve düzgün bir şekilde gerekli kaynak işlemi gerçekleştirilmezse ütü masasının kullanılmaya başlamasıyla geçen süreçte puntaların bir birinden ayrılarak atmasına sebep olmaktadır. Punta kaynak işlemiyle birleştirilen sac malzemelerin birbirinden ayrılması ise ütü masası üzerinde bulunan üst süngerin delinmesine ve üzerinde ütüleme işleminin yapıldığı ütü bezinin yırtılmasına sonuçta ütülenen parçaların zarar görmesine sebep olmaktadır. Bu söz konusu oluşabilecek hatalar ütü masasının üretim aşamasında kaynak kalitesinin oldukça önemli bir yere sahip olduğunun en önemli göstergesidir. Sonuçta, kaynak işlemini yapacak makine ve/veya manipülatörün tasarımı ve sürecin kontrolü işlemi oldukça kompleks bir uğraş olarak karşımıza çıkmaktadır.



Şekil 7.2. Ürün Geometrisi ve Kaynak Noktalarının Yerleşimi

7.3.1. Kaynak Yöntemi

Makinenin çerçeve profil ile üst delikli sacın kaynatılmasında işlemi göz önünde bulundurulduğunda; kalınlık (Anık, 2000), fikstür şekli ve üretim hızı bakımından sistem için en uygun metodun EDNK olduğu görülmüştür (Gourd, 1995). Diğer EDK çeşitlerinden kabartılı nokta kaynak, ilave işçilik ve düzeltme işlemleri gerektirmektedir. Söz konusu yöntem dikiş kaynak, ürün geometrisine uymamakta ve hız problemlerine neden olmaktadır. Alın kaynak yöntemi ise yığılmanın sağlanacağı kalınlıkta malzeme içermiyor olması nedeniyle yöntem gereği bu çalışma için uygun düşmemektedir. Belirtilen sebepler göz önüne alındığında ütü masası imalatında EDNK yönteminin mevcut kaynak yöntemleri arasında en uygun olduğu tespit edilmiştir.

7.3.2. Kimyasal Birleşim

Ütü masası imalatında kullanılan DKP sac; slab olarak adlandırılan sıvı çeliğin, sürekli döküm yöntemiyle katılaştırılması sonucunda meydana gelen, dikdörtgen kesitli yarı ürünün, sıcak haddehaneden geçirilmesi ile elde edilmektedir (Anonymous, 2012).

Bu çalışmada ütü masası imalatında kullanılan SAE 1010 çelik sac malzemenin kimyasal bileşimi Çizelge 7.1' de verilmiştir. Kimya, malzeme ve makine gibi alanlarda birçok bilim insanın çalışma alanı olan elementer yapının kaynağa etkisi bu çalışma kapsamı dışında tutulmuştur.

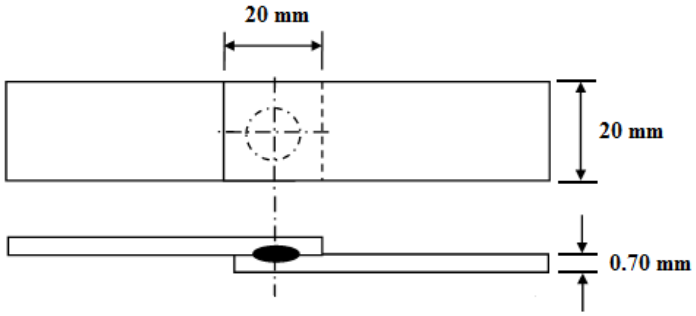
Çizelge 7.1. DKP Çelik Levha Kimyasal Bileşimi

DKP Çelik Levha	Element	Mn	C	P	S	Fe
	% Ağırlık	0.4	0.07	0.02	0.02	Baz

7.3.3. Kaynak Ölçütleri

DKP sac soğuk şekillendirme ve çekme işlemine uygun olması nedeniyle ütü masası üretiminde kullanılmaktadır. Bizim ütü masası imalinde kullandığımız DKP sac malzemenin kalınlığı 0.70 mm' dir. DKP sac üst delikli ızgara, alt çerçeve profil ve ray şeklinde ayrı ayrı işlenip daha sonra EDNK makinası ile uygun şekilde

birleştirilmektedir. Uygulamada istenilen mukavemeti elde etmek için her bir kaynak noktasının 20 mm genişliğinde olması gerekmektedir (Şekil 7.3).



Şekil 7.3. Kaynak Edilecek Malzeme, Kaynak Nokta Genişliği ve Malzeme Kalınlığı

Daha önceki bölümlerde değinildiği üzere, nokta kaynağını gerçekleştirecek puntanın çapının, nokta kaynak çapının %5 fazlası olması gerekmektedir. Punta geometrisinin ne olacağına ilişkin seçimde yüzeylerin düzlük ve pürüzlülük durumu dikkat alınmıştır. Bu amaçla düz az delikli üst tabla saclı ütü masaları için uygun puntalama uç geometrisi Şekil 3.1 (c)' de gösterilen uç seçilmiştir.

7.3.4. Kaynak Parametreleri

EDNK temel tasarım parametreleri araştırmalar ve gözlemler ile hazırlanan uygulama tablolarının kullanımı ile mümkün olmaktadır. Bu amaçla AWS *(American Welding Standarts)* ve bu alandaki bir çok firmanın malzeme türünü ve kalınlıklarını baz alarak yayınladığı ampirik ifadelerden oluşan uygulama tabloları, sistem için ilk tasarım parametrelerini vermede önemli birer kaynak olmaktadır. Çizelge 7.2' de DKP sac *(SAE 1010)* için deneysel gözlemler ile çıkarılmış tabloya yer verilmiştir.

Çizelge 7.2. DKP Sac için Kaynak Parametreleri, EK-1 (Anonymous, 2012)

Kalınlık [mm]	Kaynak Akımı [A]	Basınç [kg.f]	Süre [periyot*]
0.25	4000	72.58	4
0.53	6500	110.67	6
0.79	8000	147.87	8
1.02	8800	186.88	10

***** Bir periyot 1/60 s alınmalıdır.

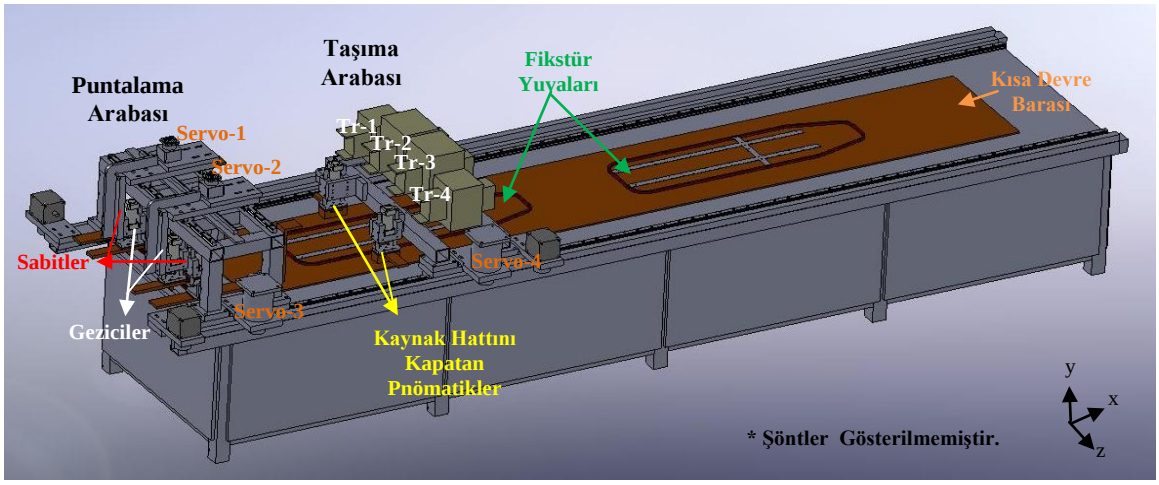
Yukarıdaki tablo sistem için ilk tasarım parametrelerini vermektedir. Ancak bir çok parametreye bağlı gerçek kaynak çevrimi uygulama sırasında iyi analiz edilmelidir.

7.4. Sistem Bileşenlerinin Tasarımı

EDNK metodu ile kaynak joule kanunu esaslı bir çalışmadır. Bu proses, günümüzde, her ne kadar otomotiv sanayisinde yaygın olarak kullanılsa da, ütü masası gibi fason üretim gereken uygulamalar için de yaygın şekilde kullanılmaktadır. Fason üretimin temel gayesinin birim zamanda üretilen ürün miktarını artırmak oluşu, uygulamada, ölü zamanları minimuma indirgemeyi ve makinenin dinamik performansını artırmayı gerektirmektedir. Bununla birlikte, ürün gamı düşünüldüğünde, çeşitli tip ve ebattaki ütü masalarının üretiminde kaynak parametrelerini ve düzlemindeki kaynak noktalarının her birini her bir ürün için ayrı ayrı belirlenme ihtiyacını göz önünde bulundurmak gerekmektedir.

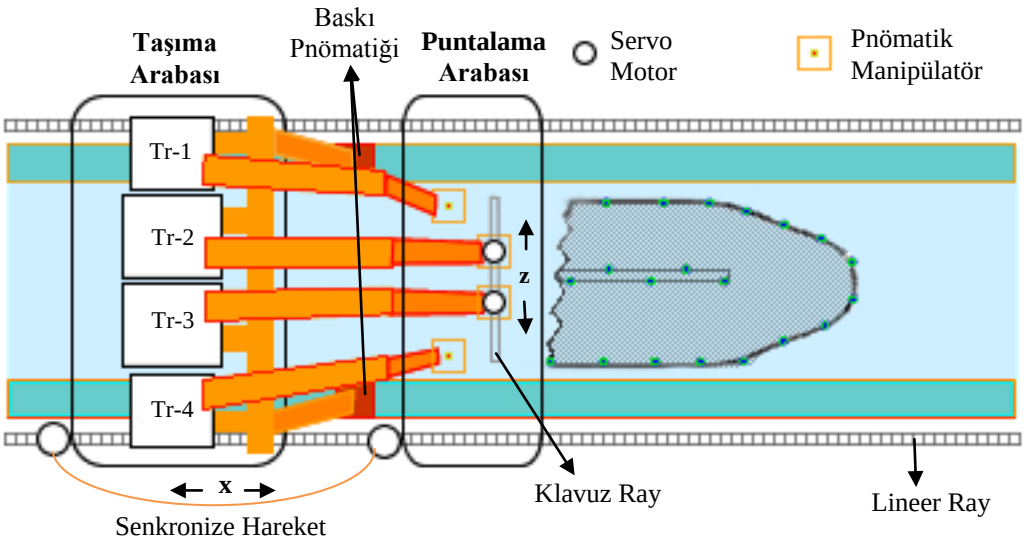
Tüm bu değerlendirmeler neticesinde, ürün geometrisi (Şekil 7.2) baz alınarak imalat için 4 adet kaynak manipülatör ve 2 adet fikstür yuvası bulunan yapının (Şekil 7.4) tasarımına karar verilmiştir. Bu tasarımda en önemli dikkate alınan nokta, bir ütü masasının üretilebilmesi için gereken toplam kaynak süresinin minimize edilmesi olmuştur. Fason üretim tekniğinin gerekliliği olan temel kriterimiz bu nokta olmuştur. Bu amaçla manipülatör sayısını 4' e çıkarmak ve aynı hat üzerindeki noktaları sabit manipülatörler ile kaynatmak eski kaynak maniplatörü ile bu tez çalışması sonucu gerçekleştirilen kaynak maniplatörünü farklı kılan en önemli husus olmuştur.

Bu fikir kaynak transformatörünün güç seçimine de yansıtılmıştır. Bu amaçla pozisyonlama zamanı kaybı yaşanmayan sabit manipülatörlere ait kaynak transformatörlerinin güç değerleri tasarım parametreleri değerinde *(Tr-1 ve Tr-4)*, gezici manipülatörlere ait transformatörler ise daha büyük değerde *(Tr-2 ve Tr-3)* seçilmiştir.



Şekil 7.4. Ütü Masası EDNK Makinası CAD Çizimi

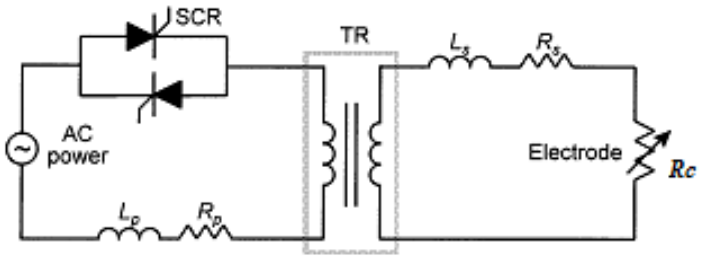
Bu tasarımda, puntalama arabası ile taşıma arabasının elektriki bağlantısı esnek bakır baralarla *(Şöntlerle)* gerçekleştirilmiş ve bu yapı X ekseninde lineer ray üzerinde senkronize hareket ettirilmiştir. Puntalama manipülatörlerinden sadece 2 tanesi *(Geziciler)* Z eksenindeki puntalama arabası üzerinde bulunan klavuz ray üzerinde hareket etmektedir. Şekil 7.5' de gösterilen puntalama arabası, taşıma arabası ve gezicilerin pozisyonlanmaları servo motorlarla gerçekleştirilmiştir. Bu yapıda, kaynak işlemini gerçekleştirecek kaynak manipülatörleri ile kaynak hattını kapatan fazın *(Baskı)* Y ekseni boyunca hareketinde ise pnömatik tahrikten faydalanılarak gerçekleştirilmiştir. Hem X-Z düzlemindeki her noktaya doğru şekilde erişimin sağlanabilmesi hem de manipülatörlerdeki Y ekseninde atalete bağlı sorunları sorunlarını azaltmak için böyle bir yapı düşünülmüştür.



Şekil 7.5. Şöntler-Manipülatörler Yerleşimi ve Hareket Eksenleri

7.4.1. Güç Hattı

EDNK makine sistem tasarımında, maliyet düşünülerek Şekil 7.6' da gösterilen AC Kıyıcılı *(SCR kontrollü)* yapı kullanılmıştır. MFDC *(Orta Frekanslı Doğru Akım)* tipi sistemlerde kullanılan inverter teknolojilerinde dışa bağımlılığımız bu seçimin yapılmasında en önemli rolü almıştır. AC kıyıcılı tasarım firmada önceden imal edilen mevcut kaynak manipülatöründe yapısında bulunmaktadır ve bu yapı önceden firma bünyesinde tecrübe edilmiştir.



Şekil 7.6. SCR AC Kıyıcılı EDNK Eşdeğeri (Cho, 2004)

Elektrik makinelerinden olan transformatörler en yüksek verimle çalışan makinelerden birisidir. Lakin güç büyüdükçe akımın karesi ile artan bakır kayıplarının transformatör sargılarının izolasyon ömrünü etkileyeceği göz önünde tutulması gerekmektedir. Bu nokta dikkate alınarak bu çalışmaya özel sardırılan transformatörlere cebri su soğutma sistemi ilave edilmiştir.

EDNK esnasında ilk başta manipülatör uçlarında kaynağı başlatacak gerilimin sağlaması gerekmektedir. Bu nedenle sistem tasarımında gerilim düşümlerine fazla (± %5 primer faz faz gerilim bandında çalışmalıdır.) izin verilmemiştir.

Sistem için gereken kaynak transformatörlerinin, piyasadan temin edilememesi yapım hesaplarının incelenmesini gerektirmiştir. Bu çalışma için gereken transformatörlerin tasarımında aşağıda verilen bir fazlı transformatörün yapım hesaplarına ilişkin ifadeler kullanılmıştır (Peşint, 2000).

$$k = \frac{U_P}{U_S} = \frac{I_S}{I_P} = \frac{N_P}{N_S} \tag{15}$$

$$S_n = U.I^* \quad (kVA) \tag{16}$$

$$S_o = c.\sqrt{S_n} \quad (cm^2) \tag{17}$$

$$U_1 = 4.44.f.N_1.B.S_o \quad (V) \tag{18}$$

Yukarıda verilen, bir fazlı transformatör hesaplarına göre sistem için ihtiyaç duyulan sekonder kaynak akımını verebilecek transformatörlerin teknik özellikleri Çizelge 7.3'de verilmiştir.

Çizelge 7.3. EDNK Transformatörleri

No	Nominal Gücü [kVA]	Nominal Gerilim Çevrimi** [V]	Nominal Primer Akımı [A]	Ağırlığı [kg]
Tr-1*	45	400/5.7	113	136
Tr-2*	60	400/6	150	140
Tr-3*	60	400/6	150	140
Tr-4*	45	400/5.7	113	136

* Transformatörler cebri su soğutmalıdır.

** Çalışma frekansı 50 Hz' dir.

7.4.2. Servo Sistem

Özellikle eksenel pozisyonlamanın hassas olduğu endüstriyel uygulamalarda konum, hız ve tork kontrolünü periyodik, hassas ve kararlı bir şekilde gerçekleştirmek servolarla mümkün olmaktadır. Yatay hareket eksenleri için gerekli olan servo hesaplamalarında makinenin konumlama hızı, hareket eden bölümlerin mekanik yükleri ve sürtünmeleri ile ataletleri dikkate alınmalıdır (Akbaş, 2010). Aksi halde, servoların kısa süreli gereksiz yere yüklenmeleri hareket yeteneklerini kısıtlamaktadır.

Taşıma arabası transformatörler, soğutma suyu, diğer mekaniki ve elektriki birleştirme elemanları hesaba katıldığında toplam ağırlık yaklaşık 900 kg kadardır. Bu değere tahrik grubunun ağırlığı da dahil edilmiştir. Taşıma arabasının toplam ağırlığının puntalama arabasının ağırlığından fazla oluşu, yedek tutma maliyeti açısından puntalama arabasınında aynı güçte bir servo motor ile tahrikine yol açmıştır.

Gerekli tahrik gücünü belirlemede kütlenin *(m; kg)* yanı sıra ivme de *(a; m/s^2)* önemlidir. Makine fason üretimde kullanılacağı için ivme değeri mümkün olduğunca yüksek seçilmiştir. Tabiki bu noktada servonun bu ivmeye karşı göstereceği tepkide önemlidir.

Yatay bir eksende yük taşımak için gerekli tahrik motoru hesabında Newton' un II. Yasası geçerlidir (Akbaş, 2010):

$$F = m \cdot a \ \left(Newton\right) \tag{19}$$

Burada sistem için ivme, $a = 2.50\ m/s^2$ alındığında;

$$F = 1000\,kg \cdot 2.50\ m/s = 2500\,N$$

değerinde ataleti karşılayabilecek itme gücüne ihtiyaç vardır. Makinenin X ekseni hareket alanı 4.60 m' dir. Yatay hareket hız değeri $V_{\max} = 1.25\, m/s$ seçildiğinde; makinenin hızlanma süresi :

$$t_{acc} = V_{\max} / a = 0.5\, s \tag{20}$$

'dir. Bu esnada katedeceği yol miktarı ise;

$$x_{acc} = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2 = 0.313\ m \tag{21}$$

'dir. Hızlanma ve yavaşlama değerleri eşit olacağından, motorun tüm ekseni kat edebileceği süre;

$$t_{sum} = t_{acc} + t_{\max_V} + t_{dec} \tag{22}$$

formülünden 4.18 s gibi uygun bir değere tekabül etmektedir. Makine üzerinde iki ayrı fikstür yuvası *(kalıp)* bulunduğundan, 1 adet ürün için hiçbir zaman pozisyonlama sırasında bu kadar uzun süre geçmeyecektir. Motor gücü hesabında, motorun etiket devri 1500 d/dk alındığında;

$$M_0 \cdot 1.25\, m/s \cdot 2\pi \cdot 1500/60 = 2500\, N \cdot 1m \tag{23}$$

eşitliğinden motor momenti $M_0 = 12.13\, N.m$ olarak hesaplanır. Momentten motor gücüne geçildiğinde :

$$P_{kW} = M_0 \cdot \frac{No\min al\ Motor\ Devri\,(d/d)}{9550} \tag{24}$$

güç 1.97 kW bulunur. Bu değer 1.25 gibi bir emniyet kaysayısı ile çarpıldığında;

$$P_{kW} = 1.97 \cdot 1.25 = 2.46\, kW$$

değeri elde edilir. Benzeri hesaplama işlemleri gezici punta aparatları içinde yapılmıştır. Gerçek servo değerleri, standart servo katalog (Anonymous, 2011) bilgilerine göre Çizelge 7.1' de bulunduğu şekli ile seçilmiştir.

Çizelge 7.4. Sistemde Kullanılacak Servo Etiket Değerleri

No	Güç [kW]	Gerilim [V]	Hız [d/dk]	Tork [N.m]
Servo-1	0.75	220	3000	2.39
Servo-2	0.75	220	3000	2.39
Servo-3	3	380	1500	19.10
Servo-4	3	380	1500	19.10

7.4.3. Pnömatik Sistem

Pnömatik silindir çapı aşağıdaki formül aracılığı ile hesap edilebilir:

$$F = P \,.\, S \,.\, \eta \qquad (25)$$

İstenilen kuvvete (bkz. Çizelge 7.2; ~ 150 kg.f) göre formül uygulanırsa;

$150 = 7.2 \text{ bar} \,.\, 0.785.S \,.\, 0{,}85$

$A = 32.280 \text{ cm}^2$

$D = 5.659 \text{ cm} \approx 63 \text{ mm}$

standart değerinde bir kesit elde edilir. Bu hesaplamalar neticesinde silindir kesitleri Çizelge 7.5' de verilmiştir.

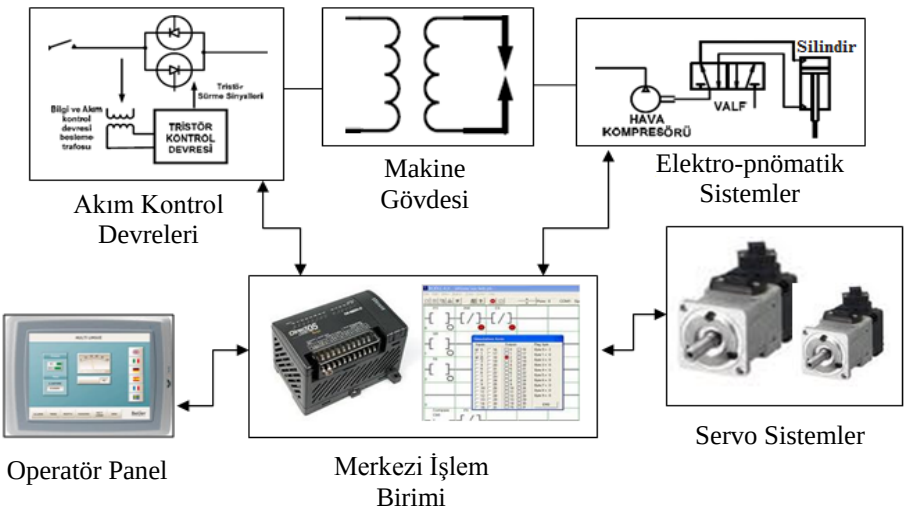
Çizelge 7.5. Sistemde Kullanılan Silindirler

No	Adet	Sistem Basıncı [bar]	Birim Kesit [mm]	Strok Uzunluğu [mm]
Manipülatör	4	6.5-7.5	63	100
Baskı	2	6.5-7.5	63	100

7.5. Yapılan Çalışmaya Ait Kontrol Blok Diyagramı

Gerçekleştirilen makinenin çalışmasına ilişkin ana kontrol blok şeması Şekil 7.7' de verilmiştir. Makinenin Ana Kontrol Blok Şeması' na bakıldığında :

Sistemin merkezinde tüm kontrol işlevlerini getirmek üzere PLC bulunmaktadır. Daha sonra değinilecek algoritmaya (Şekil 7.16) bağlı kalarak ladder diyagramları ile yapısal bir kontrol yazılımı oluşturulmuş ve merkezi kontrol birimi tamamlanmıştır.



Şekil 7.7. Ana Kontrol Blok Şeması

Merkezi işlem birimi ile Akım kontrol devresi arasında analog verilerle kurulan bilgi alışverişi söz konusudur. Her bir akım kontrol devresinden primer faz faz gerilimi 0-10 V ölçekli analog giriş şeklinde PLC' ye aktarılırken, PLC' den de akım kontrol devrelerine AC kıyıcı kesme açısı 0-10 V ölçekli analog çıkış şeklinde PLC tarafından gönderilmektedir. Bununla birlikte ilgili AC kıyıcıyı devreyi de kontrol edecek kumanda işaretleri PLC tarafından üretilerek ilgili devreye gönderilmektedir.

Kaynak transformatörleri ile diğer mekanik elemanların bulunduğu makine gövdesinde bulunan çevre birimlerden ilgili giriş işaretleri (endüktif sensörler, start butonları, mekanik anahtarlar, referans sensörleri vd.) kumanda devresine, yani PLC' ye aktarılmaktadır.

Taşıma ve Puntalama arabalarında bulunan pnömatik silindirlerin (manipülatörler ve baskılar) valflerine, PLC' den çıkış verilmekte, valflerin konumlarını veren manyetik sensör bilgileride yine PLC' ye alınmaktadır.

X ve Z ekseni boyunca pozisyonlamayı sağlayacak servo motorlar, sürücüleri üzerinden kontrol edilmektedir. Pozisyon, arıza gibi verilerde sürücü-PLC arasına kurulan kumanda ve seri haberleşme alt yapısı ile sağlanmaktadır.

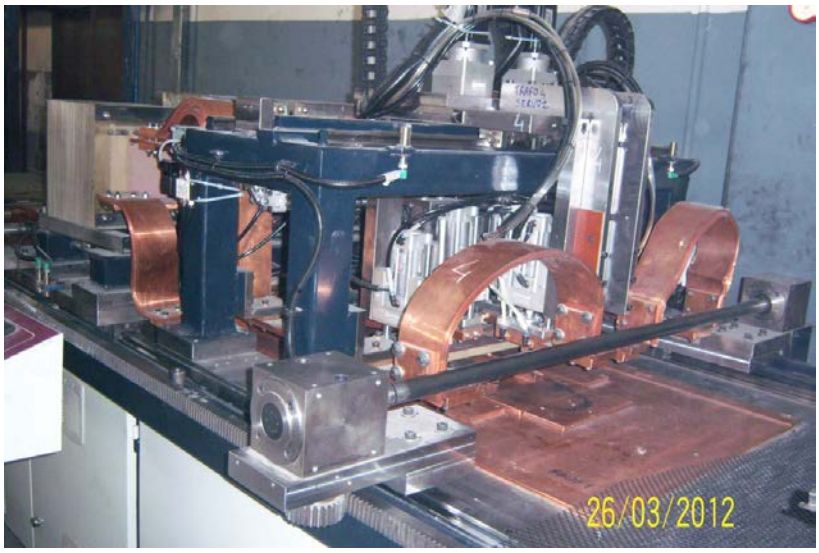
7.5.1. Fiziki Altyapı

Mekanik sistemin tasarım ve modellenmesinde Solidworks programı kullanılmıştır (Şekil 7.4). Bu aşamada tüm sistem elemanları birebir modellenmiş ve assembly haline getirilmiştir. Bu sayede sistem tasarımında oluşabilecek hatalar analiz

edilerek sistemin optimum çalışması sağlanmıştır. Bu sistem düzeneğinin imalatında ağırlıklı olarak metal malzemeler kullanılmıştır. Mekanik sistemi oluşturan elemanlar ise şunlardır:

- Metal profil lama ve saclar,
- Bakır elektrotlar ve esnek bara bağlantıları *(şöntler),*
- Lineer raylar, bilya sistemleri ile helisel kramiyer ve pinyon dişliler,
- Senkron - servo mekanizması ve hassas servo redüktörler,
- 6 silindirli pnömatik devre,
- Transformatörler ve soğutma devreleri,
- Hareketli kablo kanalları, endüktif sensörler ve butonlar,
- Akım kontrol kartları ve güç elektroniği yapıları,
- Merkezi kontrol biriminde motion PLC ve ilave modülleri,
- Sistemi izlemek ve reçeteleri tutmak için 10” dokunmatik operatör panel ekran kullanılmıştır.

Yukarıda belirtilen tasarım kriterleri dikkate alınarak hazırlanan Kaynak manipülatörünün görünümü Şekil 7.8’ de ve AC kıyıcıların bulunduğu kumanda panosunun iç görünümü ise Şekil 7.9’ da verilmiştir.



Şekil 7.8. Makinenin İmalat Sonrası Görünümü

Bu yapı içinde bulunan kaynak transformatörleri ve akım kontrol kartları düşük gerilimde kaynatılacak malzemelerin gereksinimi olan kaynak ısı değerine ulaştıracak

akımı verebilecek özelliklerde tespit edilmiş (Çizelge 7.3) ve daha sonra piyasadan temin yoluna gidilmiştir.



Şekil 7.9. Kaynak Akım Kontrol Kartları ve AC Kıyıcı Bağlantıları

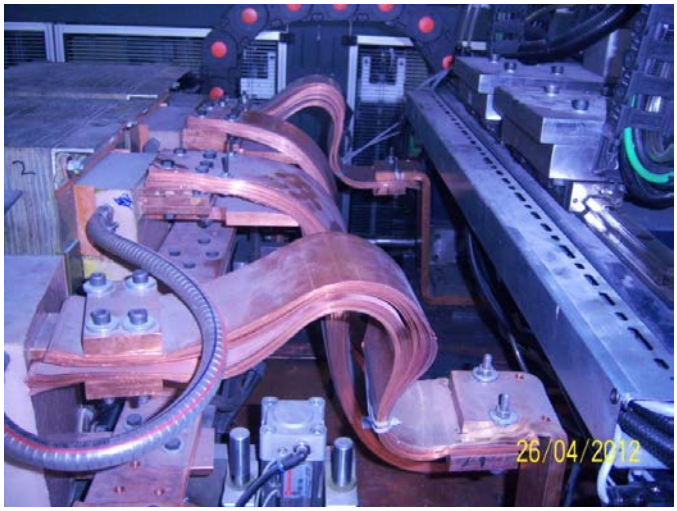
Kaynak kartları ile PLC arasında kumanda ve anolog haberleşme yapıları kurulmuştur. Bu aşamada, her bir kaynak kartı için, kapı işaretleri ile kaynak akımının açı değerleri PLC' den akım kontrol devresine; transformatörün bağlı olduğu faz-faz gerilimi ise akım kontrol devresinden PLC' ye iletilmektedir.

Punta kaynak elektrotun malzemeye gereken kuvvette bastırması için pnömatik manipülatörler *(geziciler ve sabitler)* puntalama arabası üzerine yerleştirilmiştir. Puntolama arabası ve esnek bara bağlantıları Şekil 7.10' da verilmiştir.

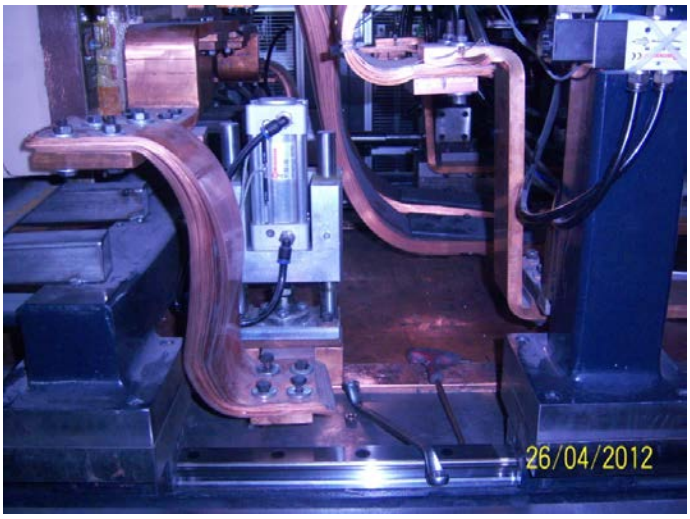


Şekil 7.10. Kaynak Manipülatörleri

EDNK metodu gereği ısının istenilen noktada oluşması için gerekli kesitler hesaplamalar ve denemelerle bulunulmuş ve böylelikle ısı kayıpları minimum seviyeye indirgenmeye çalışılmıştır. Elde edilen veriler ışığında esnek bara kesitinde birkaç defa düzeltmeye gidilmiştir. Şekil 7.11'de puntalama ile taşıma arabası arasındaki esnek baralar ve Şekil 7.12' de alt bara bağlantılar gösterilmiştir.



Şekil 7.11. Puntalama ile Taşıma Arabası Arasındaki Esnek Baralar



Şekil 7.12. Puntalama ile Taşıma Arabası Arasındaki Alt Bara Esnek Bağlantısı

Sistemde pozisyonlama haraketleri; X ekseninde puntalama ve taşıma arabası arasında kurulan senkron-servo yapıyla, Z ekseninde ise gezici manipülatörleri konumlandıran 2 ayrı servo ile sağlanmıştır. Söz konusu yapı Şekil 7.13' de gösterilmiştir. Bu noktada uygun servo setler; motor, sürücü, motor kablosu, enkoder

kablosu, haberleşme kabloları ve frenleme dirençleri seçilip gerekli bağlantıları oluşturulmuştur.



Şekil 7.13. Gezici Manipülatörlere Ait Servo Motorlar

Sistemin merkezinde tüm kontrol, haberleşme, kumanda ve izleme işlevlerini gerçekleştiren PLC (Şekil 7.7) bulunmaktadır. Gerçekleştirilen PLC kontrolüne ait pano bağlantısı Şekil 7.14'de verilmiştir.

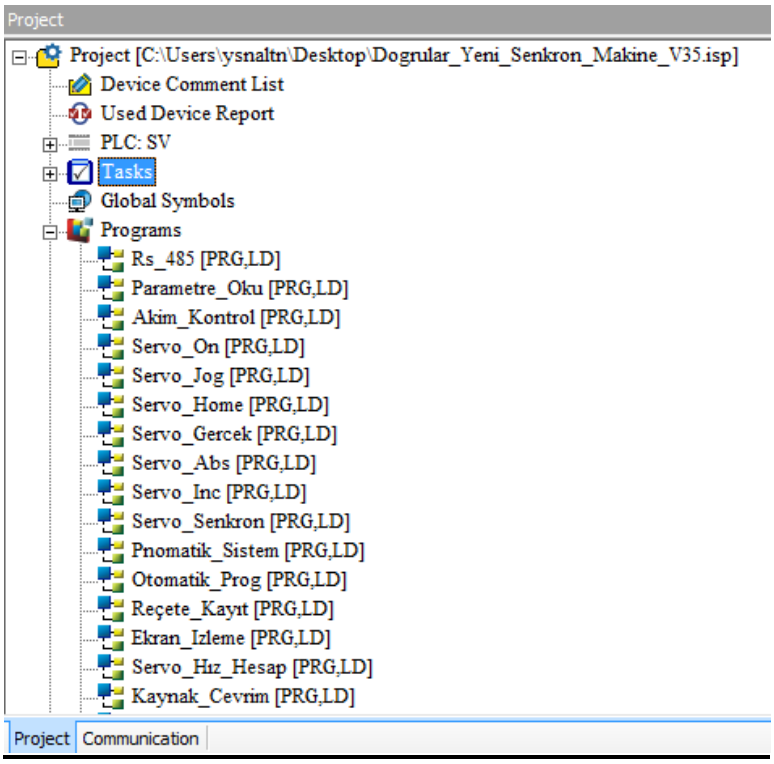


Şekil 7.14. Sistem PLC' si, Röle Kartı ve Bağlantıları

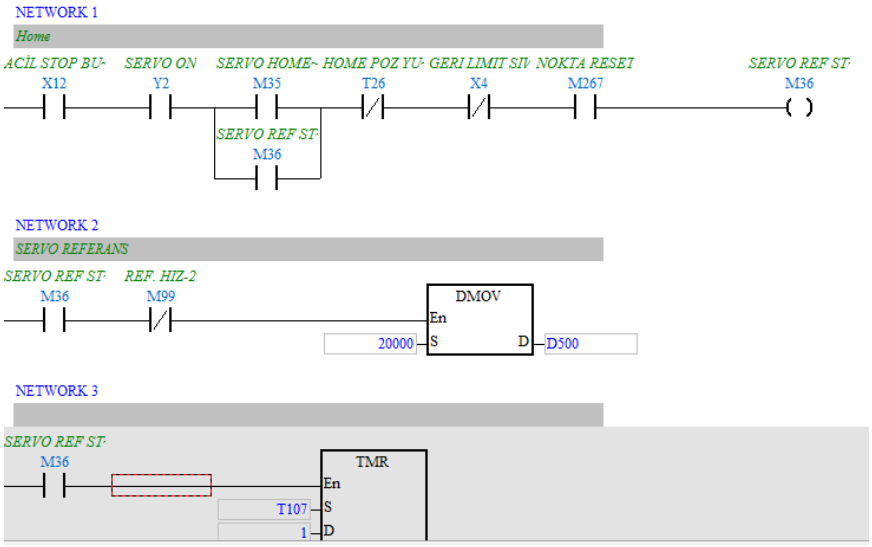
7.5.2. Kontrol Algoritması, PLC Program ve Görsel Arayüz

Bir önceki başlıkta kurulan fiziki altyapıyı kontrol etmek amacıyla yapısal bir ladder programı yazılmıştır. Bu program Şekil 7.15' de gösterildiği gibi bir çok alt

programdan oluşmaktadır. Örnek referans alma alt programı Şekil 7.16' da gösterilmiştir. Bu programa ilişkin STL kod listesi ise toplu olarak EK-2' de verilmiştir.

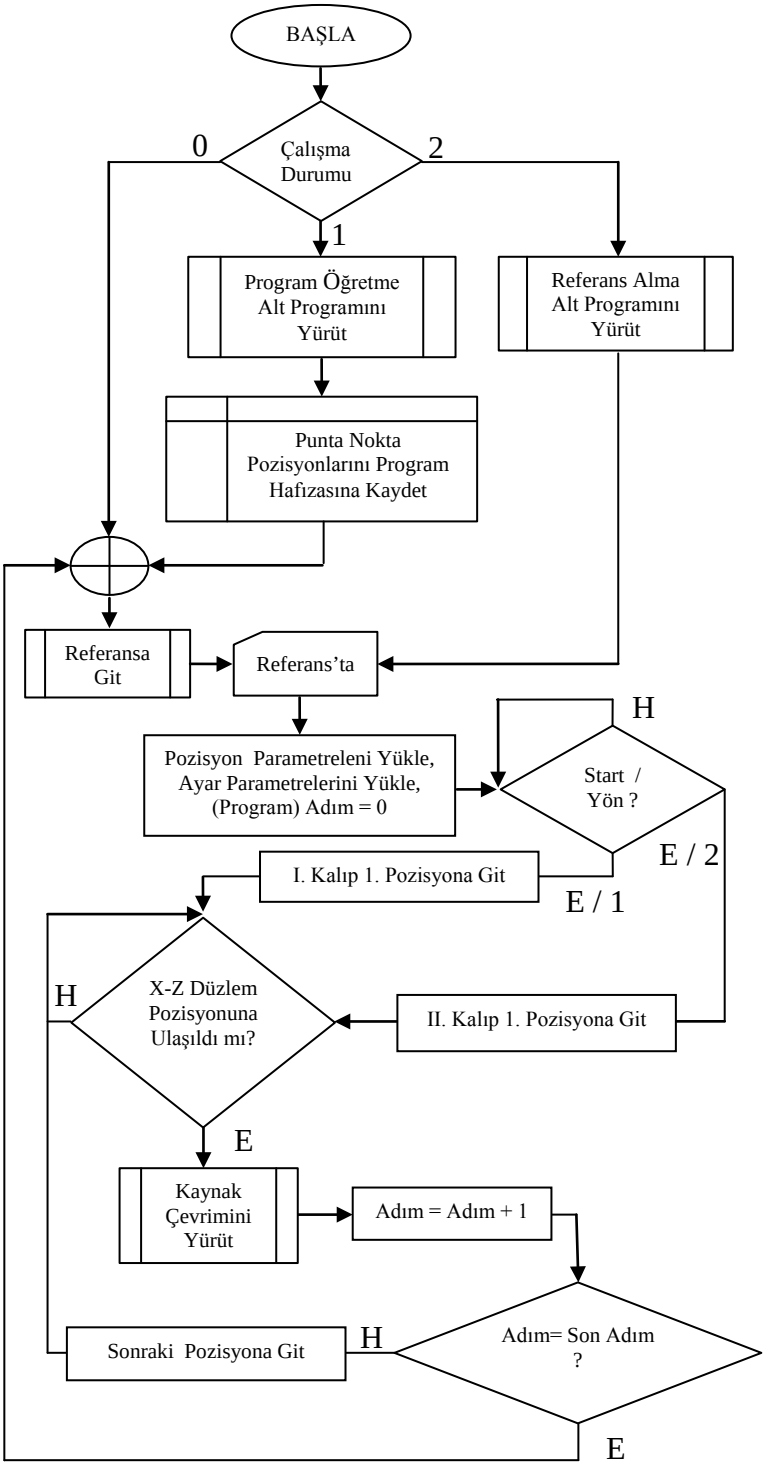


Şekil 7.15. Sistem Yazılımına Ait Alt Programlar



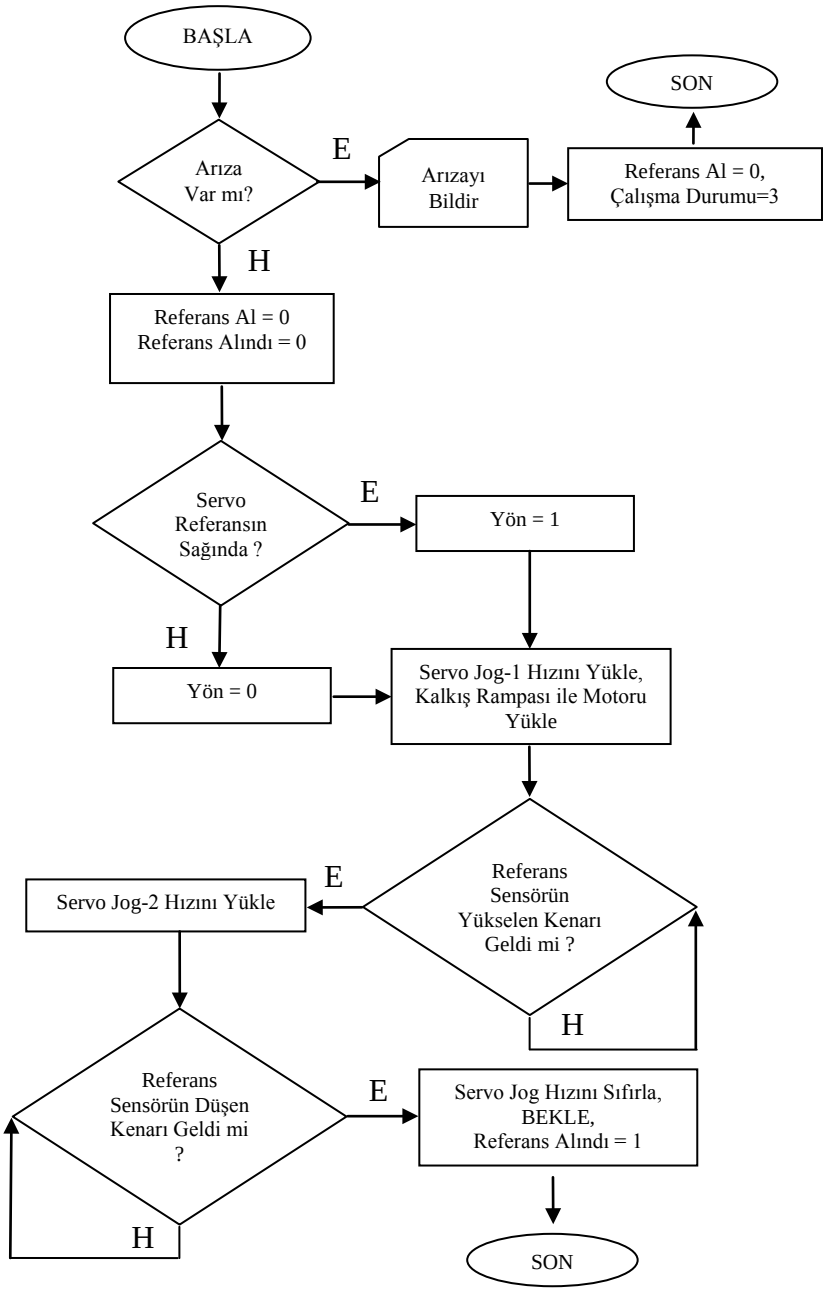
Şekil 7.16. Referans Alma Alt Programı

PLC programa ait kontrol akış algoritması Şekil 7.17' de verilmiştir.



Şekil 7.17. Makine Kontrol Algoritması

Görülen algoritma sistemin genel işleyişini kapsamaktadır. Gerçekleştirilen algoritma çok daha kapsamlıdır. Örneğin, Çalışma Durumu 2' ye, yani Referans Alma işlemine alındığında esas itibari ile aşağıdaki alt algoritma yürütülmektedir.



Şekil 7.18. Referans Alma Algoritması

4 ayrı servo motorun herbirinin ölçü kalibrasyonu, sürücüleri üzerinden kendi referans sensörleri yardımı ile yapılmaktadır. Operatör panelden X. servoyu referans gönder komutunu (Şekil 7.19) alan PLC, buna uygun alt programı yürütmekte ve istenilen servoya referans aldırmaktadır. İlgili kod Şekil 7.18' de verilen algoritmaya bağlı kalınarak yazılmıştır. Referans alma esnasında servo sürücü durum değişim diyagramı Çizelge 7.6' da verilmiştir.

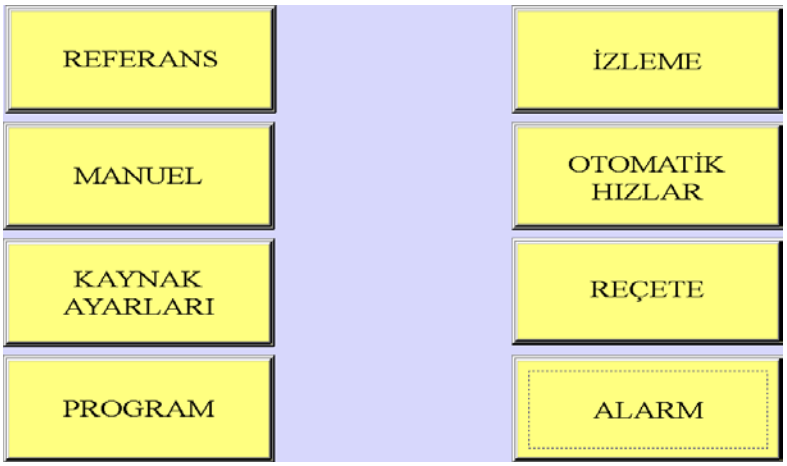
Çizelge 7.6. Referans Alma Durum Diyagramı

Sensör	Hız	Frekans
Referans Sensörü Off	Servo Jog-1	15 Hz
Referans Sensörü On (Up)	Servo Jog-2	2 Hz
Referans Sensörü Off (Down)	0	0



Şekil 7.19. Operatör Panel Referans Aldırma Ekranı

Ütü masaları değişik ebatlarda ve türlerde üretilmektedir. PLC kontrollü reçeteli çalışma sağlayan operatör panelle mevcut ürün gamını içeren uzman bir sistem ekran yazılımı yazılmıştır. Dinamik izleme, makine ayarları, referans alma ve program öğretme modları PLC programı ile entegre çalışan operatör panel programı ile sağlanmıştır. Bu programa ilişkin diğer ekran görüntüleri Ek-3' te yer almaktadır. Şekil 7.20. Operatör panel menü ekranı görüntüsü verilmiştir.



Şekil 7.20. Operatör Panel Menü Ekranı

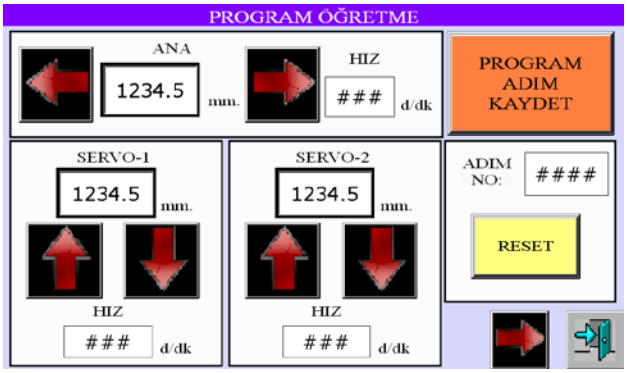
Şekil 7.21' de operatör panelin bir işlem sonucunda ana ekran görüntüsü görülmektedir.



Şekil 7.21. Operatör Panel Ana Ekran İşlem Sonu

İşlem sonu ana ekranı, sistem operatörü ve diğer denetçilere servoların pozisyon bilgilerini, 1. ve 2. fikstür yuvasından (kalıp) bir mesai boyunca üretilen ütü masası miktarını, son yapılan ütü masasının kaynak tamamlanma birim zamanını ve toplam üretilen ütü masası bilgilerini sunacak şekilde tasarlanmıştır.

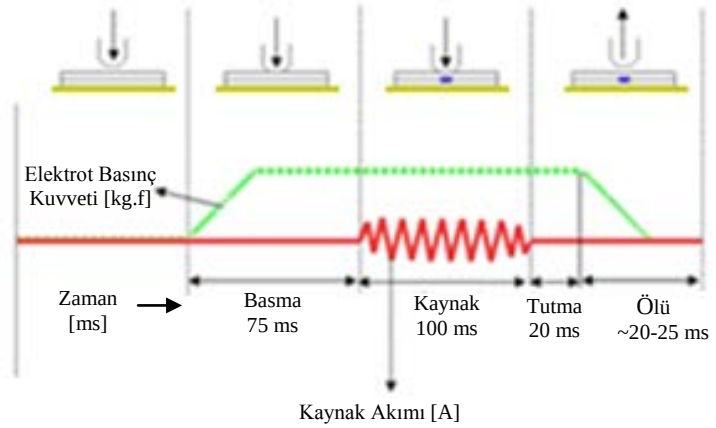
Operatör panel arayüzü (Şekil 7.22) ve PLC programının (Şekil 7.17) uygun şekilde kodlanması neticesinde makineyi kullanan operatöre tanınan bir diğer avantajda Program Öğretme özelliğidir. Operatör, operatör panel üzerinden, X-Z düzlemindeki servoların hızlarını ve pozisyonlarını dokunmatik jog-butonlar yardımı ile hassas şekilde ayarlayıp istenen ürüne yönelik reçete programındaki her bir kaynak noktasını bu mod sayesinde oluşturabilmektedir.



Şekil 7.22. Operatör Panel Program Öğretme Ekran Tasarımı

7.5.3. Uygulama Sonuçları

Makine programının tamamlanmasıyla, optimum kaynak değerleri için sistem üzerinde kaynak denemeleri yapılmıştır. Denemelerde, malzeme cinsine bağlı tasarım parametrelerinin (akım, basınç ve süre) (Çizelge 7.2) sistem için uygunluğu görülmüştür. AC kıyıcı sinüs kesme açısı α=20° için kaynak çevrimi Şekil 7.23' de verilmiştir.



Şekil 7.23. Makine Kaynak Çevrimi

2 ayrı ütü masası türü için kaynak işlemleri gerçekleştirilmiştir. Şekil 7.23' de Tip-1 ütü masasına ait ince delikli üst tabla sacına ait punta kaynakların görüntüsü ve Şekil 7.24' de Tip-2 ütü masasına ait seyrek delikli üst tabla sacına ait punta kaynaklarının görüntüsü verilmiştir. Bu makinenin punta uç geometrisinin ve tasarımının Tip-2 için yapıldığı, Tip-1 üzerindeki kaynak noktalarındaki ezilmelerden anlaşılmaktadır.



Şekil 7.23. Tip-1 Ütü Masasına Ait Punta Kaynakların Görüntüsü



Şekil 7.24. Tip-2 Ütü Masasına Ait Punta Kaynakların Görüntüsü

Şekil 7.25' de kontrol işlemini gerçekleştirilen kaynak manipülatörünün çalışma anındaki görüntüsüne yer verilmiştir.



Şekil 7.25. Sistemin Çalışma Esnasındaki Görünümü

8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

8.1. Sonuçlar

Bu çalışmada; hedef ürün grubuna yönelik imal edilen EDNK makinesinin tasarımına katkıda bulunulmuştur. Doğruların üretim hattındaki eski makinede tespit edilen atalet ve servo sistem bazlı sorunlara, yeni makine ile çözüm üretilmiştir. Yeni makinede ayrık servolu iki yapı kullanılmıştır. Bu yapı ile iki servolu senkron arabalı yapıya geçilmiştir. Bu amaçla servo sistem, pnömatik sistem, merkezi kontrol sistem ve makine işlevi olan EDNK' ya ait tasarım parametreleri araştırılıp gerekli sistem bileşenleri seçilmiştir. Seçilen bu bileşenler ile firma bünyesinde imal edilen makinenin algoritması hazırlanmış ve PLC kontrol yazılımı ile opertör panel arayüz yazılımı yazılmıştır. Yazılan kodların denenmesinin ardından, makinenin temel işlevi olan EDNK' ya odaklanılmış ve kaynak süreci incelenmiştir. Kaynak zamanları, akım ve basınç değerleri denemeler neticesinde bulunmuştur. Ütü masası imalinde karşılaşılan sorunlara çözüm üretmenin yanı sıra fason üretime elverişli modern servolu bir makine gerçekleştirilmiştir. Bu makine ile eskiden var olan sorunlar büyük ölçekte aşılmıştır.

Üretim hattına 120.000 TL gibi bir maliyetle dahil edilen bu makine ile günlük, 1.600 - 1.800 adet ütü masası imal edilmektedir. Bir ütü masası imalatı için geçen süre ortalama 19 - 22 s (Şekil 7.21) civarındadır. Bu makine vardiya başına 1 elemanla çalıştırılabilmektedir.

Yine aynı işlevi görecek bantlı bir ithal makine, çalışılan firmanın üretim hatına daha sonradan ilave edilmiştir. Bu makinenin fiyatı 650.000 TL' dir. İthal makine günlük 4.500 - 4.800 adet ütü masası kaynatmaktadır. Bir ütü masasını ortalama 10 - 14 s sürede kaynatan makine, vardiya başına 2 elemanla çalıştırılabilmektedir.

İmalatı gerçekleştirilen punta kaynak manipülatörünün ülke imkanları dahilinde üretilmesi rakamlardan da anlaşılacağı üzere önemli bir kazanç sağlamaktadır.

8.2. Öneriler

EDNK işleminin temel amacı iş parçaları arasında bulunan kontak noktasında ısıyı çabucak üretmek ve gereksiz yere harcanan ısı miktarını en aza indirmektir. Aksi hallerin tümünde EDNK ile başarılı bir sonuç elde etmek güçleşecek ve kaynak

uygunluk kriterleri sağlanamayacaktır. Bu amaçla ilk etapta EDNK esasları özümsenip doğru şekilde kavranılmalı ve makine tasarım safhalarında bu bilgi birikimi kullanılmalıdır.

EDNK direnç bölgelerinin her birinde o bölgenin direnci ile orantılı ısıl bir dağılım oluşmaktadır. En fazla ısının kaynak noktasında, yani, kaynak edilecek metallerin temas yüzeyinde (R4 direnci) oluşması gerekmektedir. Bu nedenle sistem tasarımında direnç değerlerinin iyi tespit edilerek maksimum ısıyı doğru bölgede oluşturmak önemlidir. Bu hususta sistem için gereken elektrotların boyutları hesap edilmeli ve direnç değerleri ısınma durumunuda gözönünde alacak şekilde iyi etüt edilmelidir. Mümkünse elektrotlar içine soğutma sistemi ilave edilmelidir.

Makine tasarımında bu akımı verecek 4 ayrı manipülatörün herbirinin faz faz gerilimleri arasına dengeli şekilde yerleştirilmesi genel fabrika elektrifikasyonun güvenliği için önemlidir. Özellikle EDNK makinesi gibi dinamik yüklenmelerin kısa süreli olduğu sistemlerde kompanizasyonu temin etmek güçleşecektir. Bu husus en baştan öngörülmelidir ve mevcut değilse dinamik kompanizasyon tesisi kurulumun gerekeceği bilinmelidir. AC kıyıcılı yapının harmoniklere neden olacağı ve şebekeyi tahrip edeceği göz önüne alınmalıdır.

Ütü masası üretim sacına uygun akım değeri Çizelge 7. 2' den seçilmiş ve örnek akım tek hat şemaları AC ve DC form için oluşturulmuştur. DC form maliyetli *(inverter, doğrultucu vs.)* olmasına rağmen, daha etkin bir kontrol sağlayacağı ve AC' nin aksine basınç miktarı, kaynak zamanı ve güç tüketim miktarını azaltacağı bilinmektedir.

İşlem için gereken basınç değeri Çizelge 7. 2' den seçilmiştir. Uygulamada, bu basıncı verebilecek valf kesitleri iyi hesap edilmelidir. Mümkünse sistem basınç bilgisinin PLC' ye analog değer olarak girilmesinde yarar vardır.

Makinenin X ekseni boyunca çalıştığı dur/kalk sistemlerde harici fren direnci kullanımı, sistem pozisyonlama performansını artıracaktır. Bu hususta seçilen servo setin katolog bilgilerinden faydalanılabilir.

Süreç kontrolü sırasında Şekil 3.15' de belirtilen uygunluk kriterleri göz önünde tutulmalı ve kaynak çevrimi iyi analiz edilmelidir.

Bu çalışmada elde edilen ürünün kaynak kalitesi firmanın mevcut kalifiye elemanlarının bilgi birikimi ve deneyimleri sonucu elde ettikleri kazanımlar sonucunda punta kaynak bölgesinin çıplak gözle incelemeleri ve elle muayene etmeleri ile yeterli

görülmektedir. Fakat kaynak sonuçlarının bilimselliğini tartışma açısından, çekme vb. deneylerden yararlanmak daha akılcı olabilir.

KAYNAKLAR

Akar, M., 2005, Bulanık Mantık Yöntemiyle Bir Servo Motorun Kontrolü ve Geleneksel Yöntemlerle Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 1-15.

Akbaş, H. G., 2010, Servo Kontrollü CNC Cam Delme Makinesi, Yüksek Lisans Tezi, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.

Akkurt, M., 2000, Makina Elemanları, Birsen Yayınevi, Istanbul, 720 s.

Akkuş, A., 2006, Galvanizli ve Östenitik Paslanmaz Çelik Sacların Nokta Kaynaklı Bağlantılarının Yorulma Dayanımlarının Araştırılması, Doktora Tezi, *İTÜ FenBilimleri Enstitüsü*, İstanbul.

Aklan, M., 2008, AC Servo Yapıları ve Kontrol Yöntemlerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 30-55.

Akyol, M., 2001, Otomotiv Sanayinde Kullanılan Direnç Nokta Kaynak Uygulamaları ve Karşılaşılan Sorunlar, Yüksek Lisans Tezi, *İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü,* İstanbul.

Aktaş, S., 2008, Otomotiv Sektöründe Kullanılan Dual Faz Sacların Direnç Nokta Kaynağında Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.

Almus, Z., 2006, Nokta Direnç Kaynağında Ara Bağlayıcının Birleşme Özelliklerine Etkilerinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.

Altun, Y., 2010, PLC ile Kontrol Edilen Bir Asansörün SCADA ile İzlenmesi ve Arıza Takibi , Lisans Tezi, *S.Ü. Elek.- Elektro. Müh. Böl.*, Konya.

Anık, S. , Anık, E.S. , Vural, M., 2000, 1000 Soruda Kaynak Teknolojileri El Kitabı, Birsen Yayınevi, İstanbul.

Anık, S., 1991, Kaynak Tekniği El Kitabı, Gedik Eğitim Vakfı, Istanbul, 244 s.

Anık, S., 1983, Kaynak Teknolojisi El Kitabı, Güriş Makine ve Montaj Sanayi A. Ş., s.175-193.

Anık,S., Dorn L., 1982, Metallphysikalische vargange beim schweissen hach legierter insbesondere rostbestanger staehle Schweissen And Scheidn , H.11 : 530-534.

Anonymous, 2012, http://seedorffacme.com/downloads/Weld_Schedules.pdf [Ziyaret Tarihi: 06 Temmuz 2012]

Anonymous, 2012, http://web.sakarya.edu.tr/~afboz/control/bolum1.html [Ziyaret Tarihi: 06 Temmuz 2012]

Anonymous, 2012 http://www.dkp.sac.web.tr [Ziyaret Tarihi: 12 Temmuz 2012]

Anonymous, 2012, Lenze Corp., Product Manual, Global Drive 9300 Servo Inverters

Anonymous, 2011, Delta Electronics Inc, New Servo Product Launch Announcement Newsletter.

Anonymous, 2011, Control Techniques, An Engineering Guied to Position & Speed Feedback Devices for Variable Drives & Servos, England.

Anonymous, 2009, Ruukki more with Metals - Resistance Welding Manual, Rautaruukki Corporation.

Anonymous, 2008, Otis Corp., Higens FDA 7000 AC Servo Sürücü İşletim Klavuzu.

Anonymous, 2006, Lenze AG, Servo Sürücü ve Sistem Eğitim Notları, Deutschland.

Anonymous, 2006, ABB Corp., ABB industrial drives ACS800, single drives, 0.55 to 2800 kW Technical catalogue, Finland.

Anonymous, 2004, Praxis der Antriebtechnik Band 7,S EW Eurodrive, Deutschland.

Anonymous, , 2003, Danaher Industrial ControlsEncoder Application Handbook.

Anonymous, 1999, Siemens, Simatic HMI OP7-OP17 Equeipment Manual, Germany.

Aslanlar, S., 1999, Galvanizli Kromatlı Mikro Alaşımlı Çeliklerin Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Uygun Hasar Modunun Tespiti, Doktora Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya.

Ayçiçek, E., 2005, Servo Tahrik Sistemlerinin Endüstriyel Uygulamaları ve Bir Servo Sistemin Tasarım Aşamaları, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 1-67.

Aydın, Ö., 2012, Otomatik Yönlendirmeli Araçlarda Yörünge Kontrolü, Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ.

Aydoğdu, C., İ., 2007, Servo Motor Kontrollü Mag Kaynak Makinası, Yüksek Lisans Tezi, *Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü*, Gebze.

Bal, G., 2004, Özel Elektrik Makinaları, Seçkin Yayınevi, Ankara, 179-195.

Bilgin, O., Altun, Y., Mutluer, M., 2010, PLC ile Kontrol Edilen Bir Asansörün SCADA ile İzlenmesi ve Arıza Takibi, ELECO 2010, *Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Ulusal Sempozyumu*, Bursa.

Brosch F. P., 1999, Variable Speed Drives for Automation, ISBN:3E8259E1904E8, Vogel.

Bolton, W., 1999, Mechatronics-Electronic Control Systems in Mechanical Engineering, Longman.

Bose, B. K., 2002, Modern Power Electronics and ac Drives. Prentice Hall, Upper Saddle River, USA.

Bozkurt, N., 2006, Mikrodenetleyici Kontrollü Servo Gerilim Regülatörünün Tasarım ve Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,* Ankara.

Chen, X., Araki, K., 1997, FUZZY Adaptive Process Control of Resistance Spot Welding with a Current Reference Model, *I997 IEEE International Conference on Intelligent Processing Systems*, Beijing, China.

Cho, Y., Rhee, S., 2004, Quality Estimation of Resistance Spot Welding by Using Pattern Recognition With Neural Networks, *IEEE Transactions on Instrumentation & Measurement*, vol.53, NO.2.

Coşkun, M.H., 2009, Otomotiv Endüstrisinde Kullanılan IF 7114 ve DP600 Çelik Sacların Direnç Nokta Kaynağı (RSW) ve Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynağı (FSSW) Yöntemleri ile Birleştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.

Çetin, İ., 2001, Temel Elektrik Kullanım El Kitabı, İTO Yayınları.

Çengelci, B., Çimen, H., 2005, Endüstriyel Robotlar, *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, ISSN:1304-4141, 69-78.

Doğan, Z., 2009, Alternatif Akım Servo Motorun Farklı Kontrol Yöntemleri ile Hız Kontrolü, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.

Dumanay, A. B., 2009, PID, Bulanık Mantık ve Kayan Kip Kontrol Yöntemleri ile İnternet Üzerinden DC Motor Hız Kontrolü, Yüksek Lisans Tezi, *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.

Er, O., 2010, Elektrik Direnç ve Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynaklı Alüminyum Alaşımı Bağlantıların Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.

Eryürek, B., 1982, Elektrik Direnç Kaynağı, *MMO Dergisi*, s.279.

Eryürek, B., 1976, Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Temas Direncinin Etüdü, Doktora Tezi, *İTÜ Mühendislik-Mimarlık Fakültesi*, İstanbul, s.10-46.

Esendir, E., 2008, Farklı Metallerin Nokta Direnç Kaynağı ile Birleştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.

Eşme, U., Ersöz, İ., Özbek, A., Kahraman, F., Sağbaş, A., 2008, A Comparison Between the Back-Propagation (BPN) & General-Regression Networks (GRNN) in the Modeling of the Spot Welding Process, *Ç.Ü. Müh. Mim. Fak. Dergisi*, vol.23, no.1.

Furlanetto, V., 2005, Proposal and Experimental Validation of a Model for CA ERSW Machine, Master Dissertation, EPUSP, S. Paulo, Brazil, p.88.

Gallagher, M., 2003, Electrode Wear In The Resistance Spot Welding Of Galvanized Steel Sheet, MS Thesis, *University of Windsor*, Ontario.

Gourd, L.M., 1995, Kaynak Teknolojisinin Esasları, Çeviri: O. Bodur, İ. B. Eryürek, A. Dikicioğlu, Birsen Yayınevi, İstanbul.

Hall, P., Clifford, M., 2005, Modern Electric/Electronic Motors, Prentice Hall, Englewood Cliffs, 195.

Hameyer, K., 2004, Moderne Servomotoren, Institut für Elektrische Maschinen der RWTH Aachen, Deutschland.

Hancı, O., 2007, Servo Motorlar ve Örnek Bir Uygulama Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.

Hayat, F.,2005, Çift-Fazlı Çeliklerin Nokta Direnç Kaynağında Mho ile Kaynak Süresinin Mekanik Özelliklere Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, *Bülent Ecevit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Zonguldak.

Hwang, I.S., and others, March-2010, Weldability of 440 MPa Galvanized Steel with İnverter DC Resistance Spot Welding Process, Archives of Materials Science and Engineering, vol.42, pp. 37-44.

Junno, H., Laurinen, P., & others, 2004, Resistance Spot Welding Process Identification and Initialization Based on Self-Organizing Maps, Proc. 1st International Conference on Informatics in Control, *Automation and Robotics (ICINCO 2004)*, Setubal, Portugal, pp.296-299.

Kaçar, R., Gündüz, S., Kahraman, N., Boz, M., Demir, B., 2008, Soğuk Deforme Edilmiş AISI–304 Paslanmaz Çeliğin Direnç Kaynak Kabiliyeti, Karabük Üniversitesi, *BAP Hızlı Destek Proje Sonuç Raporu*, Proje No: 107M203, Karabük.

Kaluç, E., Taban, E., 2004, Elektrik Direnç Kaynak Yöntemleri, Ileri Kaynak Teknolojisi Ders Notları, *Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi*, 138, 56-61.

Karaman, C., 2007, Endüstriyel Kontrol Sistemleri İle Kesme Otomasyonu, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya.

Keleş, S., 2008, Tasarım ve İmalatı Yapılan Punta Kaynak Makinasında Nesne Yönelimli İşlem Planlama Sisteminin Uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 39-57.

Kelkar, G. P. , 2004, "Why use multiple-impulse resistance welding?", *Practical Welding*.

Keskin, H., 2007, Otomotiv Sektöründe Robot Kaynak Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, *Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü*.

Klopcic, B., Dolinar, D., 2008, Advanced Control of a Resistance Spot Welding System, *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 23, no.1.

Kuo, B. C., 2005, Otomatik Kontrol Sistemleri, 3. Baskı, Literatür Yayıncılık, İstanbul, 9-19.

Kurşungöz, N., 1986, Alüminyum Esaslı Malzemenin Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Temas Direncinin İncelenmesi, Doktora Tezi, *Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir.

Kuşçu, H., 2003, Pnömatik-Hidrolik Ders Notları, Trakya Üniversitesi, Edirne.

MEGEP, 2007, Servo Motor ve Sürücüler, Elektrik Elektronik Teknolojisi, Ankara.

Pal, S., Pal, S. K., Samantaray, A. K., 2008, Artificial Neural Network Modeling of Weld Join Strength Prediction of a Pulsed Metal Inert Gas Welding Process Using Arc Signals, *Journal of Materials Processing Technology*, vol:202, pp:464–474.

Peşint, M. A., Ürkmez, A., 2000, Elektrik Makinaları II-Transformatörler, MEB Yayınları, Onbeşinci Baskı, Ilıcak Matbaası.

Polat, A., 2009, X-Y Eksenli Kayış-Kasnak Servo Sistemin Modellenmesi Ve Kontrolü, Yüksek Lisans Tezi, *İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.

Sarıoğlu, M. K., 1985, Otomatik Kontrol I-II, İTÜ Baskı Atölyesi, İstanbul.

Schusky, W., Çetin, İ., Elektrik Motörleri, 1. Kısım, 1987, İstanbul.

Selezneva, A., 2007. Modelling and Sythesis of Tracking Control for the Belt Drive System. Master's Thesis, *Lappeenranta University of Technology*, Lappeenranta, Finland.

Ogata, K., 1990, Modern Control Engineering, Second Edition, Prentice Hall, Inc., USA, 7.

Özcan, M., Kahramanlı, Ş., 2002, PLC'ler ve Uygulamaları, Nobel Yayın Dağıtım, 975-674-11-9, İstanbul

Tosuner, M., 2004, Otomasyon Atölyesi Ders Notları, Kocaeli Anadolu Teknik ve Endüstri Meslek Lisesi, http://www.kumanda.org

Ünlükal, E., 2007, Otomotiv Sanayinde Kullanılan Direnç Nokta Kaynak Kalitesinin Artırılması, Yüksek Lisans Tezi, *İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*.

Yaobin, C., 2003, Dual-loop Feedback Control of Servo Motor Systems Using Singular Perturbation Method, IEEE, volume:6, issue 4-6.

Yıldız, N., 2009, İleri Güç Elektroniği Teorik Ders Notları, Ege Üniversitesi, Ege Meslek Yüksekokulu, İzmir.

Yılmaz, F. H., 2008, AC ve DC Servo Sistem Eğitim Setinin Gerçekleştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.

Yılmaz, M., 2005, Punto Makinasının İki Boyutlu Grafik Ekseni Kullanılarak Bilgisayarlı Kontrolü, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.*

Yumurtacı, S., Mert, T., 2003, Robotik Kaynak Sistemleri ve Gelişme İstikametleri, *IV.Ulusal Kaynak Teknolojisi Kongresi*, Kocaeli, s. 167-177.

Younkin G. W., 1996, Industrial Servo Controls Systems, Marcel Dekker, Newyork.

Xinmin L., Xiaoyun Z., Yansong, Z. & Guanlong, C., 2007, Weld Quality Inspection Based on Online Measured Indentation From Servo Encoder in Resistance Spot Welding, *IEEE Transactions on Instrumentation & Measurement*, vol.56, no.4, pp.1501-1505.

EKLER

EK-1 : EDNK Parametre Tespit Tablosu

APPLICATION DATA SHEET

Phone: 866-RES-WELD (737-9353) Fax: 714-252-5335 www.seedorffwelders.com

SPOT WELDING DATA

OPTIMUM CONDITIONS

SCHEDULES FOR SPOT WELDING LOW CARBON STEEL—SAE 1010

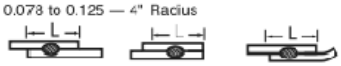
Thickness of Thinnest Outside Piece (Inches)	Electrode Diameters and Shape* Flat Face Maximum d (Inches)	Min. D (Inches)	Radius Face Radius R (Inches)	Recommended Minimum Standard Electrode Size	Weld Force (Lbs.)	Weld Time (Cycles) (60 Cycles per Sec.)	Hold Time (Cycles) Min.	Welding Current (Amps.) (Approx.)	Weld Shear Strength (For Steels Having Ultimate Tensile Strength of 90,000 psi and below) Minimum Strength (Lbs/Weld)	Diameter of Fused Zone (Approx.) Dw (Inches)	Minimum Weld Spacing S (Inches)	Minimum Contacting Overlap L (Inches)
0.010	0.125	1/2	2	4RW 1MT	160	4	5	4,000	130	0.113	1/4	3/8
0.021	0.187	1/2	2	4RW 1MT	244	6	8	6,500	300	0.139	3/8	7/16
0.031	0.187	1/2	2	4RW 1MT	326	8	10	8,000	530	0.161	1/2	7/16
0.040	0.250	5/8	3	5RW 2MT	412	10	12	8,800	812	0.181	3/4	1/2
0.050	0.250	5/8	3	5RW 2MT	554	14	16	9,600	1,195	0.210	7/8	9/16
0.062	0.250	5/8	3	5RW 2MT	670	18	20	10,600	1,717	0.231	1	5/8
0.078	0.312	5/8	3	5RW 2MT	903	25	30	11,800	2,365	0.268	1-1/8	11/16
0.094	0.312	5/8	4	7RW 3MT	1,160	34	35	13,000	3,054	0.304	1-1/4	3/4
0.109	0.375	7/8	4	7RW 3MT	1,440	45	40	14,200	3,672	0.338	1-5/16	13/16
0.125	0.375	7/8	4	7RW 3MT	1,760	60	45	15,600	4,300	0.375	1-1/2	7/8
0.156	0.500	7/8	6	Male or Female Threaded	2,500	93	50	18,000	6,500	0.446	1-3/4	1
0.187	0.625	1	6	Male or Female Threaded	3,340	130	55	20,500	9,000	0.516	2	1-1/2
0.250	0.750	1-1/4	6	Male or Female Threaded	5,560	230	60	26,000	18,000	0.660	4	1-1/2

PERMISSIBLE SCHEDULE VARIATIONS FOR SPOT WELDING LOW CARBON STEEL

Low Carbon Steel Spot Welding Data Chart—Single Impulse Welding

DATA COMMON TO ALL CLASSES OF SPOT WELDS					WELDING SET-UP FOR BEST QUALITY—CLASS A WELDS					WELDING SET-UP FOR MEDIUM QUALITY—CLASS B WELDS					WELDING SET-UP FOR GOOD QUALITY—CLASS C WELDS				
Thickness of Each of the Two Work Pieces Inches	Electrode Diam & Shape Min. D Inches	Max. d Inches	Min. Weld Spacing (Note 4) Inches	Min. Contacting Overlap (Note 6) Inches	Weld Time (Note 7) Cycles	Electrode Force Pounds	Welding Current Amps.	Diam. of Fused Zone Dw Inches	Average Tensile Shear Strength ±14% Pounds	Weld Time (Note 7) Cycles	Electrode Force Pounds	Welding Current Amps.	Diam. of Fused Zone Dw Inches	Average Tensile Shear Strength ±17% Pounds	Weld Time (Note 7) Cycles	Electrode Force Pounds	Welding Current Amps	Diam. of Fused Zone Dw Inches	Average Tensile Shear Strength ±20% Pounds
.010	1/2	1/8	1/4	5/8	4	200	4000	.13	235	5	130	3700	.12	200	15	65	3000	.11	160
.021	1/2	3/16	3/8	7/16	6	300	6100	.17	530	10	230	5100	.16	460	22	100	3800	.14	390
.031	1/2	3/16	1/2	7/16	8	400	8000	.21	980	15	275	6300	.20	850	29	135	4700	.18	790
.040	5/8	1/4	3/4	1/2	10	500	9200	.23	1305	21	350	7500	.22	1230	38	160	5600	.21	1180
.050	5/8	1/4	7/8	9/16	12	650	10300	.25	1820	24	410	8000	.23	1700	42	205	6100	.22	1600
.062	5/8	1/4	1	5/8	14	800	11600	.27	2350	29	530	9000	.26	2150	48	250	6800	.25	2050
.078	5/8	5/16	1-1/8	11/16	21	1100	13300	.31	3225	36	650	10400	.30	3025	58	325	7900	.28	2900
.094	5/8	5/16	1-1/4	3/4	25	1300	14700	.34	4100	44	790	11400	.33	3900	66	390	8800	.31	3750
.109	7/8	3/8	1-5/16	13/16	29	1600	16100	.37	5300	50	950	12200	.36	5050	72	460	9500	.35	4850
.125	7/8	3/8	1-1/2	7/8	30	1800	17500	.40	6900	60	1140	12900	.39	6500	78	570	10000	.37	6150

NOTES:

1. Low Carbon Steel as hot rolled, pickled and slightly oiled with an ultimate strength of 42,000 to 45,000 PSI Similar to SAE 1005—SAE 1010.
2. Electrode Material is CMW® 3.
3. Surface of steel is lightly oiled but free from grease, scale or dirt.
4. Minimum weld spacing is that distance for which no increase in welding current is necessary to compensate for the shunted current effect in adjacent welds.
5. Radius Face electrodes may be used:
   0.010 to 0.031 — 2" Radius
   0.031 to 0.078 — 3" Radius
   0.078 to 0.125 — 4" Radius
6. 
7. Weld time is indicated in cycles of 60 cycle frequency.
8. Tensile shear strength values are based on recommended test sample sizes:

Direction of Force	Thickness	Width	Length
	.009" to .029"	5/8"	3"
	.030" to .058"	1"	4"
	.059" to .115"	1 1/2"	5"
	.116" to .190"	2"	6"

9. Tolerance for machining of electrode diameter "dl" is ±.015" of specified dimension.
10. Electrode force does not provide for force to press ill-fitting parts together.

EK-2 : Sistem Programı Ladder Komut Listesi (STL)

000000,LD,M1002	001657,OR,M30	003796,AND,T207
000001,MOV,HA6,D1120	001658,OR,M31	003797,TMR,T213,D652
000006,SET,M1120	001659,OR,M32	003801,LD,M307
000007,LD,M1002	001660,OR,M34	003802,OR,M85
000008,SET,M1534	001661,OR,M81	003803,AND,T202
000009,LD,M1000	001662,OR,M83	003804,LD,M362
000010,MOV,D990,D1343	001663,OR,M85	003805,OR,M85
000015,MOV,D991,D1348	001664,OR,M87	003806,ANB
000020,LD,M1002	001665,OR,M358	003807,OUT,M372
000021,SET,M1535	001666,ANB	003808,TMR,T208,D526
000022,LD,M1000	001667,OUT,Y43	003812,AND,T208
000023,MOV,D992,D1353	001668,OUT,Y40	003813,TMR,T214,D652
000028,MOV,D993,D1349	001669,TMR,T22,K5	003817,LD,M308
000033,LD,M1002	001673,LDI,M25	003818,OR,M87
000034,SET,M1536	001674,OR,M351	003819,AND,T203
000037,LD,M1000	001675,OR,M201	003820,LD,M363
000038,MOV,D994,D1381	001676,OR,M211	003821,OR,M87
000043,MOV,D995,D1350	001677,OR,M221	003822,ANB
000048,LD,M1002	001678,ZRST,M30,M34	003823,OUT,M373
000049,SET,M1537	001683,LD,M1000	003824,TMR,T209,D528
000052,LD,M1000	001684,SUB,D600,K1,D310	003828,AND,T209
000053,MOV,D996,D1382	001691,MUL,D310,K6,D312	003829,TMR,T215,D652
000058,MOV,D997,D1351	001698,MOV,D312,F	003833,LD,M370
000063,LDI,M341	001703,LD=,D11,K7	003834,ANI,T206
000064,ANI,M343	001708,ANDP,M10	003835,AND,M650
000065,ANI,M201	001711,DMOV,D2050,D3000F	003836,OUT,Y31
000066,ANI,M211	001720,DMOV,D2350,D3002F	003837,LD,M371
000067,ANI,M221	001729,DMOV,D2650,D3004F	003838,ANI,T207
000068,ANI,M101	001738,LD=,D11,K7	003839,AND,M650
000069,ANI,M111	001743,ANDP,M10	003840,OUT,Y32
000070,ANI,M121	001746,AND<,D600,K41	003841,LD,M372
000071,ANI,M131	001751,INC,D600	003842,ANI,T208
000072,OUT,M79	001754,ADDP,D600,K59,D0	003843,AND,M650
000073,LD,M79	001761,LD,M11	003844,OUT,Y33
000074,AND,M25	001762,TMR,T11,K20	003845,LD,M373
000075,LD,M80	001766,LD,T11	003846,ANI,T209
000076,OR,M81	001767,MOV,K1,D600	003847,AND,M650
000077,ANB	001772,ZRST,M2000,M2256	003848,OUT,Y34
000078,ANI,T212	001777,BMOV,D9000,D3000,K500	003849,LD,M1000
000079,ANI,M83	001784,BMOV,D9000,D3500,K500	003850,REF,Y30,K8
000080,ANI,M85	001791,BMOV,D9000,D4000,K300	003855,LDI,X0
000081,ANI,M87	001798,LD,M12	003856,OR,M400

000082,AND,M225	001799,OR,M15	003857,ANI,M399
000083,AND,M226	001800,ANI,T16	003858,OUT,M400
000084,OUT,M81	001801,OUT,M15	003859,LDI,X0
000085,LD,M81	001802,TMR,T15,K5	003860,AND,M399
000086,MOV,D680,D522	001806,LD,M15	003861,OUT,Y11
000091,MOV,D682,D510	001807,ANI,T15	003862,LDI,X3
000096,LD,M79	001808,MOV,K4M2000,D3300	003863,OR,M401
000097,AND,M25	001813,MOV,K4M2016,D3302	003864,ANI,M399
000098,LD,M82	001818,MOV,K4M2032,D3304	003865,OUT,M401
000099,OR,M83	001823,MOV,K4M2048,D3306	003866,LDI,X3
000100,ANB	001828,MOV,K4M2064,D3308	003867,AND,M399
000101,ANI,T213	001833,MOV,K4M2080,D3310	003868,OUT,Y23
000102,ANI,M81	001838,MOV,K4M2096,D3312	003869,LDI,X2
000103,ANI,M85	001843,MOV,K4M2112,D3314	003870,OR,M402
000104,ANI,M87	001848,MOV,K4M2128,D3316	003871,ANI,M399
000105,AND,M225	001853,MOV,K4M2144,D3318	003872,OUT,M402
000106,AND,M226	001858,MOV,K4M2160,D3320	003873,LDI,X2
000107,OUT,M83	001863,MOV,K4M2176,D3322	003874,AND,M399
000108,LD,M83	001868,MOV,K4M2192,D3324	003875,OUT,Y21
000109,MOV,D680,D524	001873,MOV,K4M2208,D3326	003876,LDI,X1
000114,MOV,D682,D512	001878,MOV,K4M2224,D3328	003877,OR,M423
000119,LD,M79	001883,LD,M15	003878,ANI,M399
000120,AND,M25	001884,ANI,T15	003879,OUT,M423
000121,LD,M84	001885,BMOV,D3000,D4500,K500	003880,LDI,X1
000122,OR,M85	001892,BMOV,D3500,D5000,K500	003881,AND,M399
000123,ANB	001899,BMOV,D4000,D5500,K300	003882,OUT,Y13
000124,ANI,T214	001906,MOV,K23,D0	003883,LDI,Y45
000125,ANI,M83	001911,LD,M15	003884,ANI,X11
000126,ANI,M81	001912,AND,T15	003885,ANI,M399
000127,ANI,M87	001913,MOV,K2,D5	003886,ANI,M700
000128,AND,M225	001918,TMR,T16,K20	003887,TMR,T70,D500
000129,AND,M226	001922,LD,T16	003891,LDI,Y45
000130,OUT,M85	001923,MOV,K0,D5	003892,ANI,X11
000131,LD,M85	001928,LDF,M15	003893,AND,T70
000132,MOV,D680,D526	001931,MOV,K2,D0	003894,OR,M403
000137,MOV,D682,D514	001936,LD,M13	003895,ANI,M399
000142,LD,M79	001937,OR,M16	003896,OUT,M403
000143,AND,M25	001938,ANI,T7	003897,LD,Y45
000144,LD,M86	001939,OUT,M16	003898,ANI,X10
000145,OR,M87	001940,MPS	003899,ANI,M399
000146,ANB	001941,ANI,T6	003900,ANI,M700
000147,ANI,T215	001942,MOV,K4,D5	003901,TMR,T71,D500
000148,ANI,M83	001947,MOV,K24,D0	003905,LD,Y45
000149,ANI,M85	001952,MPP	003906,ANI,X10
000150,ANI,M81	001953,TMR,T6,K20	003907,AND,T71

000151,AND,M225	001957,AND,T6	003908,OR,M404
000152,AND,M226	001958,MOV,K0,D5	003909,ANI,M399
000153,OUT,M87	001963,LD,T6	003910,OUT,M404
000154,LD,M87	001964,BMOV,D4500,D6000,K500	003911,LDI,Y44
000155,MOV,D680,D528	001971,BMOV,D5000,D6500,K500	003912,ANI,X14
000160,MOV,D682,D516	001978,BMOV,D5500,D7000,K300	003913,ANI,M399
000165,LD,M1000	001985,LD,T6	003914,ANI,M700
000166,AND=,D11,K7	001986,MOV,D6300,K4M3000	003915,TMR,T72,D500
000171,MUL,D704,K2000,D350	001991,MOV,D6302,K4M3016	003919,LDI,Y44
000178,DDIV,D350,K1,D2000	001996,MOV,D6304,K4M3032	003920,ANI,X14
000191,LD,M1000	002001,MOV,D6306,K4M3048	003921,AND,T72
000192,AND=,D11,K7	002006,MOV,D6308,K4M3064	003922,OR,M405
000197,MUL,D804,K2000,D352	002011,MOV,D6310,K4M3080	003923,ANI,M399
000204,DDIV,D352,K1,D2300	002016,MOV,D6312,K4M3096	003924,OUT,M405
000217,LD,M1000	002021,MOV,D6314,K4M3112	003925,LD,Y44
000218,AND=,D11,K7	002026,MOV,D6316,K4M3128	003926,ANI,X15
000223,MUL,D904,K2000,D354	002031,MOV,D6318,K4M3144	003927,ANI,M399
000230,DDIV,D354,K1,D2600	002036,MOV,D6320,K4M3160	003928,ANI,M700
000243,LD,M1000	002041,MOV,D6322,K4M3176	003929,TMR,T73,D500
000244,MUL,D708,K2000,D356	002046,MOV,D6324,K4M3192	003933,LD,Y44
000251,DDIV,D356,K1,D2060	002051,MOV,D6326,K4M3208	003934,ANI,X15
000264,LD,M1000	002056,MOV,D6328,K4M3224	003935,AND,T73
000265,MUL,D808,K2000,D358	002061,LD,T6	003936,OR,M406
000272,DDIV,D358,K1,D2360	002062,TMR,T7,K5	003937,ANI,M399
000285,LD,M1000	002066,LDF,M16	003938,OUT,M406
000286,MUL,D908,K2000,D360	002069,MOV,K2,D0	003939,LDI,Y42
000293,DDIV,D360,K1,D2660	002074,LD,X0	003940,ANI,X12
000306,LD,M1000	002075,AND,X1	003941,ANI,M399
000307,AND<>,K7,D11	002076,AND,X3	003942,ANI,M700
000312,MUL,D712,K2000,D362	002077,AND,X2	003943,TMR,T74,D500
000319,DDIV,D362,K1,D2000	002078,AND,M106	003947,LDI,Y42
000332,LD,M1000	002079,AND,M116	003948,ANI,X12
000333,AND<>,K7,D11	002080,AND,M126	003949,AND,T74
000338,MUL,D812,K2000,D364	002081,AND,M136	003950,OR,M407
000345,DDIV,D364,K1,D2300	002082,AND,M25	003951,ANI,M399
000358,LD,M1000	002083,OUT,M330	003952,OUT,M407
000359,AND<>,K7,D11	002084,LDI,M417	003953,LD,Y42
000364,MUL,D912,K2000,D366	002085,ANI,M418	003954,ANI,X13
000371,DDIV,D366,K1,D2600	002086,ANI,M419	003955,ANI,M399
000384,LD,M1002	002087,ANI,M420	003956,ANI,M700
000385,TO,K0,K1,H0,K1	002088,ANI,M421	003957,TMR,T75,D500
000394,TO,K0,K33,H0,K1	002089,ANI,M422	003961,LD,Y42
000403,LD,M1002	002090,AND,M225	003962,ANI,X13
000404,TO,K0,K22,K0,K1	002091,AND,M227	003963,AND,T75
000413,TO,K0,K28,K4000,K1	002092,OUT,M331	003964,OR,M408

000422,TO,K0,K23,K0,K1	002093,LD,M330	003965,ANI,M399
000431,TO,K0,K29,K4000,K1	002094,AND,M331	003966,OUT,M408
000440,LD,M1002	002095,LD,X35	003967,LDI,Y41
000441,TO,K1,K1,H0,K1	002096,ANI,X26	003968,ANI,X20
000450,TO,K1,K33,H0,K1	002097,ANI,X27	003969,ANI,M399
000459,LD,M1002	002098,ANI,X24	003970,ANI,M700
000460,TO,K1,K22,K0,K1	002099,ANI,X25	003971,TMR,T76,D500
000469,TO,K1,K28,K4000,K1	002100,LD,M20	003975,LDI,Y41
000478,TO,K1,K23,K0,K1	002101,OR,M45	003976,ANI,X20
000487,TO,K1,K29,K4000,K1	002102,ANB	003977,AND,T76
000496,LD,M1002	002103,OR,M44	003978,OR,M409
000497,TO,K2,K1,H0,K1	002104,ANB	003979,ANI,M399
000506,TO,K2,K33,H0,K1	002105,ANI,M392	003980,OUT,M409
000515,LD,M1002	002106,OUT,M44	003981,LD,Y41
000516,TO,K2,K22,K0,K1	002107,LD,M330	003982,ANI,X21
000525,TO,K2,K28,K4000,K1	002108,AND,M331	003983,ANI,M399
000534,TO,K2,K23,K0,K1	002109,LD,X5	003984,ANI,M700
000543,TO,K2,K29,K4000,K1	002110,ANI,X26	003985,TMR,T77,D500
000552,LD,M1000	002111,ANI,X27	003989,LD,Y41
000553,MUL,D510,K50,D374	002112,ANI,X24	003990,ANI,X21
000560,DIV,D374,K10,D376	002113,ANI,X25	003991,AND,T77
000567,ADD,D376,K0,D200	002114,LD,M20	003992,OR,M410
000574,LD,M1000	002115,OR,M44	003993,ANI,M399
000575,MUL,D512,K50,D378	002116,ANB	003994,OUT,M410
000582,DIV,D378,K10,D380	002117,OR,M45	003995,LDI,Y40
000589,ADD,D380,K350,D201	002118,ANB	003996,ANI,X22
000596,LD,M1000	002119,ANI,M393	003997,ANI,M399
000597,MUL,D514,K50,D382	002120,OUT,M45	003998,ANI,M700
000604,DIV,D382,K10,D384	002121,LD,M44	003999,TMR,T78,D500
000611,ADD,D384,K0,D202	002122,ANI,M343	004003,LDI,Y40
000618,LD,M1000	002123,OUT,M341	004004,ANI,X22
000619,MUL,D516,K50,D386	002124,LD,M45	004005,AND,T78
000626,DIV,D386,K10,D388	002125,ANI,M341	004006,OR,M411
000633,ADD,D388,K0,D203	002126,OUT,M343	004007,ANI,M399
000640,LD,M1000	002127,LD,M341	004008,OUT,M411
000641,TO,K0,K10,D200,K1	002128,OR,M343	004009,LD,Y40
000650,LD,M1000	002129,ANI,M391	004010,ANI,X23
000651,TO,K0,K11,D201,K1	002130,ANI,M390	004011,ANI,M399
000660,LD,M1000	002131,OUT,M351	004012,ANI,M700
000661,TO,K1,K10,D202,K1	002132,LD,M351	004013,TMR,T79,D500
000670,LD,M1000	002133,MOVP,K9,D0	004017,LD,Y40
000671,TO,K1,K11,D203,K1	002138,LD,M341	004018,ANI,X23
000680,LD,X0	002139,LD,M44	004019,AND,T79
000681,AND,X1	002140,AND,M1013	004020,OR,M412
000682,AND,M20	002141,ORB	004021,ANI,M399

000683,AND,M25	002142,OUT,Y46	004022,OUT,M412
000684,LD,M100	002143,LD,M343	004023,LDI,Y43
000685,ANI,X27	002144,LD,M45	004024,ANI,X17
000686,OR,M101	002145,AND,M1013	004025,ANI,M399
000687,ANB	002146,ORB	004026,ANI,M700
000688,LDI,M106	002147,OUT,Y47	004027,TMR,T82,D500
000689,ORI,M136	002148,LD,M341	004031,LDI,Y43
000690,ANB	002149,DMOV,K0,D450	004032,ANI,X17
000691,OUT,M101	002158,LD,M343	004033,AND,T82
000692,TMR,T100,K1	002159,DMOV,D445,D450	004034,OR,M415
000696,LD,M101	002168,LD,M1000	004035,ANI,M399
000697,AND,T100	002169,SUB,D601,K1,D320	004036,OUT,M415
000698,OUT,M102	002176,MUL,D320,K2,D322	004037,LD,Y43
000699,LD,M102	002183,MUL,D320,K6,D324	004038,ANI,X16
000700,ANI,M103	002190,MOV,D322,E2	004039,ANI,M399
000701,DDRVI,K-10000000,K10000,Y0,Y1	002195,MOV,D324,E4	004040,ANI,M700
000718,LD,M102	002200,LD,M351	004041,TMR,T83,D500
000719,LD,X27	002201,DADD,D6000E4,D450,D2100	004045,LD,Y43
000720,OR,M103	002214,DMOV,D6002E4,D2400	004046,ANI,X16
000721,ANB	002223,DMOV,D6004E4,D2700	004047,AND,T83
000722,OUT,M103	002232,MOV,D6240E2,D510	004048,OR,M416
000723,TMR,T101,K3	002237,MOV,D6350E2,D512	004049,ANI,M399
000727,LD,M103	002242,MOV,D6430E2,D514	004050,OUT,M416
000728,AND,T101	002247,MOV,D6510E2,D516	004051,LD,M340
000729,ANI,M105	002252,MOV,D6590E2,D518	004052,OR,M342
000730,DDRVI,K10000,K10000,Y0,Y1	002257,MOV,D6670E2,D520	004053,OR,M341
000747,LD,M104	002262,MOV,D6750E2,D522	004054,OR,M343
000748,LDI,M1336	002267,MOV,D6830E2,D524	004055,OR,M50
000749,OR,M105	002272,MOV,D6910E2,D526	004056,OR,M100
000750,ANB	002277,MOV,D6990E2,D528	004057,OR,X35
000751,OUT,M105	002282,MOV,D7070E2,D530	004058,OR,X5
000752,TMR,T102,K5	002287,MOV,D7150E2,D532	004059,AND,X26
000756,LD,M103	002292,LD,M1000	004060,OR,M417
000757,AND,T101	002293,MOV,K2M3000E4,K2M170	004061,ANI,M399
000758,LD,M1336	002298,LD,M170	004062,OUT,M417
000759,OR,M104	002299,OUT,M140	004063,LD,M340
000760,ANB	002300,LD,M173	004064,OR,M342
000761,OUT,M104	002301,OUT,M141	004065,OR,M341
000762,LD,M105	002302,LD,M171	004066,OR,M343
000763,ANI,T102	002303,OUT,M142	004067,OR,M52
000764,DMOV,K0,D1336	002304,LD,M174	004068,OR,M100
000773,LD,T102	002305,OUT,M143	004069,OR,X35
000774,SET,M106	002306,LD,M1000	004070,OR,X5
000775,LD,M20	002307,MUL,D720,K2000,D368	004071,AND,X27

000776,AND,X2	002314,DDIV,D368,K1,D2070	004072,OR,M418
000777,AND,M25	002327,LD,M1000	004073,ANI,M399
000778,LD,M100	002328,MUL,D820,K2000,D370	004074,OUT,M418
000779,ANI,X24	002335,DDIV,D370,K1,D2370	004075,LD,M340
000780,OR,M111	002348,LD,M1000	004076,OR,M342
000781,ANB	002349,MUL,D920,K2000,D372	004077,OR,M341
000782,ANI,M116	002356,DDIV,D372,K1,D2670	004078,OR,M343
000783,OUT,M111	002369,LD,M351	004079,OR,M60
000784,TMR,T110,K1	002370,TMR,T231,K10	004080,OR,M100
000788,LD,M111	002374,LD,M1000	004081,OR,X35
000789,AND,T110	002375,DMUL,D1336,D2010,D2020	004082,OR,X5
000790,OUT,M112	002388,DDIV,D2020,D2030,D2050	004083,AND,X112
000791,LD,M112	002401,LD,M1000	004084,OR,M419
000792,ANI,M113	002402,DMUL,D1375,D2310,D2320	004085,ANI,M399
000793,DDRVI,K-10000000,K10000,Y4,Y5	002415,DDIV,D2320,D2330,D2350	004086,OUT,M419
000810,LD,M112	002428,LD,M1000	004087,LD,M340
000811,LD,X24	002429,DMUL,D1377,D2610,D2620	004088,OR,M342
000812,OR,M113	002442,DDIV,D2620,D2630,D2650	004089,OR,M341
000813,ANB	002455,LD,M1000	004090,OR,M343
000814,OUT,M113	002456,DMUL,D1338,D2910,D2920	004091,OR,M62
000815,TMR,T111,K3	002469,DDIV,D2920,D2930,D2950	004092,OR,M100
000819,LD,M113	002482,LD,M1000	004093,OR,X35
000820,AND,T111	002483,DMUL,D2100,D2030,D2110	004094,OR,X5
000821,ANI,M115	002496,DDIV,D2110,D2010,D2150	004095,AND,X24
000822,DDRVI,K10000,K10000,Y4,Y5	002509,LD,M1000	004096,OR,M420
000839,LD,M114	002510,DADD,D2100,K2,D2200	004097,ANI,M399
000840,LDI,M1522	002523,DSUB,D2100,K2,D2204	004098,OUT,M420
000841,OR,M115	002536,DLD>=,D2200,D2050	004099,LD,M340
000842,ANB	002545,DAND<=,D2204,D2050	004100,OR,M342
000843,OUT,M115	002554,OUT,M300	004101,OR,M341
000844,TMR,T112,K5	002555,LD,M1000	004102,OR,M343
000848,LD,M113	002556,DMUL,D2400,D2330,D2410	004103,OR,M60
000849,AND,T111	002569,DDIV,D2410,D2310,D2450	004104,OR,M100
000850,LD,M1522	002582,LD,M1000	004105,OR,X35
000851,OR,M114	002583,DADD,D2400,K2,D2500	004106,OR,X5
000852,ANB	002596,DSUB,D2400,K2,D2504	004107,AND,X110
000853,OUT,M114	002609,DLD>=,D2500,D2350	004108,OR,M421
000854,LD,M115	002618,DAND<=,D2504,D2350	004109,ANI,M399
000855,ANI,T112	002627,OUT,M301	004110,OUT,M421
000856,DMOV,K0,D1375	002628,LD,M1000	004111,LD,M340
000865,LD,T112	002629,DMUL,D2700,D2630,D2710	004112,OR,M342
000866,SET,M116	002642,DDIV,D2710,D2610,D2750	004113,OR,M341
000867,LD,M20	002655,LD,M1000	004114,OR,M343
000868,AND,X3	002656,DADD,D2700,K2,D2800	004115,OR,M62

000869,AND,M25	002669,DSUB,D2700,K2,D2804	004116,OR,M100
000870,LD,M100	002682,DLD>=,D2800,D2650	004117,OR,X35
000871,ANI,X25	002691,DAND<=,D2804,D2650	004118,OR,X5
000872,OR,M121	002700,OUT,M302	004119,AND,X25
000873,ANB	002701,LD,M1000	004120,OR,M422
000874,ANI,M126	002702,DMOV,D2100,D2705	004121,ANI,M399
000875,OUT,M121	002711,LD,M1000	004122,OUT,M422
000876,TMR,T120,K1	002712,DMUL,D2705,D2930,D2715	004123,LDI,M106
000880,LD,M121	002725,DDIV,D2715,D2910,D2760	004124,ORI,M116
000881,AND,T120	002738,LD,M1000	004125,ORI,M126
000882,OUT,M122	002739,DADD,D2705,K2,D2810	004126,ORI,M136
000883,LD,M122	002752,DSUB,D2705,K2,D2814	004127,LD,M10
000884,ANI,M123	002765,DLD>=,D2810,D2950	004128,OR,X35
000885,DDRVI,K-10000000,K10000,Y6,Y7	002774,DAND<=,D2814,D2950	004129,OR,X5
000902,LD,M122	002783,OUT,M303	004130,ANB
000903,LD,X25	002784,LD,M20	004131,LDI,M106
000904,OR,M123	002785,AND,T231	004132,AND,M200
000905,ANB	002786,ANI,M353	004133,ORB
000906,OUT,M123	002787,DDRVA,D2150,D2070,Y0,Y1	004134,LDI,M116
000907,TMR,T121,K3	002804,LD,M20	004135,AND,M210
000911,LD,M123	002805,AND,T231	004136,ORB
000912,AND,T121	002806,ANI,M383	004137,LDI,M126
000913,ANI,M125	002807,DDRVA,D2150,D2070,Y2,Y3	004138,AND,M220
000914,DDRVI,K10000,K10000,Y6,Y7	002824,LD,M351	004139,ORB
000931,LD,M124	002825,AND,T231	004140,LDI,M136
000932,LDI,M1523	002826,LD,M1336	004141,AND,M200
000933,OR,M125	002827,LDI,M1336	004142,ORB
000934,ANB	002828,AND,M300	004143,OR,M424
000935,OUT,M125	002829,ORB	004144,ANI,M399
000936,TMR,T122,K5	002830,OR,M352	004145,OUT,M424
000940,LD,M123	002831,ANB	004146,LDI,X4
000941,AND,T121	002832,OUT,M352	004147,OR,M425
000942,LD,M1523	002833,LD,M352	004148,ANI,M399
000943,OR,M124	002834,LD,M300	004149,OUT,M425
000944,ANB	002835,ANI,M1336	004150,LD,X35
000945,OUT,M124	002836,OR,M353	004151,OR,X5
000946,LD,M125	002837,ANB	004152,ANI,M20
000947,ANI,T122	002838,OUT,M353	004153,OR,M426
000948,DMOV,K0,D1377	002839,LD,M351	004154,ANI,M399
000957,LD,T122	002840,AND,T231	004155,OUT,M426
000958,SET,M126	002841,LD,M1337	004156,LD,M1000
000959,LD,M102	002842,LDI,M1337	004157,DMOV,K8M400,D300
000960,ANI,M133	002843,AND,M303	004166,DLD<>,K0,D300
000961,DDRVI,K-10000000,K10000,Y2,Y3	002844,ORB	004175,OUT,M398

000978,LD,M102	002845,OR,M382	004176,LD,M25
000979,LD,X30	002846,ANB	004177,AND,X4
000980,OR,M133	002847,OUT,M382	004178,AND,M38
000981,ANB	002848,LD,M382	004179,OUT,Y30
000982,OUT,M133	002849,LD,M303	004180,LDI,X4
000983,TMR,T131,K3	002850,ANI,M1337	004181,RST,M38
000987,LD,M133	002851,OR,M383	004184,LDI,M25
000988,AND,T131	002852,ANB	004185,MOV,K25,D0
000989,ANI,M135	002853,OUT,M383	004190,LDP,M25
000990,DDRVI,K10000,K10000,Y2,Y3	002854,LD,M20	004193,MOV,K2,D0
001007,LD,M134	002855,AND,T231	004198,LD,M341
001008,LDI,M1337	002856,ANI,M355	004199,ANI,M391
001009,OR,M135	002857,DDRVA,D2450,D2370,Y4,Y5	004200,TTMR,D170,K2
001010,ANB	002874,LD,M351	004205,LD,M343
001011,OUT,M135	002875,AND,T231	004206,ANI,M391
001012,TMR,T132,K5	002876,LD,M1522	004207,TTMR,D180,K2
001016,LD,M133	002877,LDI,M1522	004212,END
001017,AND,T131	002878,AND,M301	004213,LD,M387
001018,LD,M1337	002879,ORB	004214,AND,M388
001019,OR,M134	002880,OR,M354	004215,LDI,M1522
001020,ANB	002881,ANB	004216,AND,M132
001021,OUT,M134	002882,OUT,M354	004217,OR,M389
001022,LD,M135	002883,LD,M354	004218,ANB
001023,ANI,T132	002884,LD,M301	004219,OUT,M389
001024,DMOV,K0,D1338	002885,ANI,M1522	004220,LD,M340
001033,LD,T132	002886,OR,M355	004221,AND,M383
001034,SET,M136	002887,ANB	004222,AND,T161
001035,LD,M25	002888,OUT,M355	004223,ANI,X114
001036,AND,X0	002889,LD,M20	004224,ANI,X115
001037,AND,X1	002890,AND,T231	004225,AND,M386
001038,ANI,M101	002891,ANI,M357	004226,AND,M389
001039,ANI,M131	002892,DDRVA,D2750,D2670,Y6,Y7	004227,OUT,M390
001040,AND,M50	002909,LD,M351	004228,LD,M390
001041,ANI,M53	002910,AND,T231	004229,ANI,M392
001042,ANI,X26	002911,LD,M1523	004230,DDRVA,D3050, D4220,Y0,Y1
001043,ANI,M201	002912,LDI,M1523	004247,LD,M390
001044,AND,M20	002913,AND,M302	004248,LD,M1336
001045,OUT,M51	002914,ORB	004249,LDI,M1336
001046,LD,M25	002915,OR,M356	004250,AND,M130
001047,AND,X0	002916,ANB	004251,ORB
001048,AND,X1	002917,OUT,M356	004252,OR,M391
001049,ANI,M101	002918,LD,M356	004253,ANB
001050,ANI,M131	002919,LD,M302	004254,OUT,M391
001051,AND,M52	002920,ANI,M1523	004255,LD,M390

001052,ANI,M51	002921,OR,M357	004256,AND,M391
001053,ANI,X27	002922,ANB	004257,LDI,M1336
001054,ANI,M201	002923,OUT,M357	004258,AND,M130
001055,AND,M20	002924,LD,M351	004259,OR,M392
001056,OUT,M53	002925,AND,M353	004260,ANB
001057,LD,X0	002926,AND,M355	004261,OUT,M392
001058,AND,M51	002927,AND,M357	004262,LD,M340
001059,ANI,M53	002928,AND,M383	004263,AND,M383
001060,DDRVI,K10000000,D2000,Y0,Y1	002929,OUT,M358	004264,AND,M392
001077,DDRVI,K10000000,D2000,Y2,Y3	002930,TMR,T238,D650	004265,TMR,T162,D362
001094,LD,X0	002934,LD,M358	004269,LD,M340
001095,AND,M53	002935,LD,X16	004270,AND,M383
001096,ANI,M51	002936,OR,T238	004271,AND,M392
001097,DDRVI,K-10000000,D2000,Y0,Y1	002937,OR,M359	004272,LD,T162
001114,DDRVI,K-10000000,D2000,Y2,Y3	002938,ANB	004273,OR,M393
001131,LD,M25	002939,OUT,M359	004274,ANB
001132,AND,X2	002940,LD,M359	004275,OUT,M393
001133,ANI,M111	002941,MPS	004276,LD,M340
001134,AND,M60	002942,AND,M140	004277,AND,M393
001135,ANI,M63	002943,OUT,M360	004278,LD,X71
001136,LDI,X112	002944,TMR,T232,D650	004279,OR,M394
001137,OR,X112	002948,MPP	004280,ANB
001138,ANB	002949,AND,M141	004281,OUT,M394
001139,ANI,M211	002950,OUT,M361	004282,LD,M340
001140,AND,M20	002951,TMR,T233,D650	004283,AND,M394
001141,OUT,M61	002955,LD,M359	004284,TMR,T163,K2
001142,LD,M25	002956,LD,M360	004288,LD,M340
001143,AND,X2	002957,LD,T232	004289,AND,M394
001144,ANI,M111	002958,AND,M700	004290,ANI,T163
001145,AND,M62	002959,LD,X10	004291,DMOV,D4068,D3012
001146,ANI,M61	002960,ANI,M700	004300,LD,M340
001147,ANI,X24	002961,ORB	004301,AND,M394
001148,ANI,M211	002962,ANB	004302,AND,T163
001149,AND,M20	002963,OR,M305	004303,ANI,X120
001150,OUT,M63	002964,ANB	004304,ANI,X121
001151,LD,X2	002965,OR,M81	004305,OUT,M395
001152,AND,M61	002966,MPS	004306,LD,M395
001153,ANI,M63	002967,ANI,M81	004307,ANI,M397
001154,DDRVI,K10000000,D2300,Y4,Y5	002968,OUT,M305	004308,DDRVA,D3150,D4240,Y4,Y5
001171,LD,X2	002969,MPP	004325,LD,M395
001172,AND,M63	002970,TMR,T200,D650	004326,LD,M1522
001173,ANI,M61	002974,LD,M359	004327,LDI,M1522
001174,DDRVI,K-10000000,D2300,Y4,Y5	002975,LD,M361	004328,AND,M132

001191,LD,M25	002976,LD,T233	004329,ORB
001192,AND,X3	002977,AND,M700	004330,OR,M396
001193,ANI,M121	002978,LD,X15	004331,ANB
001194,AND,M70	002979,ANI,M700	004332,OUT,M396
001195,ANI,M73	002980,ORB	004333,LD,M395
001196,LDI,X110	002981,ANB	004334,AND,M396
001197,OR,X110	002982,OR,M306	004335,LDI,M1522
001198,ANB	002983,ANB	004336,AND,M132
001199,AND,M20	002984,OR,M83	004337,OR,M397
001200,OUT,M71	002985,MPS	004338,ANB
001201,LD,M25	002986,ANI,M83	004339,OUT,M397
001202,AND,X2	002987,OUT,M306	004340,LD,M340
001203,ANI,M121	002988,MPP	004341,AND,M397
001204,AND,M72	002989,TMR,T201,D650	004342,TMR,T164,K1
001205,ANI,M71	002993,LD,M305	004346,LD,M340
001206,ANI,X25	002994,AND,T200	004347,AND,M397
001207,AND,M20	002995,AND,T212	004348,ANI,T164
001208,OUT,M73	002996,LD,X11	004349,DMOV,D4064,D3012
001209,LD,X3	002997,ANI,M700	004358,LD,M340
001210,AND,M71	002998,OR,M700	004359,AND,M397
001211,ANI,M73	002999,OR,M312	004360,AND,T164
001212,DDRVI,K10000000,D2600,Y6,Y7	003000,ANB	004361,ANI,X120
001229,LD,X3	003001,LD,M359	004362,ANI,X121
001230,AND,M73	003002,ANI,M140	004363,OUT,M398
001231,ANI,M71	003003,ORB	004364,LD,M398
001232,DDRVI,K-10000000,D2600,Y6,Y7	003004,OUT,M312	004365,ANI,M400
001249,LDI,M201	003005,LD,M306	004366,DDRVA,D3150, D4240,Y4,Y5
001250,ANI,M211	003006,AND,T201	004383,LD,M398
001251,ANI,M221	003007,AND,T213	004384,LD,M1522
001252,ANI,M231	003008,LD,X14	004385,LDI,M1522
001253,OUT,M225	003009,ANI,M700	004386,AND,M132
001254,LDI,M341	003010,OR,M700	004387,ORB
001255,ANI,M343	003011,OR,M313	004388,OR,M399
001256,OUT,M226	003012,ANB	004389,ANB
001257,LDI,M81	003013,LD,M359	004390,OUT,M399
001258,ANI,M83	003014,ANI,M141	004391,LD,M398
001259,ANI,M85	003015,ORB	004392,AND,M399
001260,ANI,M87	003016,OUT,M313	004393,LDI,M1522
001261,OUT,M227	003017,LD,M359	004394,AND,M132
001262,LD,M25	003018,MPS	004395,OR,M400
001263,AND,X0	003019,AND,M142	004396,ANB
001264,AND,X1	003020,OUT,M362	004397,OUT,M400
001265,AND,M106	003021,TMR,T234,D650	004398,LD,M400
001266,AND,M136	003025,MPP	004399,MOV,K0,D900

001267,OUT,M230	003026,AND,M143	004404,RST,M381
001268,LD,M230	003027,OUT,M363	004407,LDP,M400
001269,LD,M200	003028,TMR,T235,D650	004410,SET,M245
001270,OR,M201	003032,LD,M359	004411,LD,M9
001271,ANB	003033,LD,M362	004412,TMR,T14,K10
001272,ANI,M203	003034,LD,T234	004416,AND,T14
001273,AND,M20	003035,AND,M700	004417,MOV,K0,D900
001274,AND,M226	003036,LD,X13	004422,LDI,X12
001275,AND,M227	003037,ANI,M700	004423,DMUL,D250,K1000,D270
001276,OUT,M201	003038,ORB	004436,DDIV,D270,K15,D200
001277,TMR,T21,K5	003039,ANB	004449,LDI,X12
001281,LD,M201	003040,OR,M307	004450,DMUL,D252,K1000,D274
001282,ANI,T21	003041,ANB	004463,DDIV,D274,K15,D204
001283,DMOV,D700,D2100	003042,OR,M85	004476,LDI,X12
001292,DMOV,D700,D2705	003043,MPS	004477,DMUL,D254,K1000,D278
001301,LD,M201	003044,ANI,M85	004490,DDIV,D278,K15,D208
001302,AND,T21	003045,OUT,M307	004503,LDI,X12
001303,ANI,M203	003046,MPP	004504,DMUL,D256,K1000,D282
001304,DDRVA,D2150,D2060,Y0,Y1	003047,TMR,T202,D650	004517,DDIV,D282,K15,D212
001321,LD,M201	003051,LD,M359	004530,LDI,X12
001322,AND,T21	003052,LD,M363	004531,ANI,M181
001323,ANI,M233	003053,LD,T235	004532,DMUL,D258,K1000,D286
001324,DDRVA,D2150,D2060,Y2,Y3	003054,AND,M700	004545,DDIV,D286,K6,D216
001341,LD,M201	003055,LD,X21	004558,LD=,D11,K24
001342,AND,T21	003056,ANI,M700	004563,OUT,M4
001343,LD,M1336	003057,ORB	004564,LD,M4
001344,LDI,M1336	003058,ANB	004565,DMUL,D4200,K1000,D4150
001345,AND,M300	003059,OR,M308	004578,DDIV,D4150,K15,D4220
001346,ORB	003060,ANB	004591,LD,M4
001347,OR,M202	003061,OR,M87	004592,DMUL,D4202,K1000,D4152
001348,ANB	003062,MPS	004605,DDIV,D4152,K15,D4224
001349,OUT,M202	003063,ANI,M87	004618,LD,M4
001350,LD,M202	003064,OUT,M308	004619,DMUL,D4204,K1000,D4154
001351,LD,M300	003065,MPP	004632,DDIV,D4154,K15,D4228
001352,ANI,M1336	003066,TMR,T203,D650	004645,LD,M4
001353,OR,M203	003070,LD,M307	004646,DMUL,D4206,K1000,D4156
001354,ANB	003071,AND,T202	004659,DDIV,D4156,K15,D4232
001355,OUT,M203	003072,AND,T214	004672,LD,M4
001356,LD,M201	003073,LD,X12	004673,DMUL,D4208,K1000,D4158
001357,AND,T21	003074,ANI,M700	004686,DDIV,D4158,K15,D4236
001358,LD,M1337	003075,OR,M700	004699,LD,M4
001359,LDI,M1337	003076,OR,M314	004700,DMUL,D4210,K1000,D4160
001360,AND,M303	003077,ANB	004713,DDIV,D4160,K15,D4240
001361,ORB	003078,LD,M359	004726,LD,M4
001362,OR,M232	003079,ANI,M142	004727,DMUL,D4212,K1000,D4162

001363,ANB	003080,ORB	004740,DDIV,D4162,K15,D4244
001364,OUT,M232	003081,OUT,M314	004753,LD,X12
001365,LD,M232	003082,LD,M308	004754,OUT,Y107
001366,LD,M303	003083,AND,T203	004755,LD,M200
001367,ANI,M1337	003084,AND,T215	004756,LD,M998
001368,OR,M233	003085,LD,X20	004757,ANI,M1012
001369,ANB	003086,ANI,M700	004758,ORB
001370,OUT,M233	003087,OR,M700	004759,OUT,Y106
001371,LDI,M106	003088,OR,M315	004760,LD,M1000
001372,ANI,M101	003089,ANB	004761,MPS
001373,MOV,K0,D40	003090,LD,M359	004762,ANI,X10
001378,LD,M101	003091,ANI,M143	004763,MOV,K13,D0
001379,ANI,M106	003092,ORB	004768,MPP
001380,MOV,K1,D40	003093,OUT,M315	004769,ANDP,X10
001385,LD,M106	003094,LD,M312	004772,MOV,K1,D0
001386,MOV,K2,D40	003095,AND,M313	004777,LDI,M200
001391,LDI,M136	003096,AND,M314	004778,MOV,K0,D45
001392,ANI,M131	003097,AND,M315	004783,LD,M200
001393,MOV,K0,D43	003098,OUT,M390	004784,ANI,M244
001398,LD,M131	003099,LD,M390	004785,MOV,K1,D45
001399,ANI,M136	003100,INCP,D601	004790,LD,M244
001400,MOV,K1,D43	003103,LD=,D601,K1	004791,MOV,K2,D45
001405,LD,M136	003108,DAND=,K0,D6000	004796,LDI,M200
001406,MOV,K2,D43	003117,LD=,D601,K2	004797,MOV,K0,D46
001411,LD,M25	003122,DAND=,K0,D6006	004802,LD,M200
001412,AND,X2	003131,ORB	004803,ANI,M381
001413,AND,M116	003132,LD=,D601,K3	004804,MOV,K1,D46
001414,LD,M210	003137,DAND=,K0,D6012	004809,LD,M381
001415,OR,M211	003146,ORB	004810,MOV,K2,D46
001416,ANB	003147,LD=,D601,K4	004815,LDI,M200
001417,ANI,M213	003152,DAND=,K0,D6018	004816,MOV,K0,D47
001418,AND,M20	003161,ORB	004821,LD,M200
001419,AND,M226	003162,LD=,D601,K5	004822,AND,M247
001420,AND,M227	003167,DAND=,K0,D6024	004823,ANI,M287
001421,OUT,M211	003176,ORB	004824,MOV,K1,D47
001422,TMR,T31,K5	003177,LD=,D601,K6	004829,LD,M200
001426,LD,M211	003182,DAND=,K0,D6030	004830,AND,M247
001427,ANI,T31	003191,ORB	004831,AND,M287
001428,DMOV,D800,D2400	003192,LD=,D601,K7	004832,MOV,K2,D47
001437,LD,M211	003197,DAND=,K0,D6036	004837,LD,M1000
001438,AND,T31	003206,ORB	004838,AND,M287
001439,ANI,M213	003207,LD=,D601,K8	004839,DADDP,D500,K1,D500
001440,DDRVA,D2450,D2360,Y4,Y5	003212,DAND=,K0,D6042	004852,DADDP,D502,K1,D502
001457,LD,M211	003221,ORB	004865,LD,M1000
001458,AND,T31	003222,LD=,D601,K9	004866,AND,M287

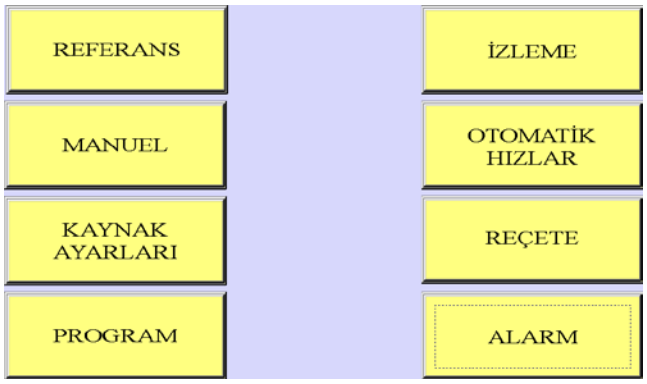
001459,LD,M1522	003227,DAND=,K0,D6048	004867,DADDP,D504,D890,D504
001460,LDI,M1522	003236,ORB	004880,DADDP,D506,D890,D506
001461,AND,M301	003237,LD=,D601,K10	004893,LD,M135
001462,ORB	003242,DAND=,K0,D6054	004894,TMR,T15,K10
001463,OR,M212	003251,ORB	004898,AND,T15
001464,ANB	003252,LD=,D601,K11	004899,DMOV,K0,D502
001465,OUT,M212	003257,DAND=,K0,D6060	004908,LD,M136
001466,LD,M212	003266,ORB	004909,TMR,T16,K10
001467,LD,M301	003267,LD=,D601,K12	004913,AND,T16
001468,ANI,M1522	003272,DAND=,K0,D6066	004914,DMOV,K0,D506
001469,OR,M213	003281,ORB	004923,LD,M200
001470,ANB	003282,LD=,D601,K13	004924,ANI,M244
001471,OUT,M213	003287,DAND=,K0,D6072	004925,TTMR,D50,K1
001472,LDI,M116	003296,ORB	004930,LD,M200
001473,ANI,M111	003297,LD=,D601,K14	004931,ANI,M381
001474,MOV,K0,D41	003302,DAND=,K0,D6078	004932,TTMR,D52,K1
001479,LD,M111	003311,ORB	004937,LD,M200
001480,ANI,M116	003312,LD=,D601,K15	004938,AND,M247
001481,MOV,K1,D41	003317,DAND=,K0,D6084	004939,ANI,M287
001486,LD,M116	003326,ORB	004940,TTMR,D54,K1
001487,MOV,K2,D41	003327,LD=,D601,K16	004945,LD,M1000
001492,LD,M25	003332,DAND=,K0,D6090	004946,ANI,M1002
001493,AND,X3	003341,ORB	004947,TMR,T20,K10
001494,AND,M126	003342,LD=,D601,K17	004951,LD,T20
001495,LD,M220	003347,DAND=,K0,D6096	004952,ANI,X0
001496,OR,M221	003356,ORB	004953,OR,M2000
001497,ANB	003357,LD=,D601,K18	004956,ANI,M999
001498,ANI,M223	003362,DAND=,K0,D6102	004957,OUT,M2000
001499,AND,M20	003371,ORB	004960,LDI,X0
001500,AND,M226	003372,LD=,D601,K19	004961,AND,M999
001501,AND,M227	003377,DAND=,K0,D6108	004962,OUT,Y11
001502,OUT,M221	003386,ORB	004963,LD,T20
001503,TMR,T41,K5	003387,LD=,D601,K20	004964,ANI,X1
001507,LD,M221	003392,DAND=,K0,D6114	004965,OR,M2001
001508,ANI,T41	003401,ORB	004968,ANI,M999
001509,DMOV,D900,D2700	003402,LD=,D601,K21	004969,OUT,M2001
001518,LD,M221	003407,DAND=,K0,D6120	004972,LDI,X1
001519,AND,T41	003416,ORB	004973,AND,M999
001520,ANI,M223	003417,LD=,D601,K22	004974,OUT,Y13
001521,DDRVA,D2750,D2660,Y6,Y7	003422,DAND=,K0,D6126	004975,LD,T20
001538,LD,M221	003431,ORB	004976,ANI,X2
001539,AND,T41	003432,LD=,D601,K23	004977,OR,M2002
001540,LD,M1523	003437,DAND=,K0,D6132	004980,ANI,M999
001541,LDI,M1523	003446,ORB	004981,OUT,M2002
001542,AND,M302	003447,LD=,D601,K24	004984,LDI,X2

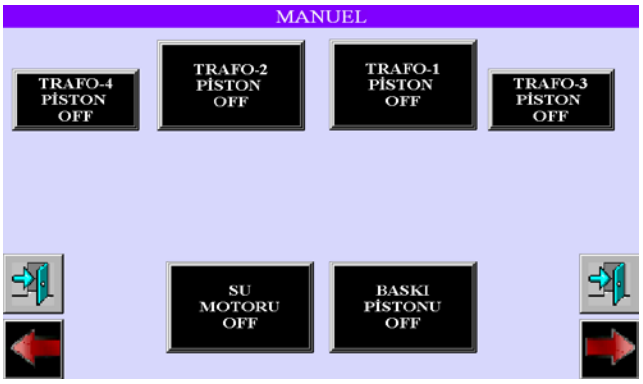
001543,ORB	003452,DAND=,K0,D6138	004985,AND,M999
001544,OR,M222	003461,ORB	004986,OUT,Y21
001545,ANB	003462,LD=,D601,K25	004987,LD,T20
001546,OUT,M222	003467,DAND=,K0,D6144	004988,ANI,X3
001547,LD,M222	003476,ORB	004989,OR,M2003
001548,LD,M302	003477,LD=,D601,K26	004992,ANI,M999
001549,ANI,M1523	003482,DAND=,K0,D6150	004993,OUT,M2003
001550,OR,M223	003491,ORB	004996,LDI,X3
001551,ANB	003492,LD=,D601,K27	004997,AND,M999
001552,OUT,M223	003497,DAND=,K0,D6156	004998,OUT,Y23
001553,LDI,M126	003506,ORB	004999,LD,T20
001554,ANI,M121	003507,LD=,D601,K28	005000,ANI,X4
001555,MOV,K0,D42	003512,DAND=,K0,D6162	005001,OR,M2004
001560,LD,M121	003521,ORB	005004,ANI,M999
001561,ANI,M126	003522,LD=,D601,K29	005005,OUT,M2004
001562,MOV,K1,D42	003527,DAND=,K0,D6168	005008,LDI,X4
001567,LD,M126	003536,ORB	005009,AND,M999
001568,MOV,K2,D42	003537,LD=,D601,K30	005010,OUT,Y25
001573,LD,X0	003542,DAND=,K0,D6174	005011,LD,T20
001574,OUT,Y10	003551,ORB	005012,ANI,M191
001575,LDI,X0	003552,LD=,D601,K31	005013,AND,X13
001576,ORI,X1	003557,DAND=,K0,D6180	005014,OR,M2005
001577,RST,M106	003566,ORB	005017,ANI,M999
001580,RST,M136	003567,LD=,D601,K32	005018,OUT,M2005
001583,LD,X1	003572,DAND=,K0,D6186	005021,LD,M200
001584,OUT,Y12	003581,ORB	005022,OR,M140
001585,LD,X2	003582,LD=,D601,K33	005023,AND,X114
001586,OUT,Y20	003587,DAND=,K0,D6192	005024,OR,M2006
001587,LDI,X2	003596,ORB	005027,ANI,M999
001588,RST,M116	003597,LD=,D601,K34	005028,OUT,M2006
001591,LD,X3	003602,DAND=,K0,D6198	005031,LD,M200
001592,OUT,Y22	003611,ORB	005032,OR,M140
001593,LDI,X3	003612,LD=,D601,K35	005033,AND,X115
001594,RST,M126	003617,DAND=,K0,D6204	005034,OR,M2007
001597,LD,X36	003626,ORB	005037,ANI,M999
001598,AND,X6	003627,LD=,D601,K36	005038,OUT,M2007
001599,AND,X34	003632,DAND=,K0,D6210	005041,LD,M200
001600,OUT,M25	003641,ORB	005042,OR,M140
001601,LD,X20	003642,LD=,D601,K37	005043,AND,X117
001602,OR,M700	003647,DAND=,K0,D6216	005044,OR,M2008
001603,LD,X14	003656,ORB	005047,ANI,M999
001604,OR,M700	003657,LD=,D601,K38	005048,OUT,M2008
001605,ANB	003662,DAND=,K0,D6222	005051,LD,M200
001606,LD,X11	003671,ORB	005052,OR,M140
001607,OR,M700	003672,LD=,D601,K39	005053,AND,X116

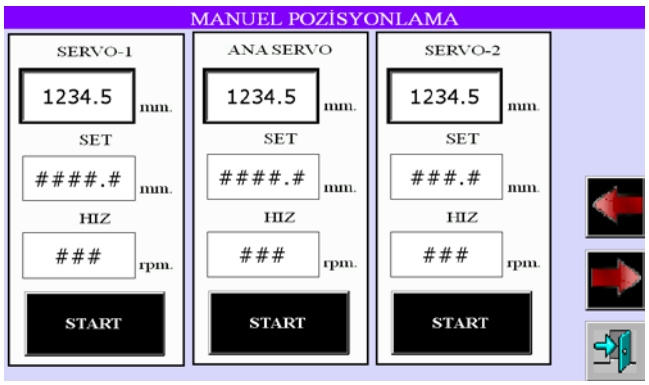
001608,ANB	003677,DAND=,K0,D6228	005054,OR,M2009
001609,LD,X12	003686,ORB	005057,ANI,M999
001610,OR,M700	003687,LD=,D601,K40	005058,OUT,M2009
001611,ANB	003692,DAND=,K0,D6234	005061,LD,M200
001612,LD,X17	003701,ORB	005062,OR,M140
001613,OR,M700	003702,OR>=,D601,K41	005063,AND,X121
001614,ANB	003707,LD,M14	005064,OR,M2010
001615,LD,X22	003708,AND,T14	005067,ANI,M999
001616,OR,M700	003709,ORB	005068,OUT,M2010
001617,ANB	003710,OUT,M391	005071,LD,M200
001618,OUT,M20	003711,MOV,K1,D601	005072,OR,M140
001619,LD,M25	003716,LD,M341	005073,AND,X120
001620,LD,M30	003717,AND,M391	005074,OR,M2011
001621,AND,T22	003718,DINCP,D670	005077,ANI,M999
001622,LD,M360	003723,OUT,M392	005078,OUT,M2011
001623,OR,M81	003724,LD,M343	005081,LD,M200
001624,ANI,T212	003725,AND,M391	005082,OR,M140
001625,ORB	003726,DINCP,D672	005083,AND,X123
001626,ANB	003731,OUT,M393	005084,OR,M2012
001627,OUT,Y45	003732,LD,M17	005087,ANI,M999
001628,LD,M25	003733,TMR,T17,K20	005088,OUT,M2012
001629,LD,M31	003737,AND,T17	005091,LD,M200
001630,AND,T22	003738,DMOV,K0,D670	005092,OR,M140
001631,LD,M361	003747,LD,M18	005093,AND,X122
001632,OR,M83	003748,TMR,T18,K20	005094,OR,M2013
001633,ANI,T213	003752,AND,T18	005097,ANI,M999
001634,ORB	003753,DMOV,K0,D672	005098,OUT,M2013
001635,ANB	003762,LD,M14	005101,LD,M200
001636,OUT,Y44	003763,ANI,M341	005102,OR,M140
001637,LD,M25	003764,ANI,M343	005103,AND,X124
001638,LD,M32	003765,TMR,T14,K20	005104,OR,M2014
001639,AND,T22	003769,LD,M305	005107,ANI,M999
001640,LD,M362	003770,OR,M81	005108,OUT,M2014
001641,OR,M85	003771,AND,T200	005111,LD,M200
001642,ANI,T214	003772,LD,M360	005112,OR,M140
001643,ORB	003773,OR,M81	005113,AND,X125
001644,ANB	003774,ANB	005114,OR,M2015
001645,OUT,Y42	003775,OUT,M370	005117,ANI,M999
001646,LD,M25	003776,TMR,T206,D522	005118,OUT,M2015
001647,LD,M34	003780,AND,T206	005121,LDI,X126
001648,AND,T22	003781,TMR,T212,D652	005122,OR,M2016
001649,LD,M363	003785,LD,M306	005125,ANI,M999
001650,OR,M87	003786,OR,M83	005126,OUT,M2016
001651,ANI,T215	003787,AND,T201	005129,LD,M1000
001652,ORB	003788,LD,M361	005130,DMOV,K8M2000,D490

001653,ANB	003789,OR,M83	005139,DLD<>,D490,K0
001654,OUT,Y41	003790,ANB	005148,OUT,M998
001655,LD,M25	003791,OUT,M371	005149,END
001656,LD,M33	003792,TMR,T207,D524	

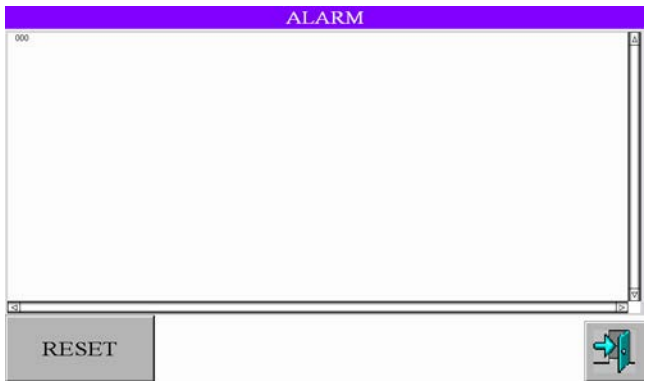
EK-3 : Makine İnsan Arabirimi (HMI)

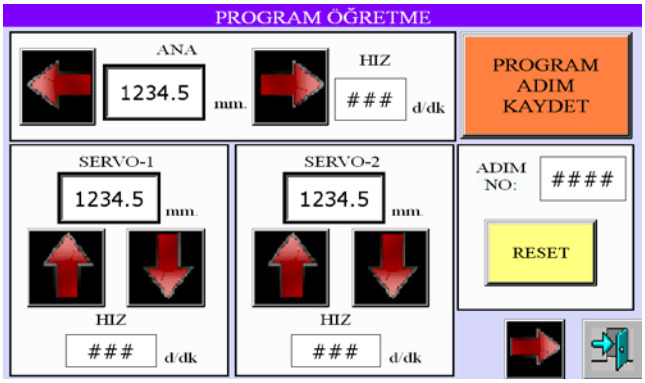


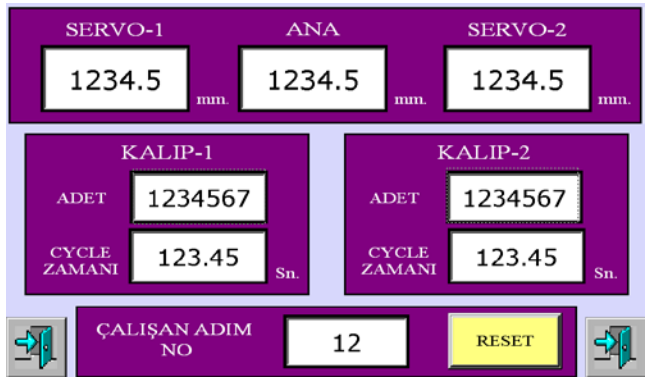


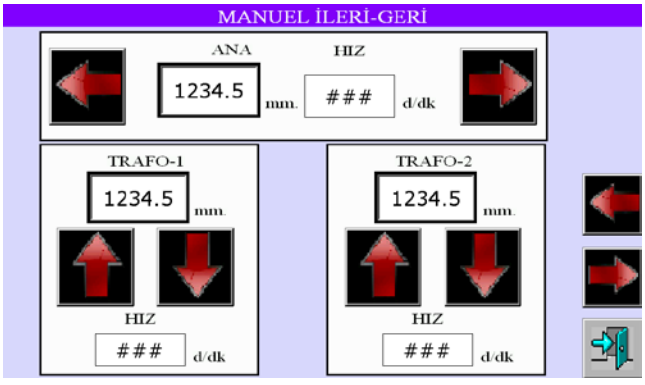


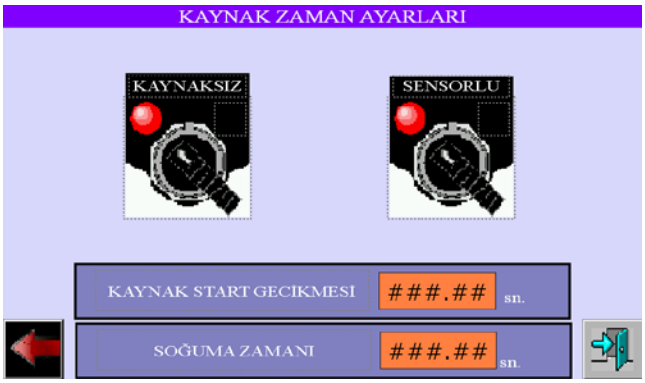








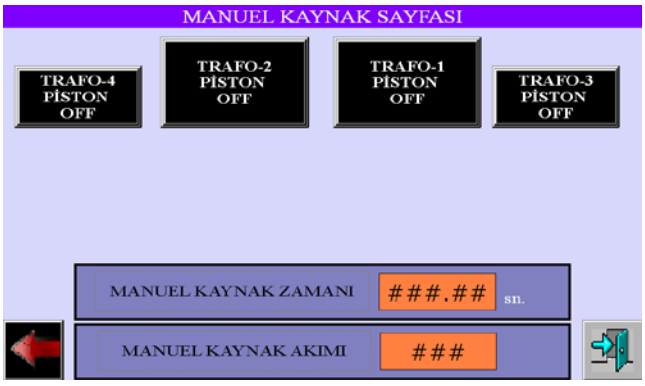



KAYNAK ZAMAN AYARLARI
KAYNAKSIZ
SENSORLU
KAYNAK START GECIKMESI
###.##
sn.
SOĞUMA ZAMANI
###.##
sn.


SERVO OTOMATİK HIZ
ANA SERVO OTOMATİK HIZ
###
d/dk
SERVO-1 OTOMATİK HIZ
###
d/dk
SERVO-2 OTOMATİK HIZ
###
d/dk
KALIP-1 ve KALIP-2 ARASI MESAFE
####.#
mm.


ÖĞRETİLEN PROGRAM
1234
NOLU REÇETEYE
KAYDEDİLİYOR!!!

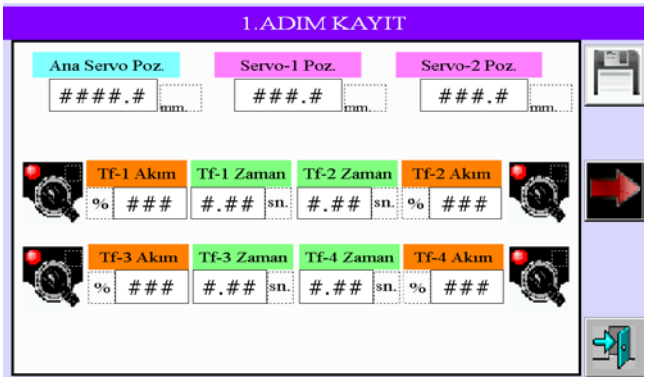

ACİL STOP
BASILI!!!

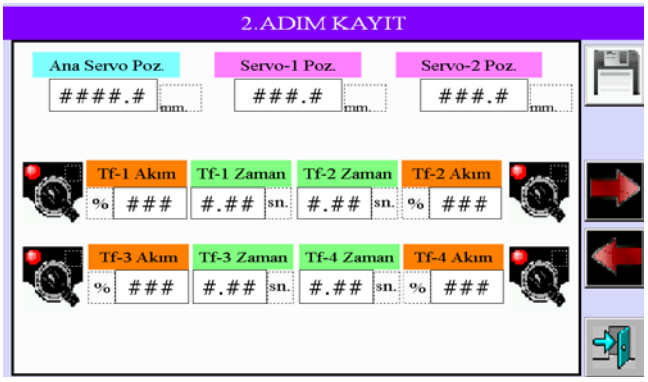

MANUEL KAYNAK SAYFASI
TRAFO-4 PİSTON OFF
TRAFO-2 PİSTON OFF
TRAFO-1 PİSTON OFF
TRAFO-3 PİSTON OFF
MANUEL KAYNAK ZAMANI
###.##
sn.
MANUEL KAYNAK AKIMI
###

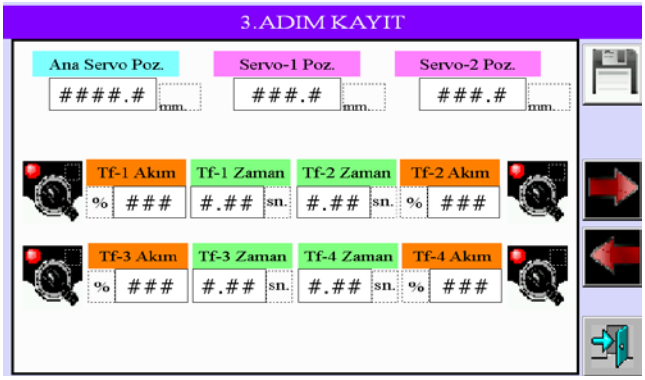

REÇETE
KAYIT NO:
####
KAYIT ADI:
****

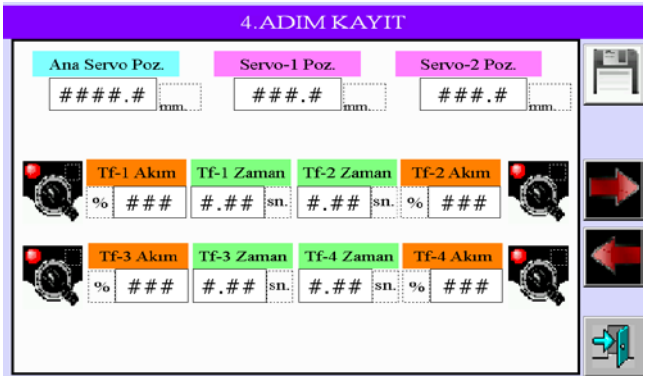

KAYIT NO:
####
KAYDET

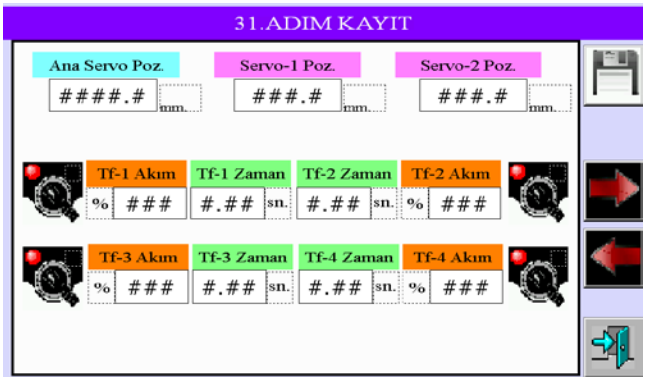

ÖĞRETİLEN PROGRAMI
KAYIT NO:
####
KAYIT ADI:
****
KAYDET

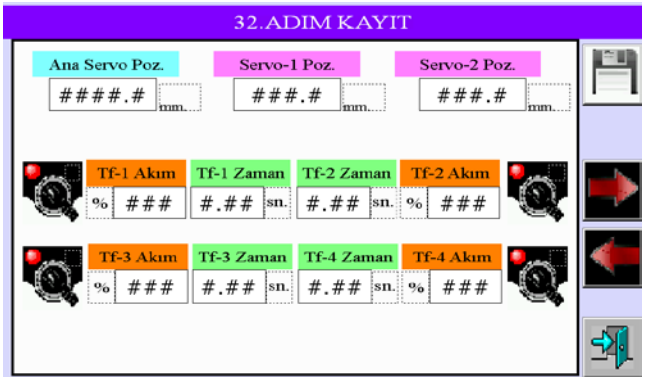

1.ADIM KAYIT
Ana Servo Poz.
Servo-1 Poz.
Servo-2 Poz.
####.# mm.
###.# mm.
###.# mm.
Tf-1 Akım
Tf-1 Zaman
Tf-2 Zaman
Tf-2 Akım
% ### #.## sn. #.## sn. % ###
Tf-3 Akım
Tf-3 Zaman
Tf-4 Zaman
Tf-4 Akım
% ### #.## sn. #.## sn. % ###

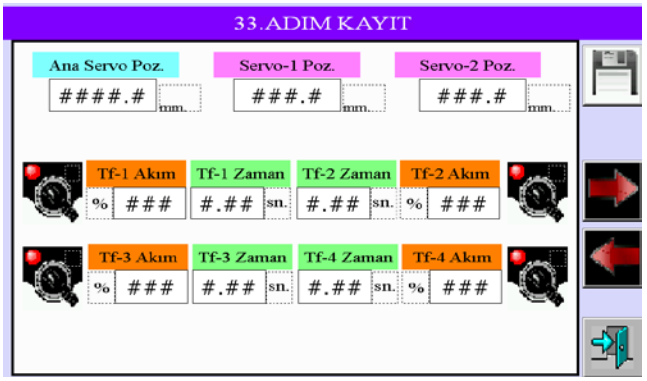

2.ADIM KAYIT
Ana Servo Poz.
Servo-1 Poz.
Servo-2 Poz.
####.# mm.
###.# mm.
###.# mm.
Tf-1 Akım
Tf-1 Zaman
Tf-2 Zaman
Tf-2 Akım
% ### #.## sn. #.## sn. % ###
Tf-3 Akım
Tf-3 Zaman
Tf-4 Zaman
Tf-4 Akım
% ### #.## sn. #.## sn. % ###

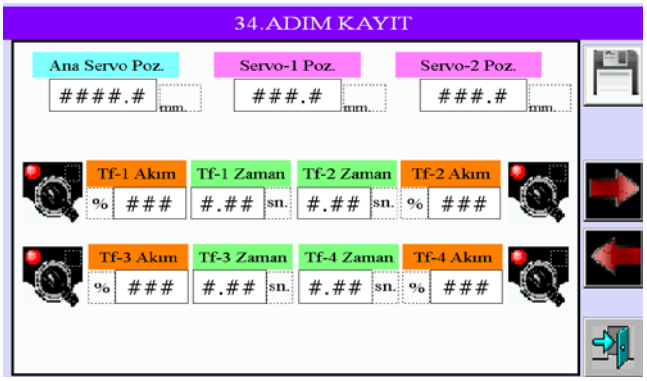

3.ADIM KAYIT
Ana Servo Poz.
Servo-1 Poz.
Servo-2 Poz.
####.# mm.
###.# mm.
###.# mm.
Tf-1 Akım
Tf-1 Zaman
Tf-2 Zaman
Tf-2 Akım
% ### #.## sn. #.## sn. % ###
Tf-3 Akım
Tf-3 Zaman
Tf-4 Zaman
Tf-4 Akım
% ### #.## sn. #.## sn. % ###


4.ADIM KAYIT
Ana Servo Poz.
Servo-1 Poz.
Servo-2 Poz.
####.# mm.
###.# mm.
###.# mm.
Tf-1 Akım
Tf-1 Zaman
Tf-2 Zaman
Tf-2 Akım
% ### #.## sn. #.## sn. % ###
Tf-3 Akım
Tf-3 Zaman
Tf-4 Zaman
Tf-4 Akım
% ### #.## sn. #.## sn. % ###


31.ADIM KAYIT
Ana Servo Poz.
Servo-1 Poz.
Servo-2 Poz.
####.# mm.
###.# mm.
###.# mm.
Tf-1 Akım
Tf-1 Zaman
Tf-2 Zaman
Tf-2 Akım
% ### #.## sn. #.## sn. % ###
Tf-3 Akım
Tf-3 Zaman
Tf-4 Zaman
Tf-4 Akım
% ### #.## sn. #.## sn. % ###


32.ADIM KAYIT
Ana Servo Poz.
Servo-1 Poz.
Servo-2 Poz.
####.# mm.
###.# mm.
###.# mm.
Tf-1 Akım
Tf-1 Zaman
Tf-2 Zaman
Tf-2 Akım
% ### #.## sn. #.## sn. % ###
Tf-3 Akım
Tf-3 Zaman
Tf-4 Zaman
Tf-4 Akım
% ### #.## sn. #.## sn. % ###


33.ADIM KAYIT
Ana Servo Poz.
Servo-1 Poz.
Servo-2 Poz.
####.# mm.
###.# mm.
###.# mm.
Tf-1 Akım
Tf-1 Zaman
Tf-2 Zaman
Tf-2 Akım
% ### #.## sn. #.## sn. % ###
Tf-3 Akım
Tf-3 Zaman
Tf-4 Zaman
Tf-4 Akım
% ### #.## sn. #.## sn. % ###


34.ADIM KAYIT
Ana Servo Poz.
Servo-1 Poz.
Servo-2 Poz.
####.# mm.
###.# mm.
###.# mm.
Tf-1 Akım
Tf-1 Zaman
Tf-2 Zaman
Tf-2 Akım
% ### #.## sn. #.## sn. % ###
Tf-3 Akım
Tf-3 Zaman
Tf-4 Zaman
Tf-4 Akım
% ### #.## sn. #.## sn. % ###

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER



Adı Soyadı : Yasin ALTUN
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : KONYA – 28.01.1988
Telefon : 0 555 572 28 75
e-mail : ysnaltn@gmail.com

EĞİTİM

Derece		Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	:	Meram Konya Lisesi *(YDA)*, Meram, Konya	2006
Üniversite	:	SÜ, MMF, Elk.-Elt. Müh., Selçuklu, Konya	2010
Yüksek Lisans	:	SÜ, FBE, Elk.-Elt. Müh. ABD, Selçuklu, Konya	(…)

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
10.2010-01.2011	POLMOT Dalgıç Motor Mak.	İşletme Elk. Müh.
02.2011-09.2011	Özsamur Elektronik ve Otomasyon	Otomasyon Müh.

UZMANLIK ALANI : Elektrik Makinaları-Endüstriyel Otomasyon ve Kontrol Sistemleri

İLGİ ALANLARI : Elektrik Makinaları, Otomatik Kontrol, End. Otomasyon, Enstrümantasyon, SCADA Yapıları, Servo Sistemler.

YABANCI DİLLER : İngilizce

AKADEMİK ÇALIŞMALARI:

- **Yasin ALTUN**, Muciz ÖZCAN, "*Ütü Masası İmalatında Kullanılan Nokta Direnç Kaynak Manipülatörün Tasarım ve İmalatı*", ELECO 2012, Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Ulusal Sempozyumu, Bursa, Aralık-2012. (İnceleniyor.)
- **Yasin ALTUN**, Muciz ÖZCAN, "*Ütü Masası Üretiminde Kullanılan Elektrik Direnç Nokta Kaynak Makinesi Tasarım Parametrelerinin Tespiti*", SDÜ-Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, Ağustos-2012. (İnceleniyor.)
- **Yasin ALTUN**, "*Servo Kontrol Sistemler ve Endüstriyel Uygulamaları*", Yüksek Lisans Seminer Tezi, Danışman: Muciz ÖZCAN, SÜ, FBE, Elek. - Elektro. Müh. ABD, Konya, Aralık, 2011.
- **Yasin ALTUN**, Osman BİLGİN, "*PLC Kontrollü Bir Asansörün SCADA ile İzlenmesi ve Arıza Takibi*", Otomasyon Dergisi, Mart-2011.
- Osman BİLGİN, **Yasin ALTUN**, Mümtaz MUTLUER, "*PLC ile Kontrol Edilen Bir Asansörün SCADA ile İzlenmesi ve Arıza Takibi*", ELECO 2010, Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Ulusal Sempozyumu, Bursa, Aralık-2010.
- **Yasin ALTUN**, "*PLC ile Kontrol Edilen Bir Asansörün SCADA ile İzlenmesi ve Arıza Takibi*" , Lisans Bitirme Tezi, Danışman: Osman BİLGİN, SÜ, MMF, Elek. - Elektro. Müh. Böl., Konya, Haziran-2010.