İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

1600kW, 6300V SENKRON MOTOR UYARTIM SİSTEMİNİN PLC İLE GERÇEKLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Müh. Okan KURTKAYA

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 12 Eylül 2006

Tezin Savunulduğu Tarih : 08 Kasım 2006

Tez Danışmanı : Prof.Dr. Hasan DAĞ

Diğer Jüri Üyeleri Doç.Dr. Salman KURTULAN

Yrd.Doç.Dr. Lale TÜKENMEZ ERGENE

ARALIK 2006

ÖNSÖZ

Tasarımını yapmış olduğum ve üretiminde bulunduğum, senkron motor uyartım sisteminde, tasarım aşamasında sayın Vedat BARUH ve Vehbi BÖLAT, devreye alma esnasında İSDEMİR çalışanlarından sayın Ömer Hayyam ÖZGÜVEN ve Ahmet ASLAN, tezin yazım aşamasında ise sayın hocam Prof. Dr. Hasan DAĞ, İlknur ÇOLAK, Ferda ve Oktay KURTKAYA'ya, yaptıkları yardımlardan ve desteklerinden dolayı çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ ii
İÇİNDEKİLER iii
KISALTMALAR vi
TABLO LİSTESİ vii
ŞEKİL LİSTESİ viii
ÖZET xi
SUMMARY xii
1. GİRİŞ 1
1.1 Senkron Makinelerin Türleri 2
1.1.1 Yuvarlak Kutuplu Senkron Makineler 2
1.1.2 Çıkık Kutuplu Senkron Makineler 3
2. SENKRON MOTORLARA YOL VERME YÖNTEMLERİ 4
2.1 Yardımcı Motor ile Yol Verme 4
2.2 Senkron Yol Verme 4
2.3 Asenkron Yol Verme 5
2.3.1 Amortisör Sargıları 5
2.3.2 Deşarj Direnci 7
2.3.3 Kilitlenme Momenti 8
2.3.4 Devrilme Momenti 9
2.3.5 Relüktans Momenti 10
2.3.6 Asenkron Yol Verme Düzeneği 11
3. PLC TEMELLERİ 12
3.1 Temel PLC Modülleri 13
3.1.1 RACK, Montaj Kartı 13
3.1.2 CPU, Merkezi Kontrol Birimi 13

3.1.3 Dijital Giriş Modülü 14
3.1.4 Dijital Çıkış Modülü 15
3.1.5 Analog Giriş Modülü 15
3.1.6 Analog Çıkış Modülü 16
3.2 Sistemin Tasarlanması 17
3.2.1 Giriş ve Çıkışların Belirlenmesi 17
3.2.2 Modüllerin Belirlenmesi 20
3.2.3 CPU Seçimi 20
3.2.4 Giriş ve Çıkış Adreslerinin Belirlenmesi 21
3.3 PLC Programlama 23
3.3.1 Sistemin Programlanması 23
3.3.1.1 Korumaların Programlanması 23
4. GERÇEKLEŞTİRİLEN SENKRON MOTOR UYARTIM SİSTEMİ 30
4.1 Uyartım Sistemi Giriş 30
4.1.1 Güç Devresi 30
4.1.2 R_D, Deşarj (Yol Verme) Direnci 32
4.1.3 Stabilitron (Crowbar) Devresi 33
4.1.4 Arabirim Kartı 35
4.1.5 Doğrultucu Bloğu 37
4.1.6 Tutma (Hold) Direnci 39
4.1.7 Şönt Direnç 40
4.1.8 Kontrol Devresi 41
4.2 Korumalar 42
4.2.1 İzolasyon Direnci Koruması 42
4.2.2 Düşük Stator Gerilimi Koruması 43
4.2.3 Düşük ve Yüksek Giriş Gerilimi Koruması 43
4.2.4 Aşırı Akım Koruması 44
4.2.5 Asenkron Gecikme Koruması 45
4.2.6 Tristör Sıcaklığı Koruması 45

4.2.7 Kalkışta Gecikme Koruması 45
4.2.8 Uyarma Akım Koruması 45
4.2.9 İkaz Güçlendirme Koruması 45
4.3 Senkron Motor Uyartım Panosu 46
4.3.1 Operatör Paneli 47
4.3.2 Klima 48
4.3.3 Osilograf Çıktısı 49
5. SONUÇLAR 51
KAYNAKLAR 52
ÖZGEÇMİŞ 53

KISALTMALAR

MMF : Manyetomotor kuvvet

EMF : Elektromotor kuvveti

AC : Alternatif akım

DC : Doğru akım

PLC : Programmable Logic Controller

$\mathbf{A_{dc}}$: Doğru Akım

$\mathbf{V_{dc}}$: Doğru Gerilim

$\mathbf{A_{ac}}$: Alternatif Akım

$\mathbf{V_{ac}}$: Alternatif Gerilim

CPU : Central Processing Unit

TABLO LİSTESİ

Tablo 3.1: Dijital Giriş Adresleri 22

Tablo 3.2: Analog Giriş Adresleri 22

Tablo 3.3: Dijital Çıkış Adresleri 23

Tablo 3.4: Analog Çıkış Adresleri 23

Tablo 3.5: Diğer Adresler 23

Tablo 4.1: Arabirim Kartı Lineer Frekans-Gerilim Değerleri 36

Tablo 4.2: Senkron Motor Uyartım Panosu Özellikleri 47

Tablo 4.3: Operatör Paneli Parametre Ayarları 47

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1: 6300V, 1600kW Senkron Motor 1
Şekil 1.2: Senkron motorun ideal hız-moment grafiği 2
Şekil 1.3: Yuvarlak kutuplu senkron makine 3
Şekil 1.4: Çıkık kutuplu senkron makine 3
Şekil 2.1: Senkron motora yardımcı motor ile yol verme 4
Şekil 2.2: Doğrudan frekans dönüştürücü (cycloconverter) 5
Şekil 2.3: Senkron motorun pratik hız-moment grafiği 6
Şekil 2.4: Deşarj direncine göre kalkış momentinin değişimi 8
Şekil 2.5: Motor yüksüzken stator ve rotor kutuplarının pozisyonları [2] 9
Şekil 2.6: Motor yüklüyken stator ve rotor kutuplarının pozisyonları [2] 10
Şekil 2.7: Tipik asenkron yol verme düzeneği 11
Şekil 3.1: Tipik bir 8 kanallı dijital giriş bağlantısı 14
Şekil 3.2: Tipik bir 8 kanallı dijital çıkış bağlantısı 15
Şekil 3.3: Tipik bir 4 kanallı analog giriş bağlantısı 16
Şekil 3.4: Tipik bir 4 kanallı analog çıkış bağlantısı 17
Şekil 3.5: PLC Konfigürasyonu 21
Şekil 3.6: Herhangi bir alarm var program satırı 24
Şekil 3.7: Herhangi bir arıza var program satırı 25
Şekil 3.8: Arıza durumunda sistemi durdurma satırı 26
Şekil 3.9: Aşırı Akım Alarm Program Bloğu 26
Şekil 3.10: Sistemin otomatik çalışma durumu program satırları 29
Şekil 4.1: Senkron Motor İkaz Panosu Prensip Şeması 31
Şekil 4.2: Güç devresi prensip şeması 32
Şekil 4.3: Stabilitron devre bağlantıları 33
Şekil 4.4: Stabilitron devresi dalga şekillerine örnek 34

Şekil 4.5: Gerçekleştirilen stabilitron devresi 35
Şekil 4.6: Arabirim kartı prensip şeması 35
Şekil 4.7: Gerçekleştirilen arabirim kartı 36
Şekil 4.8: Doğrultucu bloğunun fotoğrafı 37
Şekil 4.9: Enerpro kartı giriş/çıkış diyagramı 38
Şekil 4.10: Faz kontrollü doğrultucu çıkışları [5] 38
Şekil 4.11: Enerpro tristör tetikleme kartı 39
Şekil 4.12: Tutma dirençleri 40
Şekil 4.13: Şönt direnç ve doğru gerilim barası 40
Şekil 4.14: Kontrol sistemi blok şeması 41
Şekil 4.15: İzolasyon Direnci Rölesi çalışma şekli 42
Şekil 4.16: Düşük Gerilim Rölesi çalışma şekli 43
Şekil 4.17: Düşük ve Yüksek Gerilim Rölesi çalışma şekli 44
Şekil 4.18: Gerçekleştirilen Uyartım Sistemi Panosu 46
Şekil 4.19: Operatör Ekranı 48
Şekil 4.20: Klima ve pano içi hava dolaşımı 48
Şekil 4.21: Senkron motora yol verme esnasındaki osilograf çıktısı 50

SEMBOL LİSTESİ

$\mathbf{R_D}$	: Deşarj (Yol Verme) Direnci
$\mathbf{R_{SONT}}$	: Şönt Direnç
n	: Senkron Hız (devir/dakika)
f	: Şebeke Frekansı (Hz)
2p	: Rotor kutup sayısı
α	: Rotor mekanik açısı

1600kW, 6300V SENKRON MOTOR UYARTIM SİSTEMİNİN PLC İLE GERÇEKLENMESİ

ÖZET

Günümüzde senkron motorlar, sabit hız ve moment gerektiren uygulamalarda, çimento, maden, arıtma, kağıt sektörlerinde; değirmen, pompa, kompresör motoru olarak sıkça kullanılmaktadır.

Bu bağlamda, İskenderun Demir ve Çelik İşletmesinde, deniz suyunu üç km uzaklıktaki tesislere pompalayan motorların uyartım sistemlerinin revizyonu yapılmıştır. İki adet 1600kW gücünde, çıkık kutuplu, amortisör sargılı bu motorlar için, 11kW gücünde, $50V_{dc}$, $220A_{dc}$ uyartım panosu tasarlanıp, üretilmiştir. İşletmenin kalbi sayılan deniz suyu pompa istasyonunda, cihazların korumalarına diğer motor tiplerine oranla daha dikkat edilmesi gerektiğinden oldukça önem verilmiş, uzun süreli çalışmalar için gerekli önlemler koruma devreleri ile alınmıştır.

Birinci bölümde, senkron makinelerle ilgili genel bilgi verilmiştir. Makine tipleri yuvarlak rotorlu ve çıkık kutuplu olarak incelenmiştir.

İkinci bölümde, senkron motorlara yol verme yöntemleri incelenmiş, özellikle asenkron yol verme üzerinde durulmuştur. Tezin ana konusu olan asenkron yol verme, basit, ucuz ve en uygun momentin sağlanmasından dolayı endüstride oldukça sık kullanılmaktadır.

Üçüncü bölümde, otomasyon kontrol sistemi kurulumu, elemanlarının seçimi ve PLC ile ilgili temel bilgiler verilmiştir.

Dördüncü bölümde, gerçekleştirilen uyartım sistemi anlatılmış, tasarımı, uygulaması, eleman seçimleri incelenmiştir.

1600 kW, 6300 V SYNCHRONOUS MOTOR STATIC EXCITER USING PLC

SUMMARY

Synchronous motors are frequently used in constant speed and torque application like as cement, mining, pulp and paper industries as mill, pump, or compressor motor.

In 2003, in the İskenderun Iron and Steel Company, Sea Water Pump Facility, two of the pump motor exciters were modernized, which pump the sea water three km away from the shore. For the 1600kW salient pole synchronous motor with damper windings, two 11kW, 50V dc, 220A dc static exciters were designed and produced. For this pump motor exciters, for continous operation of motors, the protection is very important, which is located at the heart of the Iron and Steel Facility.

In the first chapter of this these, general information about synchronous machine is given. Machines are specified as round or salient pole rotor.

In the second chapter, starting methods of the synchronous motors are analized. Especially asynchronous starting of synchronous motors is explained. This method, which is the main concept of the thesis, is frequently used in the industry.

Third chapter installation of an automation system is studied and explained the fundamental component selection and PLC modules.

In the last chapter, the design and realizing of the static exciter are explained and the main parts are shown with photographs and diagrams.

1. GİRİŞ

Senkron motorlar, sabit hız ve moment ile çalışabilmeleri nedeniyle pek çok endüstriyel uygulamada kullanım alanı bulabilmektedirler. Bunun yanı sıra senkron motorların uyarma akım genliği kontrol edilerek endüktif karakterdeki yüklerin şebekeden çektiği reaktif güç, dinamik olarak kompanze edilebilmektedir.



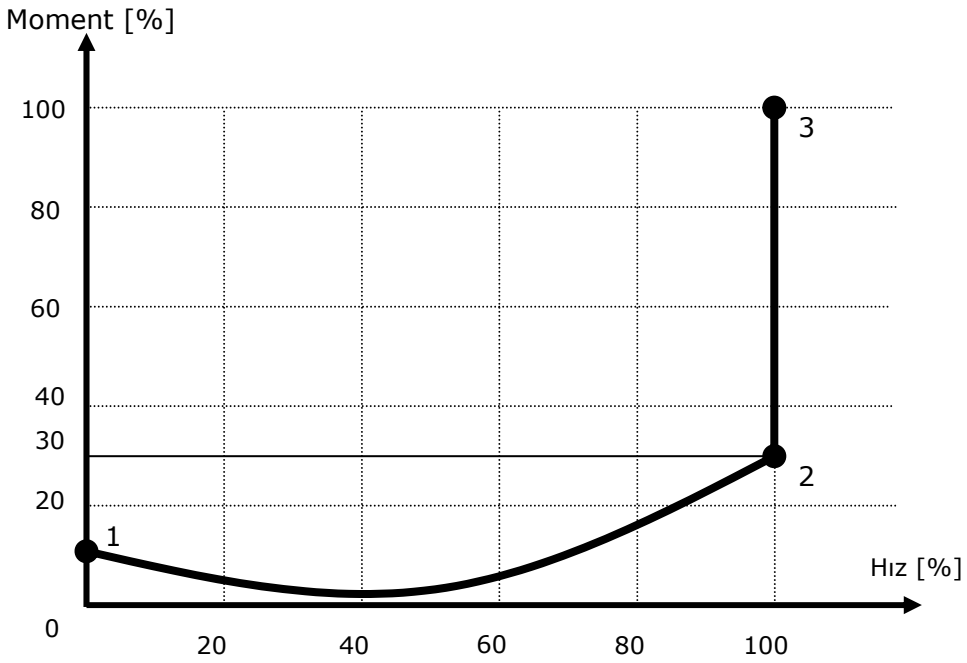
Şekil 1.1: 6300V, 1600kW Senkron Motor

Senkron motorlar yüksek güçlü uygulamalarda tipik olarak 150kW ile 60MW güç aralığında ve 150 dev./dak. ile 1800 dev./dak. aralığında üretilirler. Kullanım alanları, genellikle ağır sanayi olmakla birlikte, çimento, pompa, kompresör, gemi motoru, değirmen, v.b. gibi uygulamalarda sıkça kullanılırlar. [2]

Senkron motorların enerji dönüşümünü sağlayabilmeleri için senkron hızda dönmeleri gerekmektedir. Ayrıca senkron motorların çıkışından nominal moment değeri sadece motor senkron hızdayken sağlanmaktadır. Senkron hız giriş gerilimine ve yüke bağlı değildir. [1]

$$n = \frac{60 \times f}{p} \quad \text{dev/dak.} \tag{1.1}$$

Senkron makinelerin dezavantajları, uyartım sistemine ihtiyaç duymaları ve istenen momentin ancak senkron hızda sağlanabilmesidir. Frekans kontrolü ile hız ayarı yapılması mümkün olsa dahi, bu uygulama pahalı bir çözümdür. Gelişen teknoloji ile fırçalı uyartım sistemleri yerini fırçasız, sabit mıknatıslı senkron makinelere bırakmaktadır.



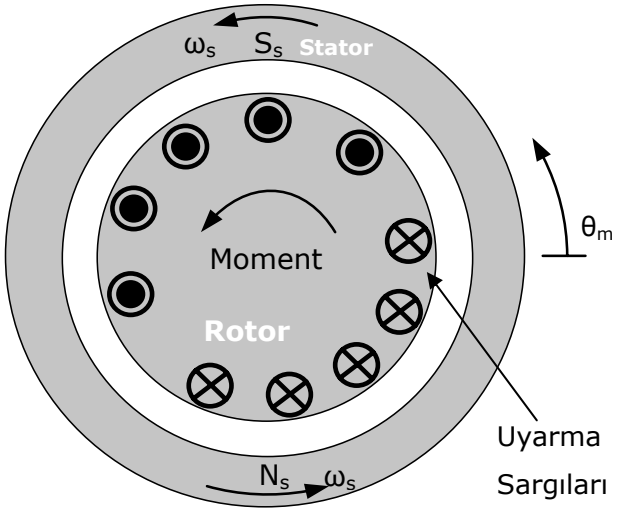
Şekil 1.2: Senkron motorun ideal hız-moment grafiği

1.1 Senkron Makinelerin Türleri

Senkron makineler, rotor dış çevrelerinin şekline göre iki türe ayrılabilir. Bu sınıflandırmaya göre senkron makinelerin hızları, büyüklükleri ve kullanım alanları farklılık kazanmaktadır.

1.1.1 Yuvarlak Kutuplu Senkron Makineler

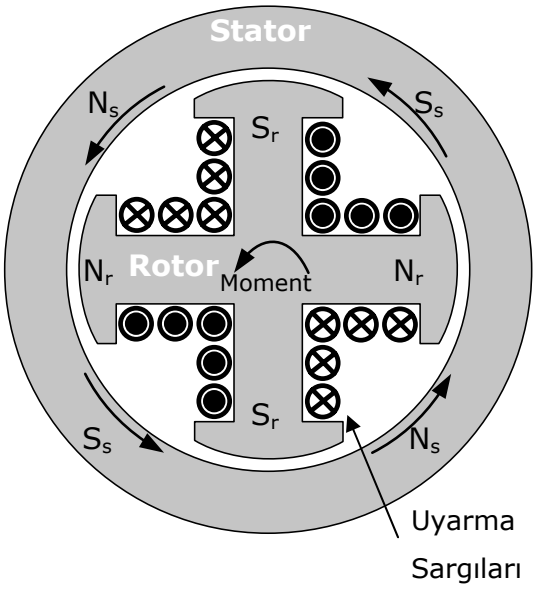
Yuvarlak kutuplu senkron makinelerin stator ile rotor arasındaki hava aralığı sabittir ve bu makinelerin rotor dış çevresi düzgündür. Bu tip makinelerin genellikle kutup sayıları azdır. Rotor ve stator çapları küçük yapılır. Bu nedenle dönüş hızları yüksektir. Yuvarlak kutuplu senkron makineler yüksek hızlara çıkabildiği için genellikle turbo generatör olarak kullanılırlar. [1]



Şekil 1.3: Yuvarlak kutuplu senkron makine

1.1.2 Çıkık Kutuplu Senkron Makineler

Çıkık kutuplu senkron makineler, stator iç çevresi düzgün, fakat rotor dış çevresi bombeli olan makinelerdir. Bu yapıları nedeniyle stator ile rotor arasındaki hava aralığı sabit değildir. Bu tip makinelerin genellikle kutup sayıları yüksek olur. Bu nedenle çıkık kutuplu senkron makinelerin dönüş hızları düşük olur ve rotor ve stator çapları büyük olarak üretilirler. [1]



Şekil 1.4: Çıkık kutuplu senkron makine

2. SENKRON MOTORLARA YOL VERME YÖNTEMLERİ

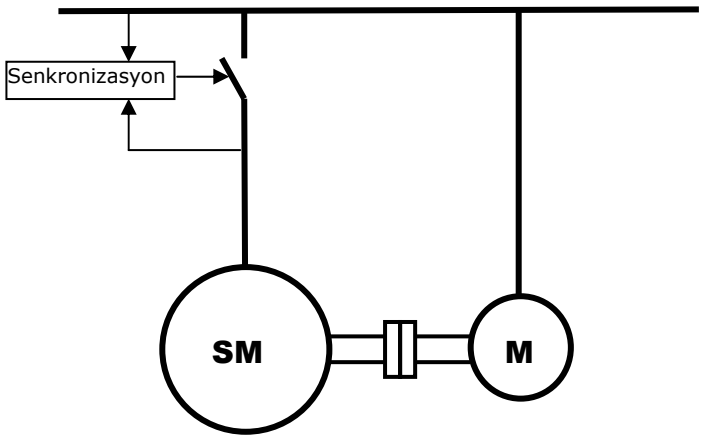
Temel olarak senkron motorlara üç çeşit yol verme yöntemi vardır;

- Yardımcı motorla yol verme
- Senkron yol verme
- Asenkron yol verme

Diğer yöntemler bunların alt başlıkları olarak aynı mantıkla uygulanırlar.

2.1 Yardımcı Motor ile Yol Verme

Bu yöntem genellikle amortisör sargısı bulunmayan senkron motorlarda kullanılır. Senkron motor, bir asenkron motor yardımıyla senkron hız yakınlarına kadar ivmelendirilir. Daha sonra, uyarma sargılarına doğru gerilim uygulanır ve senkronizasyon ile stator sargıları şebekeye bağlanır.

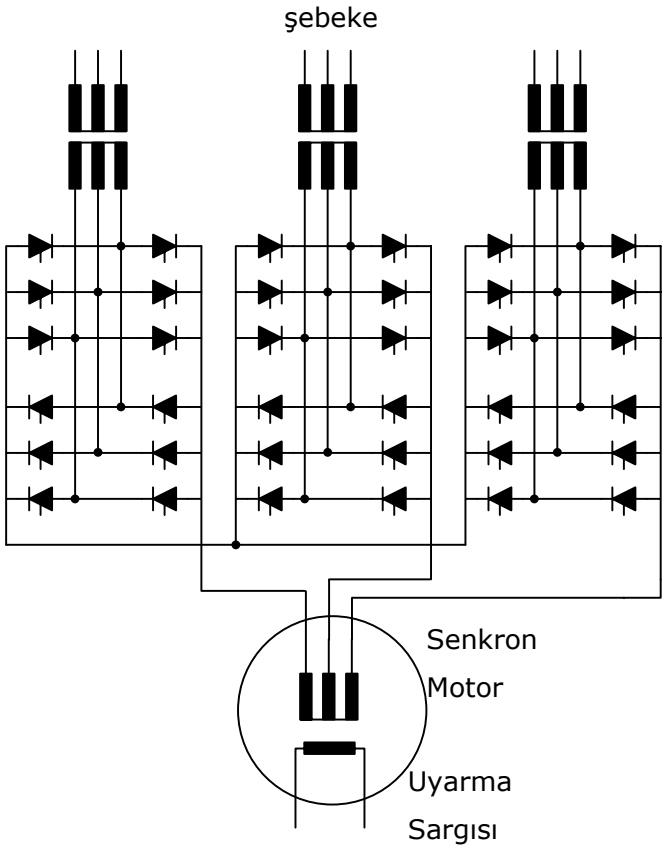


Şekil 2.1: Senkron motora yardımcı motor ile yol verme

2.2 Senkron Yol Verme

Senkron yol verme metodunda önce motorun uyarma sargısına doğru gerilim uygulanır, ardından motorun stator sargısına, nominal frekansın çok altında düşük bir gerilim uygulanarak motora senkron hızda yol verilir. Motorun besleme gerilimi ve frekansı düzenli olarak arttırıldığında, motorun hızı ve döndürme momenti de bu oranda artar. Motor, besleme geriliminin frekansına karşılık gelen senkron hıza ulaşınca şebekeye bağlanır.

Günümüzde motora senkron yol verme uygulaması için gerilim veya akım ara devreli ya da doğrudan frekans dönüştürücü devreler kullanılmaktadır. Besleme geriliminin genlik ve frekans ayarı geniş bir aralıkta kolayca yapılabilmektedir. Senkron motora, darbe genlik modülasyonu ya da genişlik modülasyonu kullanılarak, U/f oranı yöntemi ile yol verilir.



Şekil 2.2: Doğrudan frekans dönüştürücü (cycloconverter)

2.3 Asenkron Yol Verme

Asenkron yol verme metodu günümüzde en çok kullanılan ve uygulaması en basit olan yöntemdir. Genellikle amortisör sargılı çıkık kutuplu senkron motorlarda kullanılır.

2.3.1 Amortisör Sargıları

Bir senkron motor, 3 fazlı şebekeye bağlandığında kendiliğinden yol alamaz. Bu nedenle senkron motorların rotorunda asenkron motorlarda olduğu gibi sincap kafesli baralar kullanılmıştır. Stator tarafından endüklenen sincap kafesli baralar, rotor üzerinde ivmelenen bir moment oluştururlar. Bu endüklenme sonucunda oluşan

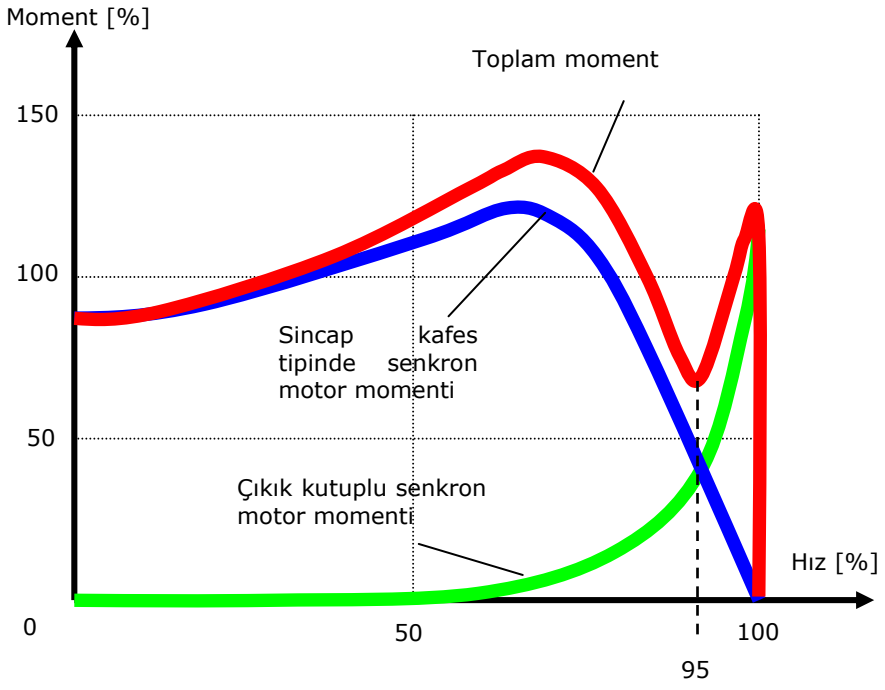
sayesinde senkron motorlar, asenkron olarak yol alırlar. Bu tip rotor sargıları, damper ya da amortisör sargıları olarak adlandırılırlar.

Bu sargıların diğer bir özelliği ise; motorun senkron hıza ulaşmasından sonra güç açısı osilasyonlarını söndürmeleridir. Asenkron motorun tersine, normal çalışma durumunda, yani senkron hızda bu sargılardan akım akmaz ve her hangi bir moment üretilmez. [2, 3]

Motor senkron hıza yaklaştığında (yaklaşık olarak %95 hızında), rotor sargılarına doğru gerilim uygulanır. Bu akımla birlikte, rotorda sabit olarak N ve S kutupları oluşur. Bu döner mıknatısların meydana gelmesiyle, rotor senkron hızda dönmeye başlar ve stator döner alanına kilitlenir. [3, 4]

Senkron hızdaki moment, stator sargılarındaki alternatif akımların rotor üzerinde oluşturduğu döner alan ile rotordaki doğru akımla uyarılan sargıların oluşturduğu DC manyetik alandan türer.

Senkron motor çalışma esnasında iki tip moment karakteristiği gösterir. Birincisi; kalkış anında damper sargılarından dolayı oluşan ve kaymaya bağlı olarak değişen asenkron moment, ikincisi ise; senkron motorun çıkık kutuplu yapısından dolayı senkron hızda oluşan senkron momenti olarak adlandırılabilir.



Şekil 2.3: Senkron motorun pratik hız-moment grafiği

Kalkış esnasında rotor uyarma sargılarına her hangi bir doğru gerilim uygulanmamalıdır. Eğer motorun uyarma sargılarına doğru gerilim uygulanarak

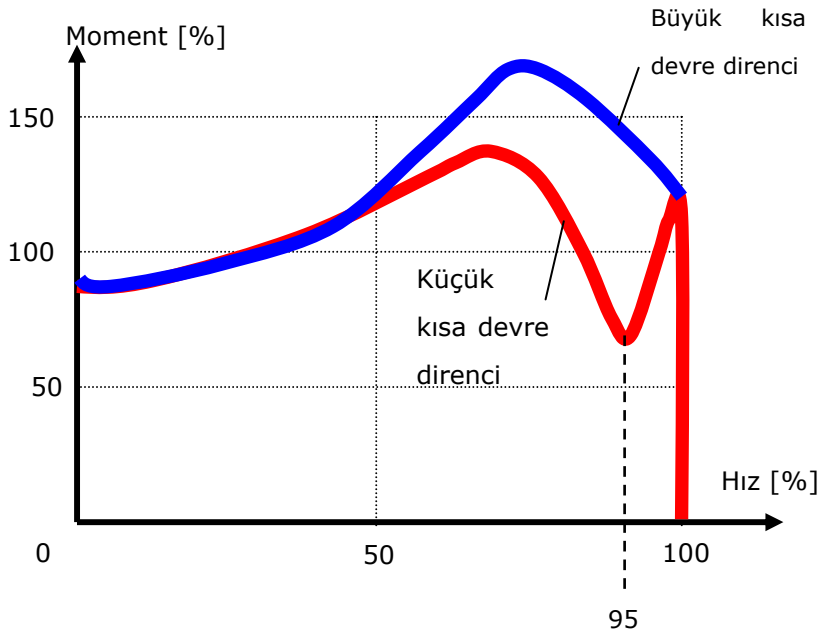
motor kaldırılmaya çalışılırsa, hızlanma olmayacaktır. Bunun yanında kayma frekansından dolayı kalkış esnasında çok yüksek osilasyonlu bir moment bileşeni mevcuttur. Kalkışta motorun uyarma sargılarına doğru gerilim uygulanması motorda hasara da yol açabilir. Bu yüzden uygun zamana kadar beklenmeli ve motor senkron hıza yaklaştığında uyarma sargılarına doğru gerilim verilerek senkronlama sağlanmalıdır. [3]

2.3.2 Deşarj Direnci

Rotor ivmelendikçe, stator tarafından meydana getirilen döner alan yavaş hareket eden çıkık kutupları süpürür. Rotor çıkık kutuplarındaki sarımların çok fazla olmasından dolayı, düşük hızlarda rotor sargısında çok yüksek gerilimler oluşur. Bu yüksek gerilim rotordaki bilezikler üzerinde görülür ve rotor hızlandıkça bu gerilim düşer. Rotor senkron hıza yaklaştığında ise neredeyse söner. Yüksek gerilimi sınırlandırmak ve yol alma momentini arttırmak için, sadece kalkış esnasında, bilezik uçları kısa devre edilir ya da bunlara harici bir direnç bağlanır. [2]

Senkron hıza yakın dönen çıkık kutup momenti, kaymanın ve uyarma sargısı deşarj direncinin bir fonksiyonudur. Kafes sargısı momenti ve çıkık kutup momentinin bileşimi şekil 2.3'te gösterilmiştir.

Deşarj direncinin üst limiti, kalkış esnasında oluşacak yüksek gerilimin güvenilir bir aralıkta kalmasına bağlıdır. Eğer deşarj direncinin değeri arttırılırsa, rotor sargılarında endüklenen yüksek gerilim, izolasyonun delinmesine ya da elektronik elemanların zarar görmesine yol açabilir. Devrede, özellikle yarı iletken kontrol elemanları kullanıldığında, bu gerilimin değeri daha çok önem kazanmaktadır. [3]

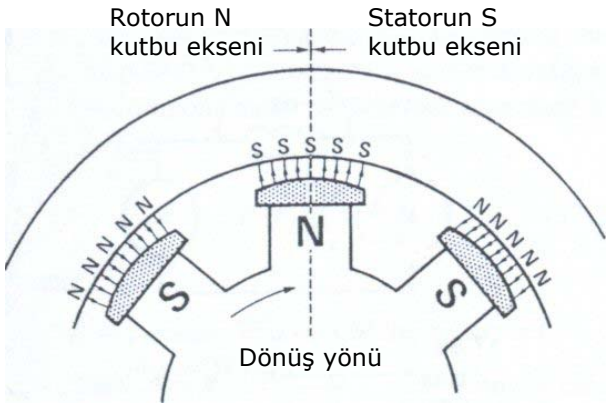


Şekil 2.4: Deşarj direncine göre kalkış momentinin değişimi

Deşarj direnci, yaklaşık olarak uyarma sargı direncinin 7 ile 10 katı aralığında bir değer olarak seçilir. Bu direnç üzerindeki gerilim senkronlama esnasındaki momenti etkiler. Düşük deşarj direnci değeri, düşük gerilim oluşturur, bu da kalkış momentinin düşük olmasını sağlar. Eğer deşarj direncinin değeri arttırılırsa, bu direncin üzerindeki gerilimin değeri de artar. Gerilimin artmasıyla orantılı olarak motorun kalkış momenti de artacaktır (Şekil 2.4). Bu direncin seçimi, meydana getirdiği etki nedeniyle, motor tasarımı, kalkış momenti ve uyarma devresinin tasarımında çok önem kazanmaktadır. [1, 4]

2.3.3 Kilitlenme Momenti

Motor senkron hıza yaklaşınca, rotor doğru akım ile uyarılır. Bununla birlikte rotor etrafında dönen N ve S kutupları oluşur (Bkz. şekil 2.5). Eğer bu esnada rotorda oluşan bu kutuplar, statordaki zıt kutuplar ile karşı karşıya gelirse, aralarında güçlü bir manyetik çekim oluşur. Ortak çekim rotor ve stator kutuplarını birbirlerine kilitler. Böylelikle, rotor da hızla stator döner alanına çekilir ve birlikte aynı hızda dönmeye başlar. Bu anda meydana gelen momente kilitlenme momenti denir.



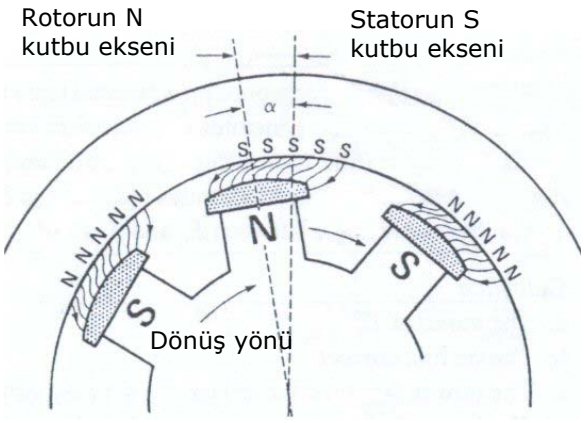
Şekil 2.5: Motor yüksüzken stator ve rotor kutuplarının pozisyonları [2]

Eğer doğru akım uygun zamanda verilirse, senkron motorun kilitleme momenti oldukça güçlüdür. Örneğin, rotorun N ve S kutupları ile statorun N ve S kutupları karşı karşıya gelirse, bu manyetik itici güçten dolayı büyük bir mekanik şok meydana gelir. Bu durumda motor anında yavaşlayacak ve kesiciler açılacaktır. Pratikte, senkron motor yol vericileri anlık momenti algılamalı ve uygun zamanda doğru akım vermelidir.

Motor senkron hızla dönerken, sincap kafes baralarında gerilim indüklenmez ve akım da akmaz. Bu yüzden senkron motorun davranışı, asenkron motora göre çok farklıdır. Basitçe senkron motor döner, çünkü rotor ve statordaki zıt kutuplar birbirini çekerler. [2]

2.3.4 Devrilme Momenti

Motor yüksüzken rotor ve statorun N ve S kutupları karşılıklı olarak uyum içindedir. Eğer motor yüke bindirilirse rotor kutupları stator kutuplarının azıcık gerisinde kalır, fakat senkron hızda dönmeye devam eder. Yük arttıkça rotor kutupları ve stator kutupları arasındaki α açısı da büyür (Bkz. şekil 2.6). Yine de manyetik çekim gücü rotoru stator döner alanına kilitler ve motor daha büyük bir moment üretir.



Şekil 2.6: Motor yüklüyken stator ve rotor kutuplarının pozisyonları [2]

Ancak yükün artmasıyla motorun momentinin artmasının da bir limiti vardır. Eğer mekanik yük belirli bir seviyenin üzerine çıkarsa motorda devrilme momenti (pull-out torque) oluşur, rotor kutupları ile stator kutupları aynı kutba gelir ve motor anında durur. Bu da şebekeden ani ve aşırı akımların çekilmesine sebep olur ve kesiciler açar.

Devrilme momentinin, rotor ve stator kutupları tarafından meydana getirilmesi manyetomotor kuvvet ile bağıntılıdır. Rotor kutuplarının MMF'si rotordaki uyarma akımına bağlıdır. Devrilme momenti yaklaşık olarak nominal momentin 1,5 ile 2,5 katıdır.

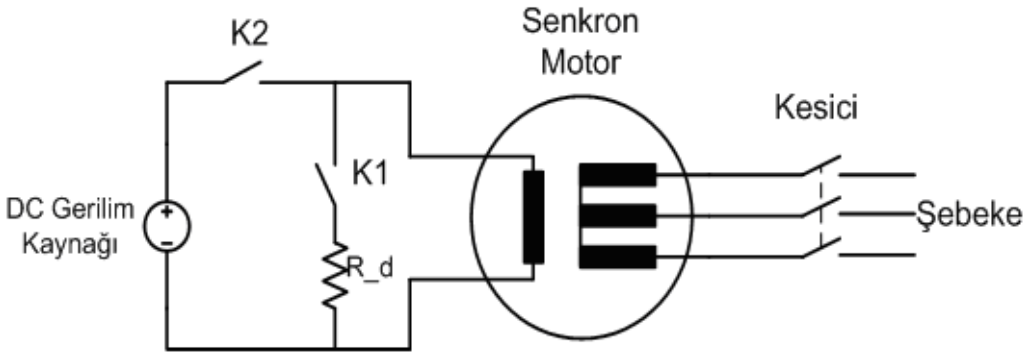
Rotor ve stator kutupları arasındaki α mekanik açısı ile stator hat akımının direkt olarak ilişkisi vardır. Yük arttıkça, açı artar, böylece giriş akımları da artar.

2.3.5 Relüktans Momenti

Motorun uçları yüksüz konumdayken, uyarma akımı düşürülürse, motorun senkron hızda döndüğü görülür. Hatta akım 0A bile olsa motor dönmeye devam eder. Bunun nedeni, stator tarafından oluşturulan akının rotordaki çıkık kutupların neden olduğu en yakın hava aralığından devresini tamamlama isteğidir. Dar hava aralığındaki manyetik devrenin relüktansı küçük olduğundan devre buradan tamamlanır (Bkz. Şekil 2.5). Bu durumdan dolayı relüktans momenti üretilir.

Eğer motora yük bağlanırsa, rotor stator döner alanını geriden takip eder. DC uyarma olmadan yeterli bir relüktans momenti elde edilir. Relüktans momenti rotor kutupları, stator kutuplarının tam ortasına geldiğinde sıfır olur. Bu durumda mekanik moment en yüksek seviyesindedir ($\delta = 90^o$). 45^o ile 90^o arasında kararsız bir bölge bulunmaktadır. Doğru akımla uyartım olmadığında en büyük moment $\delta = 45^o$ iken sağlanır. [2]

2.3.6 Asenkron Yol Verme Düzeneği



Şekil 2.7: Tipik asenkron yol verme düzeneği

Amortisör sargılı senkron motorun stator sargıları kesici ile şebekeye bağlanır. Aynı zamanda K1 kapatılır, K2 açık tutulur. Bu esnada motor asenkron moment ile senkron hızın altına kadar yol alır. Uyarma sargısı üzerinde oluşan kayma frekansı ile değişen alternatif gerilim, kısa devre direnci ile sönümlendirilir. Rotor senkron hıza yaklaştığında, K1 açılır ve K2 kapatılıp, uyarma sargılarına doğru gerilim uygulanır. Motorun normal çalışma rejiminde K2 sürekli kapalı kalmalıdır. Gerekirse verilen akım ayarlanarak, şebekenin güç katsayısı düzeltmesi yapılabilir. [9, 10]

3. PLC TEMELLERİ

Önceleri tamamı analog devreler ile gerçekleştirilen elektronik kontrol sistemlerinin bir süre sonra yetersiz kalması nedeniyle analog sistemlerden dijital sistemlere geçiş başlamıştır. Dijital sistemlerin giderek hızlanması ve bir çok fonksiyonu, analog sistemlere göre daha küçük hacimlerde gerçekleştirebilmeleri, bu sistemlerin endüstrideki kullanım alanlarını genişletmiştir. Fakat esas gelişim, programlanabilir dijital sistemlerin ortaya çıkması ve mikroişlemcili kontrolün aktif kullanıma geçirilmesinin ardından yaşanmıştır. Mikroişlemcili kontrolün, mikroişlemci tabanlı komple sistemlere yerini bırakmak zorunda kalması, Z80 ile aylarca süren tasarlama süresinin yanında, çok sayıda baskı devre yaptırma zorunluluğu ve küçük bir revizyon ihtiyacının dahi ağır bir yük olmasının bir sonucudur. İşte böyle bir arayış noktasında PLC'ler hayata girmeye başlamıştır.

PLC analog-dijital giriş ve çıkış bağlantıları ile bir çok makine ve sistemi kontrol eden ve bu amaçla sayısal işlemleri, zamanlama, sayıcı, veri işleme, karşılaştırma, sıralama, kendi bünyesinde veri transferi ile giriş bilgilerini kullanarak, çıkış ünitelerine atama yapan, giriş/çıkış, bellek, CPU ve programlayıcı bölümlerinden oluşan entegre sistemidir.

PLC programları bilgisayar programlarıyla büyük ölçüde benzerlikler göstermelerine rağmen, yapısal olarak daha farklı oldukları söylenebilir. Günümüzde üretilen PLC'lerde, kumanda devrelerinin gerçeklenmesine ilişkin lojik işlem komutlarından, kontrol algoritmaların yazılmasına ilişkin matematik işlem komutlarına kadar geniş bir komut alanı bulunur.

Bir otomasyon sistemi kurulurken öncelikle kullanılacak olan PLC sistemi üzerinde detaylı bilgi sahibi olmak gerekmektedir. Projede var olan çeşitli saha elemanlarını kontrol etmek üzere, PLC modüllerinin ayrı ayrı özellikleri incelenmeli ve sahaya gönderilecek ve aynı zamanda sahadan alınacak bilgiler hakkında bilgi sahibi olunması gerekmektedir.

PLC'nin temel modülleri; giriş ve çıkış modülleri, merkezi kontrol birimi ve haberleşme birimidir. Ayrıca mühendislik açısından en optimum sistemin kurulması ve PLC'nin işletmede devreye alınması sırasında, mühendislik zamanını düşüren en önemli etkenlerden biridir.

Otomasyon sistemleri tasarlanırken göz önünde bulundurulması gereken bir kaç unsur vardır. Bunlardan en önemlisi giriş ve çıkış bilgilerinin belirlenmesidir. Bu bilgi ışığında modüllerin, merkezi kontrol biriminin, panonun, haberleşmenin ve kablo çeşitlerinin seçimi yapılabilir.

Son olarak da kurulan sistemin bir algoritma çerçevesinde programlanması gerekmektedir. Programlama ile ilgili pek çok metodun mevcut olmasına rağmen, bunlardan en kolayı merdiven mantığı ile programlamadır. Merdiven mantığı ile programlama, tıpkı kumanda devrelerinin tasarlanması şeklinde yapılarak hem görsel olarak anlaşılabilirlik sağlamakta, hem de PLC'nin programlamasını kolaylaştırmaktadır.

3.1 Temel PLC Modülleri

Kullanılan PLC farklı markalarda da olsa, PLC'nin temel modülleri, merkezi kontrol birimi, analog giriş ve çıkış modülleri, dijital giriş ve çıkış modülleri ve bunların üzerine takıldığı rack olarak adlandırılan elektronik kart olarak sayılabilir.

3.1.1 RACK, Montaj Kartı

Montaj kartları, bir ray üzerine oturtulmuş elektronik karttan oluşmaktadır. Bu yapı hem PLC modüllerinin bir arada olmasını, hem de CPU'nun ve diğer kartların birbirleriyle haberleşmesini sağlamaktadır. Ayrıca, bazı modellerde PLC modüllerinin enerjisi de bu kart üzerinden verilebilmektedir.

Kullanılan Allen Bradley marka PLC modülleri için dört tip montaj kartı bulunmaktadır. Bunların tümü aynı özelliklere sahip olup, sadece üzerine takılabilen modül sayısı farklılık göstermektedir. 4, 7, 10 ve 13 adet modül takılabilen tiplerden, bu proje için 7 modüllük olan montaj kartı seçilmiştir.

Montaj kartı ile birlikte ayrıca 220Vac girişli 24Vdc çıkışlı güç kaynağı da kullanılmalıdır. Güç kaynağı seçilirken de kullanılan tüm modüllerin güç harcamalarına dikkat edilmelidir. [11]

3.1.2 CPU, Merkezi Kontrol Birimi

Giriş ve çıkış modüllerinden toplanan bilgiler, CPU tarafından içine yüklenen program aracılığıyla değerlendirilir ve gerekli işlemler yapılır. CPU modülünün seçiminde bir kaç önemli kriter vardır. Bunlar; işlem hızı, program hafızası, kaç giriş/çıkış modülü kontrol edebildiği ve haberleşme yöntemidir.

İşlem hızı, CPU'nun yazılan programın hepsini kaç saniye içinde tamamlayacağını göstermektedir. Genellikle ms mertebesinde bir sürede CPU'lar tüm programı tamamlamaktadır.

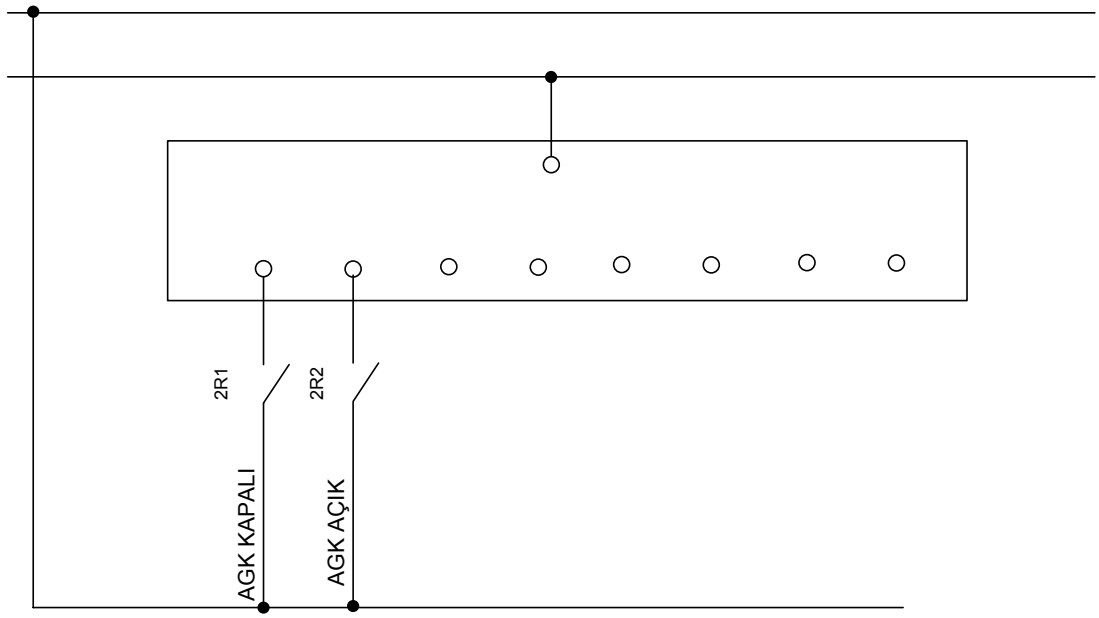
Program hafızası, ne kadar büyüklükte ya da uzunlukta bir program olabileceğini belirler. Hafıza ne kadar büyük olursa o kadar çok satır program yazılabilir ve değişken kullanılabilir. Genellikle, 8 kB ile 64 kB arasındadır.

Her CPU sınırsız sayıda giriş/çıkış modülünü kontrol edemez. Ortalama CPU'lar ortalama 16 ile 128 adet modül kontrol edebilir.

Haberleşme yöntemi ise, CPU'nun nasıl programlanacağı, hangi kullanıcı arabirimlerle nasıl haberleşeceğini belirtir. RS232, RS485, DeviceNET, CanBus, Profibus, Modbus, Ethernet, TCP/IP haberleşme yöntemlerinden bir kaçıdır. [11]

3.1.3 Dijital Giriş Modülü

Adından da anlaşıldığı üzere, dijital bilgilerin PLC tarafından okunduğu modüllerdir. Dijital bir bilgi ya 1 ya da 0'dır. Veya bilgi vardır ya da yoktur, kapı açıktır ya da kapalıdır. Buna benzer bilgiler PLC'ye bu modüller yardımıyla girilir. Örneğin, bir motor çalışıyorsa PLC'ye 1 bilgisi gelir, eğer motor duruyorsa PLC'ye 0 bilgisi gelir. Bu 1 ve 0'lar, genellikle 24Vdc ile sağlanır. Eğer PLC dijital giriş modülü girişinde 24Vdc varsa, PLC bunu 1 olarak kabul eder. Eğer girişte, 0Vdc varsa, bu da 0 olarak kabul edilir.

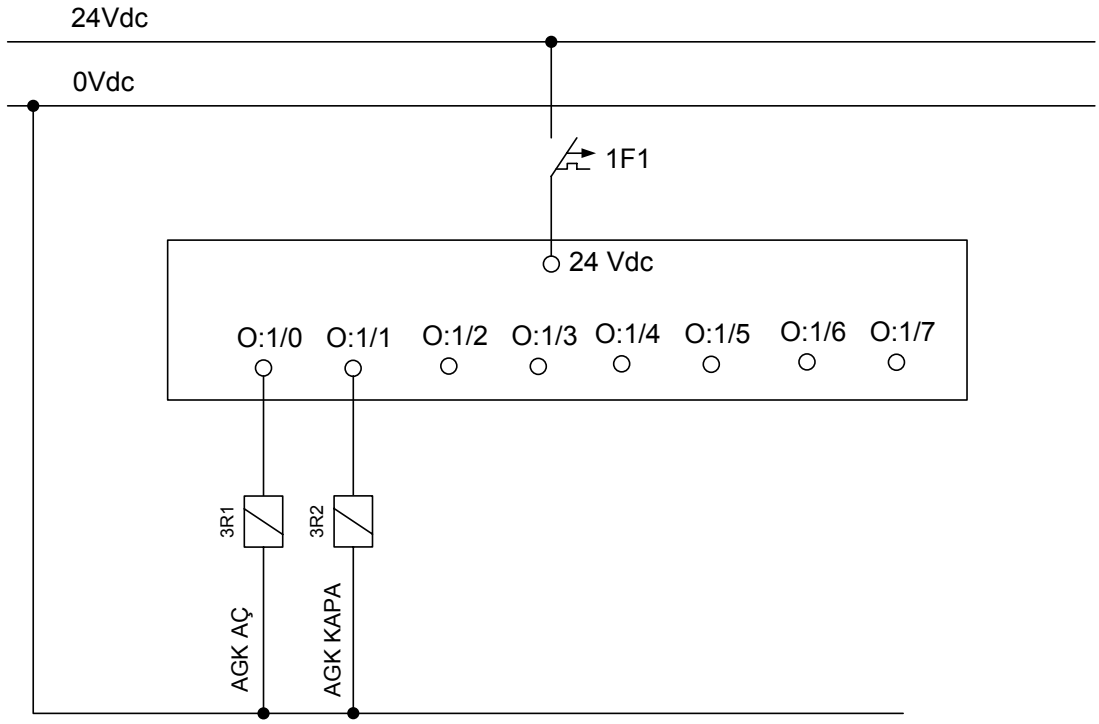


Şekil 3.1: Tipik bir 8 kanallı dijital giriş bağlantısı

Şekil 3.1'de de gösterildiği üzere AGK'nın (Alçak Gerilim Kesicisi) kapalı olma durumu I: 1/0 girişine bilgi olarak verilmektedir. PLC programında I: 1/0 adresi AGK'nın konumuna göre 1 ya da 0 olmaktadır. Aynı şekilde I: 1/1 girişine ise AGK'nın arıza durumu verilmektedir. Eğer AGK her hangi bir durumdan dolayı arızalanırsa 2R2 rölesi çeker ve I: 1/1 adresi 1 olur.

3.1.4 Dijital Çıkış Modülü

Dijital çıkış modüllerinde ise PLC tarafından çıkış olarak 1 ya da 0 değerleri yani 24Vdc ya da 0Vdc çıkış olarak verilir. Bu bilgiler bir röle yardımıyla geri kumanda devresinde kullanılabilir.



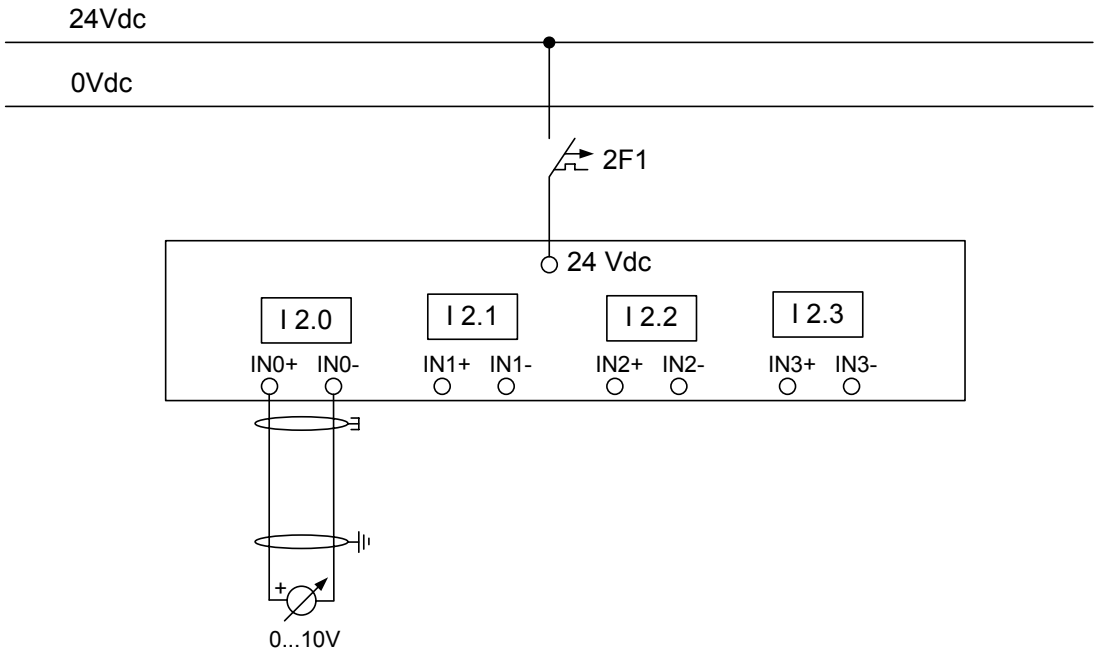
Şekil 3.2: Tipik bir 8 kanallı dijital çıkış bağlantısı

Şekil 3.2'de görüldüğü üzere, PLC dijital çıkış modülü çıkışlarına 24Vdc bobinli röleler bağlanmıştır. Eğer çıkışlar 1 değerini alırsa, modül çıkışına 24Vdc uygulayarak rölenin çekmesini sağlar. PLC programının işleyişine göre O: 1/0 veya O: 1/1 adresleri 1 ya da 0 olmaktadır. Yukarıdaki şekilde, O: 1/0 adresinin 1 olması durumunda 3R1 rölesi çeker ve kesici kesime gider. Eğer O: 1/1 adresi 1 olursa 3R2 rölesi çeker, bu durumda da AGK kapanır ve sisteme enerji verilir.

3.1.5 Analog Giriş Modülü

PLC giriş ve çıkışları sadece dijital işaretlerden oluşmamaktadır. Analog işaretler de analog modüller ile işlenebilmektedir. Örneğin, sıcaklık, seviye, debi, konum, yükseklik, basınç, akım ve gerilim bilgileri bu girişler sayesinde okunabilmekte ve

PLC tarafından işlenebilmektedir. Analog modüller içerisinde analog/dijital ve dijital/analog çeviriciler bulunmaktadır. Analog giriş ve çıkışlar genellikle -10V ile +10V arasında gerilim ile 0 ile 20mA arasında akım işaretleridir. Örneğin, bir sistemde basınç ölçen bir basınç sensörü 0 ile 10 bar arasında çıkışında 0 ile 20mA akım üretmektedir. 16 bitlik bir çeviricide bu bilgi 0 ile 65535 arasında olur. PLC programında işlem yaparken bu tipteki sayı kullanılır.

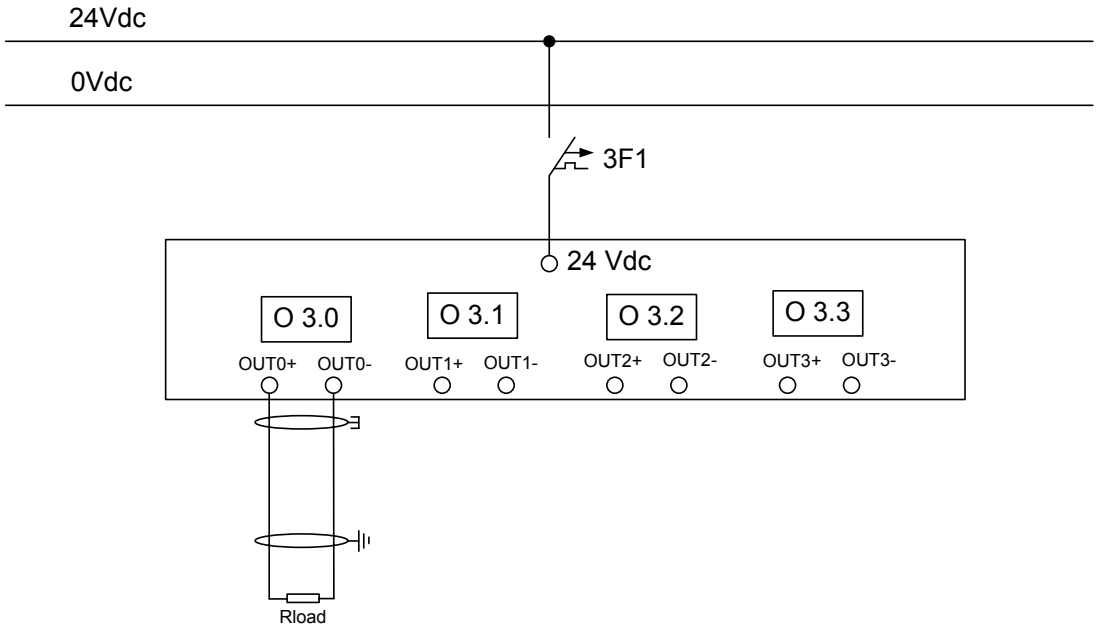


Şekil 3.3: Tipik bir 4 kanallı analog giriş bağlantısı

Şekilde analog giriş modülü 4 kanallıdır. Her bir kanalda iki adet giriş terminali bulunmaktadır. Analog giriş olduğundan terminallerden bir 0 V diğeri ise analog bilgi için kullanılır. Sensör bağlantısı parazitleri önlemek için ekranlı kablo ile yapılır. Kablonun bir tarafı topraklanır, diğer tarafı ise körlenir.

3.1.6 Analog Çıkış Modülü

Analog çıkış modülleri, analog bilgi göndererek bir takım elektronik cihazların set veya referans değerlerini değiştirmede kullanılır. Örneğin bir doğrultucuda tristör tetikleme işaretlerinin referansında kullanılabilir. Ya da frekans konvertörlerinin hız referansı yine analog çıkış modülleri ile verilebilmektedir.



Şekil 3.4: Tipik bir 4 kanallı analog çıkış bağlantısı

Analog çıkış modülü, -10V ile 10V arasında gerilim veya 0 ile 20 mA arasında akım kaynağı olarak kullanılabilir. Yine 16 bitlik bir modül kullanıyorsak, 0 ile 65535 arasında bir değer ile çıkış istenildiği gibi üretilebilir.

3.2 Sistemin Tasarlanması

Bir otomasyon sistemi tasarlanırken aşağıdaki unsurlar göz önüne alınır.

1.) Sistemdeki giriş ve çıkışların belirlenmesi,

2.) Giriş ve çıkışlara göre modüllerin seçilmesi,

3.) Sistemin kontrolü için yeterli bir CPU seçimi,

4.) Otomasyon projesinin oluşturulması ve adreslerin belirlenmesi,

5.) PLC programının yazılması.

3.2.1 Giriş ve Çıkışların Belirlenmesi

Otomasyon projesinde ilk olarak yapılması gereken, projenin büyüklüğünü ve maliyetini çıkartan en önemli adım giriş ve çıkışların belirlenmesidir.

Senkron motor ikaz sistemi ile ilgili aşağıdaki giriş ve çıkışlar belirlenmiştir.

Dijital Girişler:

- **OTOMATİK:** İkaz panosu otomatik durumda senkron motorun kesicisi kapatıldığı anda çalışacak ve tüm işlemleri operatörden bağımsız olarak

yapacaktır. Otomasyonda bir sistemin otomatiğe alınması o işlemin operatörün en az dikkati ile yapılması ve tüm sistemin kontrolünün PLC'ye verilmesi demektir.

- **MANUEL:** İkaz panosunun testi, akım ve gerilim referans değerlerinin operatör tarafından değiştirilip, senkron motor çalıştırılmadan, panonun denenmesi için bu giriş pano üzerindeki pako şalter yardımıyla yapılacaktır.
- **AGK AÇ:** AGK'nın açılması için kullanılan buton girişi.
- **AGK KAPA**: AGK'nın kapanması için kullanılan buton girişi.
- **AGK ARIZA:** AGK arıza durumuna geçtiğinde kompakt şalterin arıza kontağı kapanır. Bu bilgi arıza olarak gösterilir.
- **OGK ARIZA:** OGK arıza durumuna geçtiğinde PLC panosuna giriş olarak gelir. Bu bilgi arıza olarak gösterilir.
- **OGK KAPALI:** OGK kapandığında PLC panosuna giriş olarak gelir.
- **TRİSTÖR SICAKLIKLARI (TERMİSTÖR 90°C ve 100°C):** Tristör soğutucuları üzerindeki termikler 90°C ve 100°C'de kontaklarını kapatarak PLC'ye giriş verir.
- **SİGORTALAR OK:** Tüm sigortaların yardımcı kontakları bulunmaktadır. Eğer her hangi bir sigorta atarsa yardımcı kontaklar vasıtasıyla PLC'ye giriş verir.
- **TRİSTÖRLER ÇALIŞIYOR:** Tristör tetikleme kartı tristörlere sürme işaretleri verdiği anda kart üzerindeki bir kontak yardımıyla PLC'ye giriş verir.
- **KLİMA ARIZA:** Pano soğutma kliması arızaya geçtiğinde arıza kontağı açılarak PLC'ye giriş verir.
- **KAÇAK AKIM ARIZA:** Panoda her hangi bir kaçak akım oluşması durumunda kaçak akım rölesi arıza kontaklarından PLC'ye giriş verilir.
- **AŞIRI AKIM ARIZA:** Panoda her hangi bir aşırı akım olması durumunda aşırı akım röleleri arıza kontaklarından PLC'ye giriş verir.
- **DÜŞÜK ve YÜKSEK GERİLİM ARIZA:** Pano girişindeki gerilimin yükselmesi veya düşmesi durumunda röle arıza kontaklarından PLC'ye giriş verir.
- **FAZ KAYBI ARIZA:** Pano girişindeki 3 faz beslemeden her hangi birinin olmaması durumunda koruma rölesi arıza kontağını açarak PLC'ye giriş verir.

- **İZOLASYON ARIZA:** Senkron motorun uyarma sargı izolasyonunun düşmesi durumunda, koruma rölesi arıza kontağından PLC'ye giriş verir.
- **STATOR DÜŞÜK GERİLİM ARIZA:** Stator geriliminin düşmesi durumunda koruma rölesi arıza kontağından PLC'ye giriş verir.
- **RESET BUTONU:** Alarm ve arızaların kabul edilmesi ve sesli ve ışıklı uyarıların durdurulması amacıyla kullanılan butondur.

Analog Girişler:

- **DC AKIM:** Uyarma sargısındaki akım bir şönt üzerinden algılanarak PLC'ye 0...10V arasında giriş olarak verirlir.
- **DC GERİLİM:** Uyarma sargı gerilimi gerilim bölücü ile algılanarak PLC'ye 0...10V arasında giriş olarak verilir.
- **FREKANS:** Uyarma sargısı üzerindeki gerilimin frekansı ölçülerek PLC'ye 0...10V arasında giriş olarak verilir.
- **ASENKRON GECİKME SÜRESİ:** Senkron motor senkron çalışmadan asenkron çalışmaya düştüğünde operatör paneli üzerinden girilen süre sonunda PLC arıza verir.
- **İKAZ GÜÇLENDİRME SÜRESİ:** İkaz güçlendirme süresi operatör panelinden PLC'ye giriş olarak verilir.
- **İKAZ GÜÇLENDİRME AKIMI:** İkaz güçlendirme durumunda uyarma sargılarına verilecek akım operatör panelinden PLC'ye giriş olarak verilir.
- **MANUAL İKAZ AKIMI:** Panoyu manuel modunda çalıştırırken uyarma sargısı üzerinden geçecek akım operatör paneli üzerinden PLC'ye giriş olarak verilir.
- **HAZIR SÜRESİ:** OGK her hangi bir nedenden dolayı açtığında sistemi hazıra getirip çalıştırabilmek için gereken süre operatör panelinden PLC'ye giriş olarak verilir.

Dijital Çıkışlar:

- **HAZIR:** OGK'nın kapatılabilmesi ve motorun dönebilmesi için her hangi bir arıza yoksa ve hazır süresi dolmuşsa bu işaret verilir ve OGK kapatılabilir.
- **KESİCİ AÇTIRMA:** Panoda her hangi bir arıza olduğunda motorun durması amacıyla OGK'ya açtırma işareti gönderilir.
- **AGK AÇ:** Sistemde bir arıza olduğunda ya da pano üzerinden el ile AGK'yı açtırmak için PLC çıkışı olarak kullanılır.

- **AGK KAPA:** Panoyu enerjilendirmek ve sistemi hazır hale getirmek için AGK kapatılır.
- **GENEL ARIZA:** Sistemde arıza durumu oluştuğunda hem kesicileri açtırmak hem de sesli ve ışıklı uyarı vermek amacıyla bu PLC çıkışı kullanılır.
- **GENEL ALARM:** Sistemde alarm durumu oluştuğunda operatörleri sesli ve ışıklı olarak uyarmak amacıyla bu PLC çıkışı kullanılır.
- **TRİSTÖR ÇALIŞ:** Senkron motora uyartımın başlaması için PLC çıkışından tristör tetikleme kartına çalış işareti gönderilir.

Analog Çıkışlar:

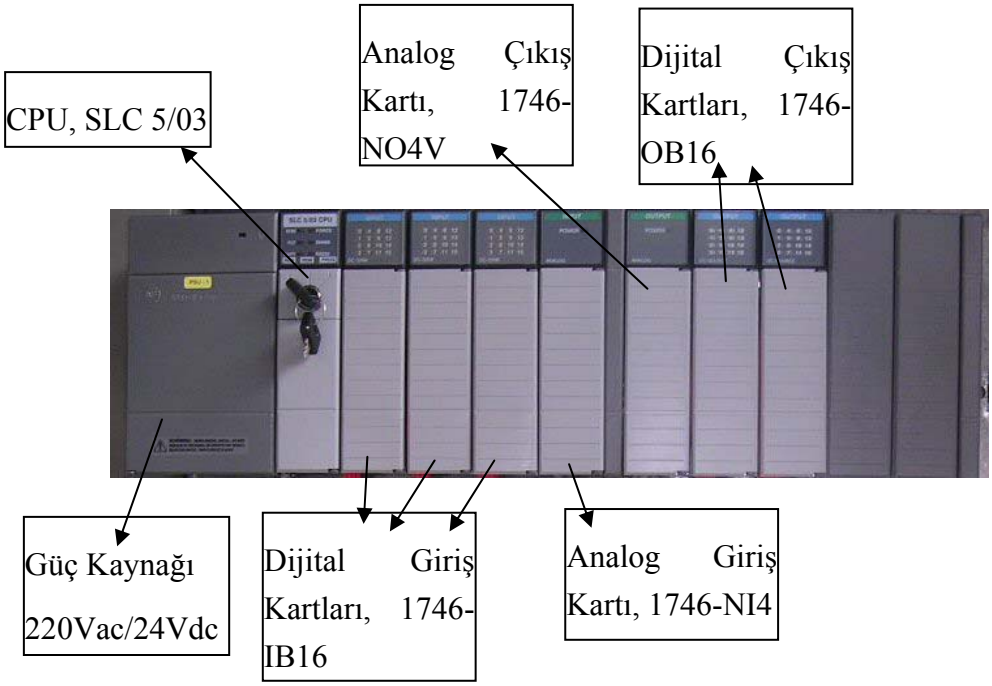
- **AÇI REFERANSI:** Tristör tetikleme işaretlerini manuel olarak kontrol etmek için operatör panelinden 60° ile 150° arasında PLC analog çıkışından tristör tetikleme kartına 0...10V arasında gerilim çıkışı verilir.
- **AKIM REFERANSI:** Uyarma akımının kontrolü için PLC analog çıkışından tristör tetikleme kartına 0...10V arasında referans gerilimi uygulanır.
- **GERİLİM REFERANSI:** Uyarma gerilimin kontrolü için PLC analog çıkışından tristör tetikleme kartına 0...10V arasında referans gerilimi uygulanır.

3.2.2 Modüllerin Belirlenmesi

3.3.1'de çıkartılan giriş ve çıkışlara göre dijital giriş, çıkış ve analog giriş, çıkış modülleri belirlenir. 17 adet dijital giriş, 7 adet dijital çıkış, 3 adet analog giriş ve 3 adet analog çıkış sayılarına göre ve %10 yedek payı belirlenerek modüller seçilir. 2 adet 16 kanallı dijital giriş modülü, 1 adet 16 kanallı dijital çıkış modülü, 1 adet 4 kanallı analog giriş modülü ve 1 adet 4 kanallı analog çıkış modülü kullanılabilir. Toplamda 5 adet giriş ve çıkış modülü kullanılacaktır.

3.2.3 CPU Seçimi

3.1.1'deli CPU seçim kriterlerine göre, 5 adet modülü kontrol edebilecek 1747-L531 8kB'lık bir CPU seçilmiştir. Bu CPU'nun 20ms ile 3 saniye arasındaki tarama süresi de kullanacağımız kontrol algoritması için uygundur. CPU üzerinde bulunan DH485 haberleşme konnektörü, bu CPU'nun herhangi başka bir CPU veya bir SCADA sistemi ile haberleşmesini sağlamaktadır. [11]



Şekil 3.5: PLC Konfigürasyonu

3.2.4 Giriş ve Çıkış Adreslerinin Belirlenmesi

3.2.1'de öngörülen giriş ve çıkışlar PLC programında işlenebilmesi için gerekli adreslere atanması gerekmektedir.

Tablo 3.1: Dijital Giriş Adresleri

OTOMATİK	I:1/0
MANUAL	I:1/1
AGK AÇ	I:1/2
AGK KAPA	I:1/3
AGK ARIZA	I:1/4
OGK ARIZA	I:1/5
OGK KAPALI	I:1/6
TRİSTÖR SICAKLIKLARI	I:1/7
SİGORTALAR OK	I:1/8
TRİSTÖRLER ÇALIŞIYOR	I:1/9
KLİMA ARIZA	I:1/10
KAÇAK AKIM ARIZA	I:1/11
AŞIRI AKIM ARIZA	I:1/12
DÜŞÜK GERİLİM ARIZA	I:1/13
YÜKSEK GERİLİM ARIZA	I:1/14
FAZ KAYBI ARIZA	I:1/15
İZOLASYON ARIZA	I:2/0
STATOR DÜŞÜK GERİLİM ARIZA	I:2/1
RESET BUTONU	I:2/2

Programda bu adresler kullanılarak işlem yapılmaktadır. 16 kanallı bir dijital giriş modülünde adresler I:0/0 dan I:0/15 'a kadar yazılabilir. Bunlar bir bitlik bilgiyi temsil etmektedir. Geriye kalan adresler, I:1/2'den I:1/15, yedek olarak tanımlanır ve kullanılmazlar. Burada adreslerin I:0 veya I:1 olarak belirlenmesi modülün hangi sırada yerleştirileceğini göstermektedir. I:0 adreslerine sahip bir modülün sıfırıncı sırada, I:2 adreslerine sahip bir modül ise ikinci sırada yer almaktadır. Bu sıralar CPU'nun yanına yerleştirilme sırasıdır.

4 kanallı bir analog giriş modülünde ise adresler I:2.0 dan I:2.3'e kadar yazılabilir. I:2.0 16 bitlik bir bilgidir.

Tablo 3.2: Analog Giriş Adresleri

DC AKIM	I:3.0
DC GERİLİM	I:3.1
FREKANS	I:3.2

Dijital çıkışlar da, girişler gibi yazılır. Aynı şekilde O:3/0'dan O:3/15'e kadar 16 adet bir bitlik bilgi saklar.

Tablo 3.3: Dijital Çıkış Adresleri

HAZIR	O:4/0
KESİCİ AÇTIRMA	O:4/1
AGK AÇ	O:4/2
AGK KAPA	O:4/3
GENEL ARIZA	O:4/4
GENEL ALARM	O:4/5
TRİSTÖR ÇALIŞ	O:4/6
ASENKRON GECİKME	O:4/7
İKAZ GÜÇLENDİRMEDE GECİKME	O:4/8
KALKIŞTA GECİKME	O:4/9

Analog çıkış adresleri de Tablo 3.4'teki gibi atanabilir.

Tablo 3.4: Analog Çıkış Adresleri

AÇI REFERANSI	O:5.0
AKIM REFERANSI	O:5.1
GERİLİM REFERANSI	O:5.2

Geriye kalan adresler operatör panelden girilen ve PLC'ye seri haberleşme ile aktarılan bilgilerdir. Bu bilgiler programda N7:0, N7:15 gibi adreslere atanır.

Tablo 3.5: Diğer Adresler

ASENKRON GECİKME SÜRESİ	N7:0
İKAZ GÜÇLENDİRME SÜRESİ	N7:1
İKAZ GÜÇLENDİRME AKIMI	N7:2
MANUAL İKAZ AKIMI	N7:3
HAZIR SÜRESİ	N7:4

3.3 PLC Programlama

Senkron motor ikaz panosu kontrol sisteminin uygulama programı, RsLogix500 yazılımı ile yapılmıştır. PLC programlama da sıkça kullanılan merdiven programlama yöntemi kullanılmıştır. 3.2.4'te belirlenen adresler öncelikle programa girilmiş ve çeşitli program blokları kullanılarak, uygulama programı yazılmıştır.

3.3.1 Sistemin Programlanması

Senkron motor uyartım sisteminde PLC ile kontrol açısından iki adet önemli unsur bulunmaktadır. Bunlardan biri korumalar, diğeri ise operatör kontrolünde yapılacak işlemlerdir (otomatik, manuel kontrol, akım ayarı, test, gibi..).

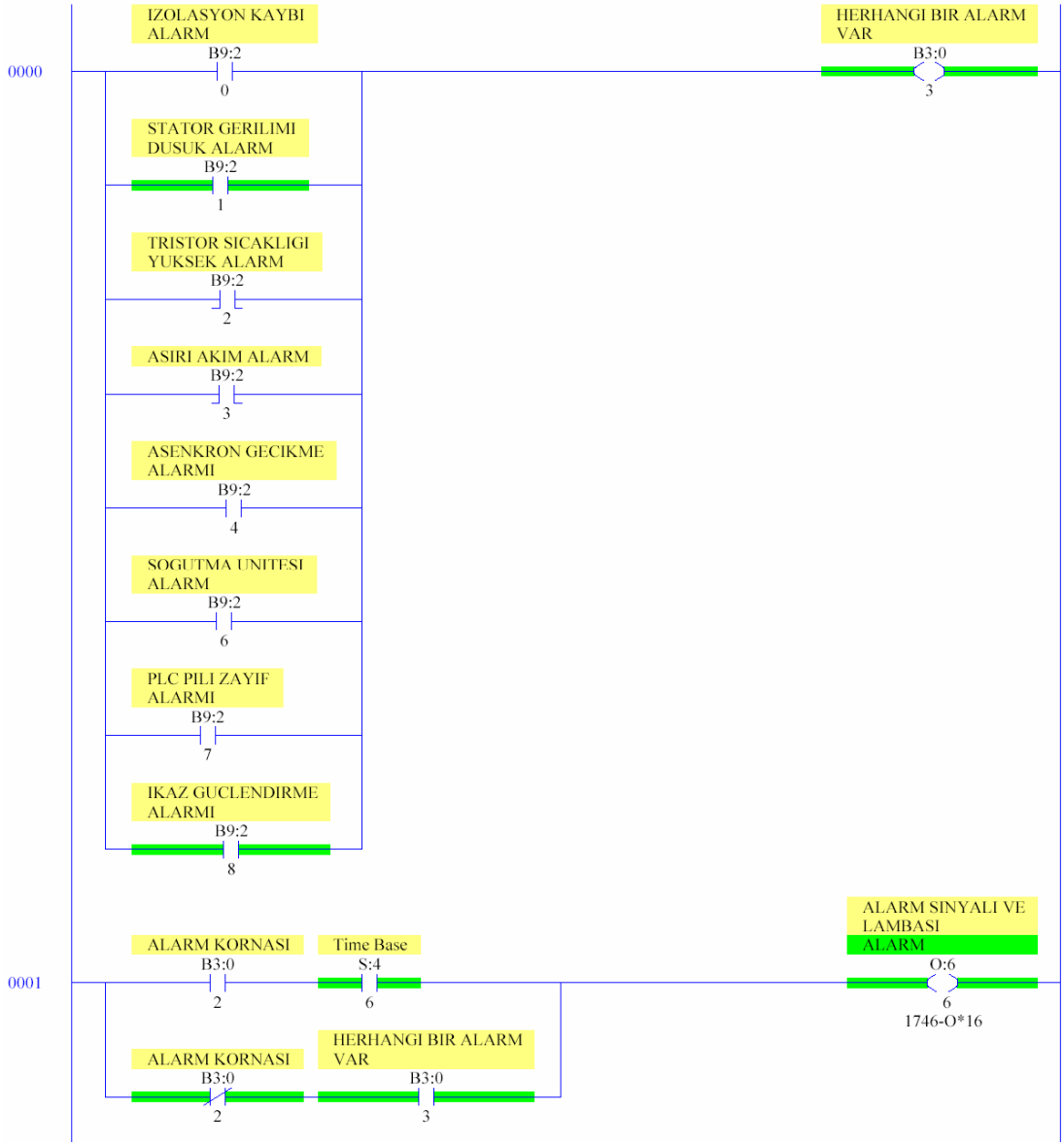
3.3.1.1 Korumaların Programlanması

Paragraf 4.2'de anlatılan korumaların tamamı aşağıdaki merdiven blokları ile oluşturulmuştur.

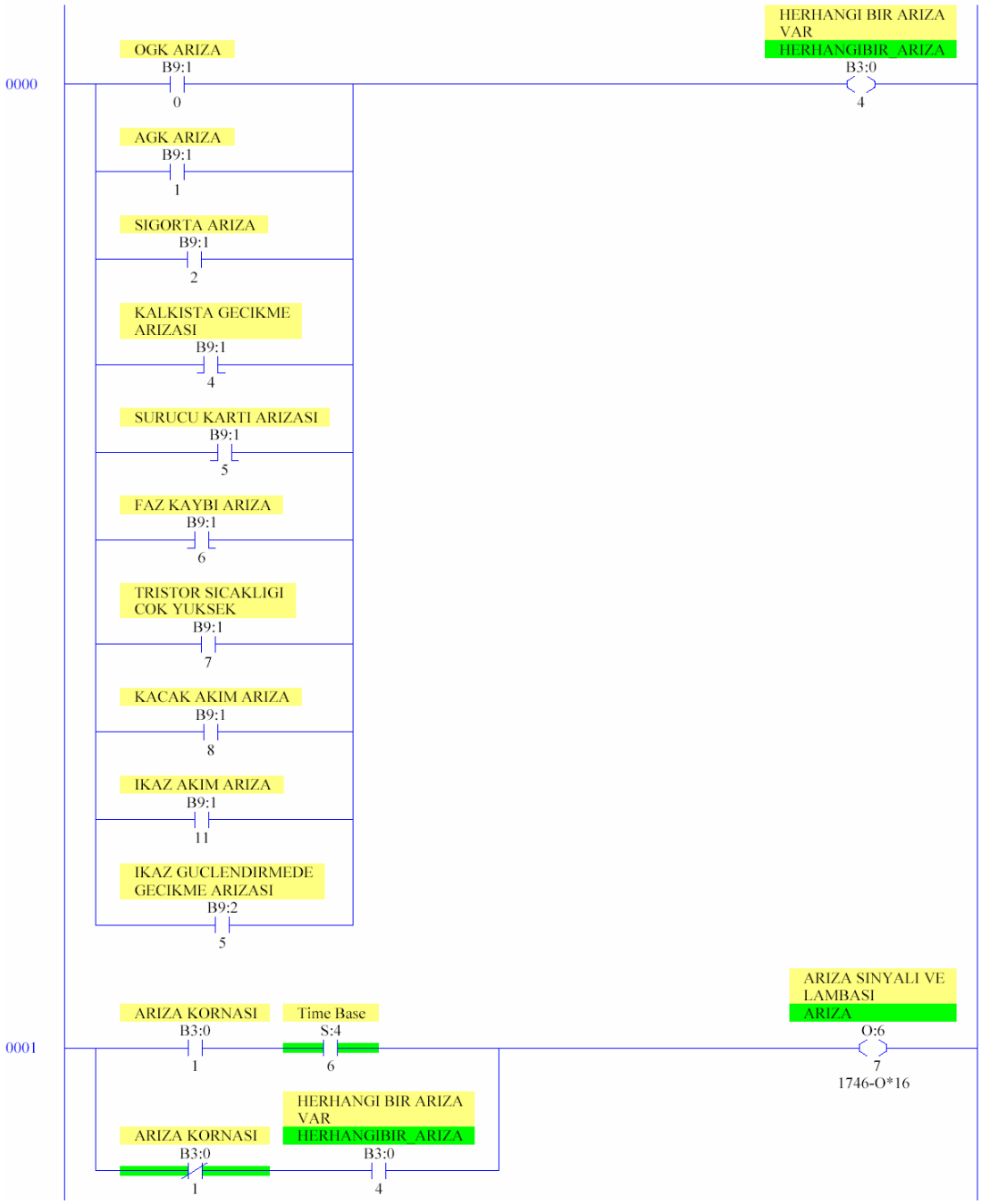
Şekil 3.17'de herhangi bir alarm meydana geldiğinde HERHANGİ BİR ALARM VAR bobini enerjilenmektedir. Bu bobin alarm olduğu sürece enerjili kalmaktadır. Alarm durumunda sistemin çalışması durdurulmamış, fakat korna çaldırarak operatörün uyarılması sağlanmıştır. Şekildeki ikinci satırda kullanılan S:4/6 Time Base kontağı ile her 500ms de bir alarm kornası ve lambası enerjilendirilmektedir.

Şekil 3.18'de ise herhangi bir arıza meydana geldiğinde HERHANGİ BİR ARIZA VAR bobini enerjilenmektedir. Bu bobin arıza olduğu sürece enerjili kalmaktadır. Bobinin kontağı sistemin çalışma satırlarına seri olarak bağlanmış ve arıza durumunda sistemin durması ve operatöre gerekli uyarıların verilmesi sağlanmıştır.

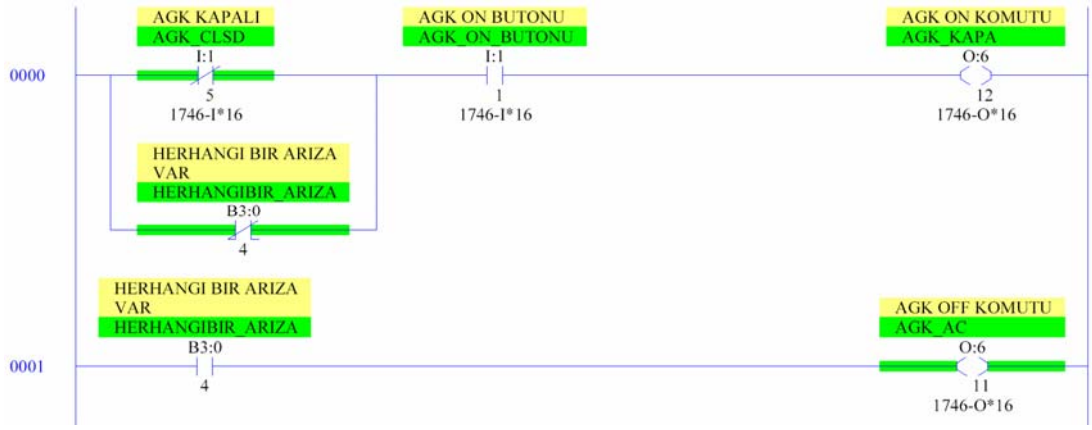
Şekil 3.18'de, herhangi bir arıza durumunda alçak gerilim kesicisine ON işareti gitse bile sistem AGK'yı ON konumuna getirmemektedir. Ayrıca AGK ON konumunda iken arıza geldiğinde de AGK'ya AÇ yani OFF komutu gitmektedir.



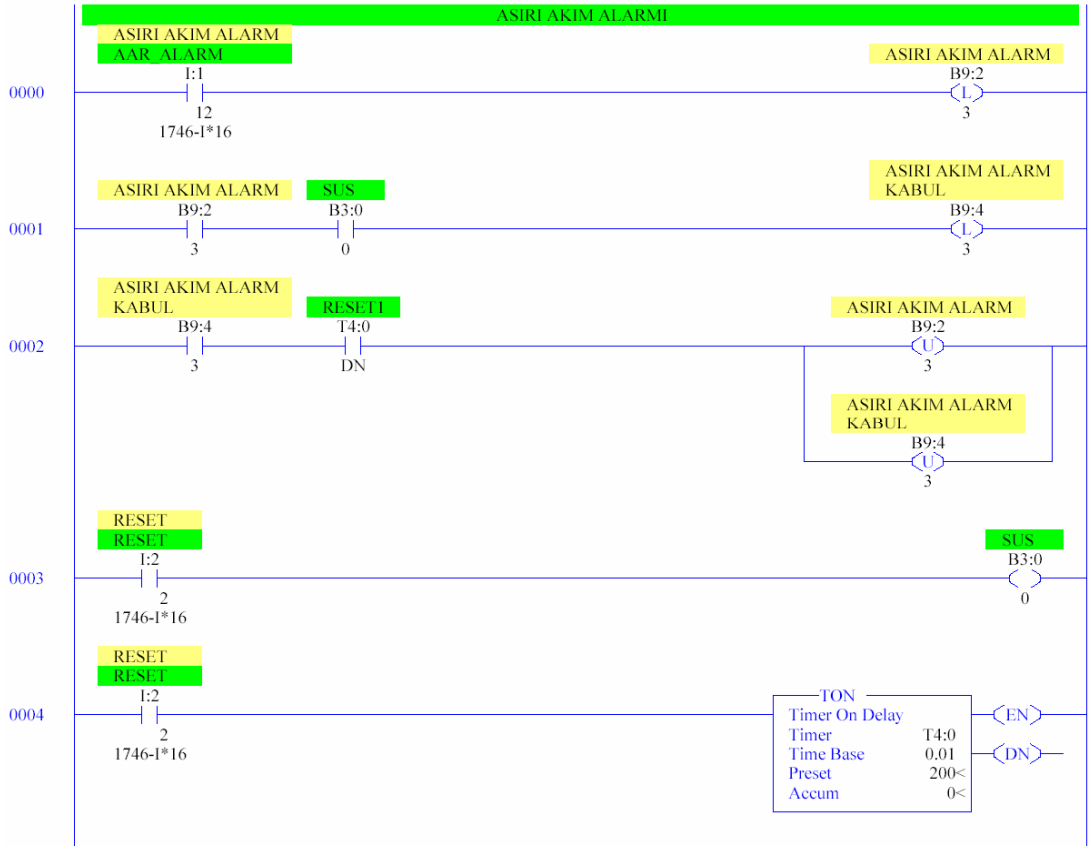
Şekil 3.6: Herhangi bir alarm var program satırı



Şekil 3.7: Herhangi bir arıza var program satırı



Şekil 3.8: Arıza durumunda sistemi durdurma satırı



Şekil 3.9: Aşırı Akım Alarm Program Bloğu

Şekil 3.20'deki devre bir alarm oluştuğunda bu alarm giderildiğinde ve giderilmediğinde sistemin nasıl davranacağını göstermektedir.

Aşırı akım röleleri alarm algıladığında rölenin alarm kontağı çeker ve 24V ile PLC'nin I:1/12 numaralı adresi enerjilendirilir. Bu adres program içindeki B9:2/3

numaralı bobini LATCH olarak, yani sürekli olarak enerjilendirir. Herhangi bir alarm oluştuğundan dolayı sistem kendini durdurur. Sistemi tekrar devreye almak için alarmı resetlemek yani sonlandırmak gerekir. Pano üzerindeki RESET butonuna basıldığında SUS bobini enerjilenir, bununla birlikte T4:0 zamanlayıcısı saymaya başlar. Eğer iki saniye içerisinde aşırı akım alarmı geçerse AŞIRI AKIM ALARM ve AŞIRI AKIM ALARM KABUL bobinleri sönümlendirilir. Eğer aşırı akım alarmı geçmemişse, hala aşırı akım durumu devam ediyorsa sistem yine alarm vermeye başlar ve sistem çalışmaz.

3.3.1.2 Otomatik Çalışmanın Programlanması

Şekil 3.21'de uyartım panosunun otomatik çalışma durumunun prensip olarak programlanması gösterilmektedir.

0000 satırında operatör panelinden alınan hazır süresi bir zamanlayıcının sayma süresine atanır. 0001 satırında eğer OGK kapatılmış ise hazır zamanlayıcısı atanan değere göre saymaya başlar. Eğer herhangi bir arıza yoksa, AGK kapalı ise, hazır zamanlayıcısı sayma süresini bitirmişse ve sistem otomatiğe alınmışsa pano OGK kesicisine ve operatöre hazır olduğunu lamba yakarak bildirir. Aynı zamanda OGK ENABLE ile orta gerilim kesicisini kapatılabileceğini kumanda odasına bildirir. 0003 satırında ise, herhangi bir arıza oluşmuşsa veya AGK bir nedenden ötürü açmışsa, OGK da açtırılır. Çünkü motor statordan gerilim ile beslenirken uyartım akımı kesilmemelidir. Bu yüzden orta gerilim kesicisinin de açtırılması gerekmektedir.

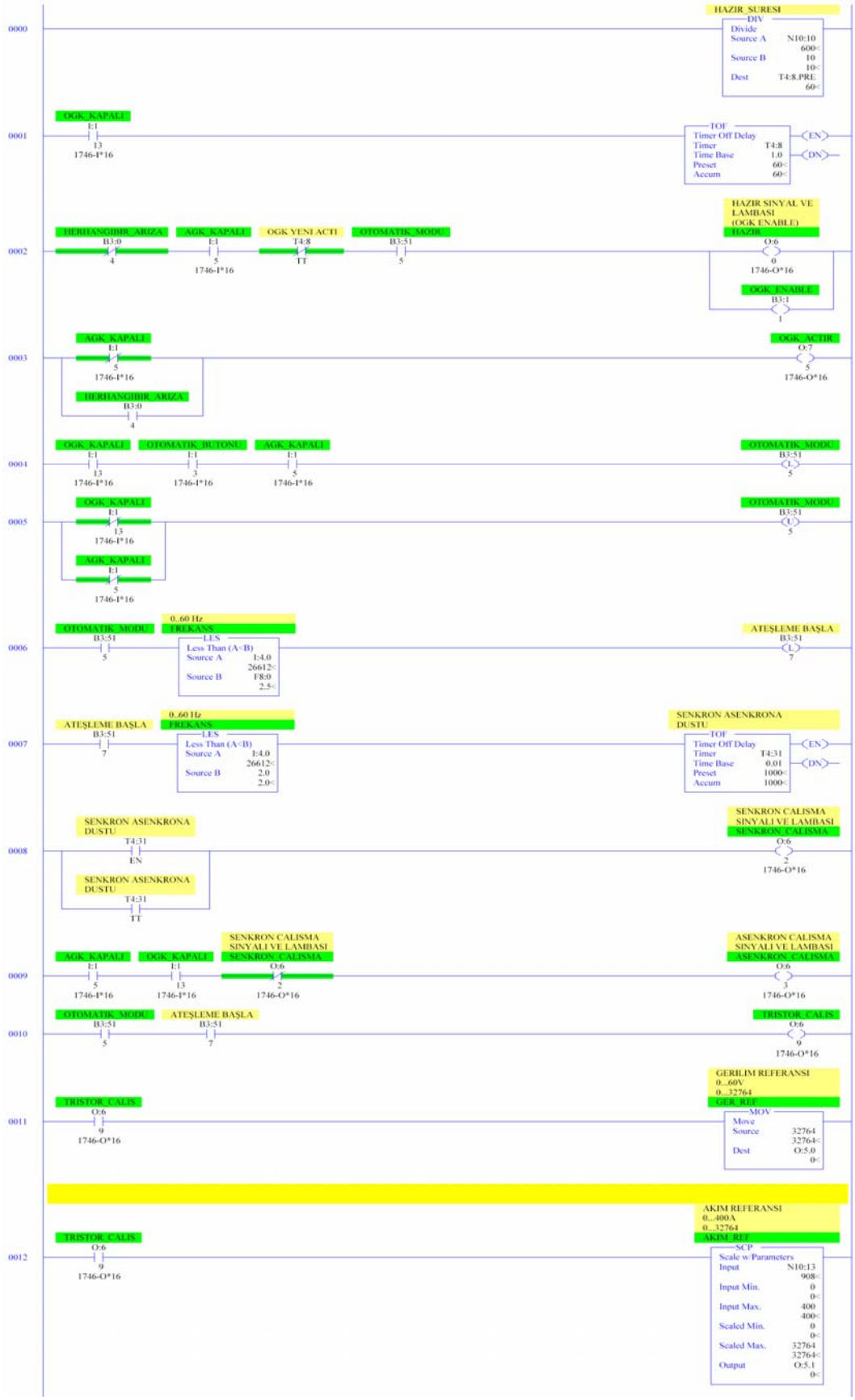
0004 numaralı satırda, otomatik çalışma moduna geçmek için gereken şartlar sıralanmıştır. AGK ve OGK kapalı durumda ve otomatik butonuna basılmış ise sistem otomatik olarak motorun kontrolünü eline alır. 0005 satırına göre, kesicilerden herhangi birinin açması durumunda otomatik mod iptal olur ve sistem durur.

0006 satırında otomatiğe geçirilen sistem, frekansın durumuna göre doğrultucu tristörlerine ateşlemenin başlamasının kararını vermektedir. Eğer frekans, operatör panelden girilen F8:0 değişkeninin değerinin altına düşerse ateşleme başla komutu gelir. Fakat motorun senkronda çalışıp çalışmadığını kontrol etmek için kullanılan 0007 ve 0008 satırları frekansın tekrar 2 Hz'in üzerine çıkması durumunda asenkron çalışma zamanlayıcısını çalıştırır. T4:31 zamanlayıcısına göre 10 saniye süre ile frekans 2 Hz'in üzerinde kalıyorsa motor asenkron çalışmaya girer. Bu durumların dışında her zaman senkron çalışmadadır.

0010 satırında sistem otomatik modda ise ve ateşleme başla komutu gelmişse, doğrultucu kontrol kartına tristör çalış komutu gönderilir. Bununla birlikte tristör çalış komutunun hemen sonrasında doğrultucu kontrol kartına gerilim ve akım

referansları gönderilir. Uyartım akım kontrollü olacağından, doğrultucuya gerilim referansı olarak 32764 yani +10Vdc gönderilir.

0012 satırında akım referansı operatör tarafından N10:13 değişkenine girilen değere göre gönderilir. Burada kullanılan SCP fonksiyonu ile operatör tarafından girilen 0 ile 400 arasındaki sayı 0 ile 32764 sayısına çevrilir. Bu değer de O:5.1 analog çıkışı ile 0-10Vdc arasında doğrultucu kartına referans olarak gönderilir.



Şekil 3.10: Sistemin otomatik çalışma durumu program satırları

4. GERÇEKLEŞTİRİLEN SENKRON MOTOR UYARTIM SİSTEMİ

1600kW, 6300V, 600dev./dak. çıkık kutuplu senkron motorun uyartım sistemi, 2003 yılında EKA firması tarafından iki adet olarak Dudullu fabrikasında üretilmiş ve İskenderun Demir ve Çelik İşletmesi, Deniz Suyu Tesislerinde devreye alınmıştır.

4.1 Uyartım Sistemi Giriş

Uyartım sistemi yapı olarak bir adet IP50 klimalı panodan ve deşarj direncinden oluşmaktadır. Sistem iki şekilde incelenebilir: Güç devresi ve kontrol devresi.

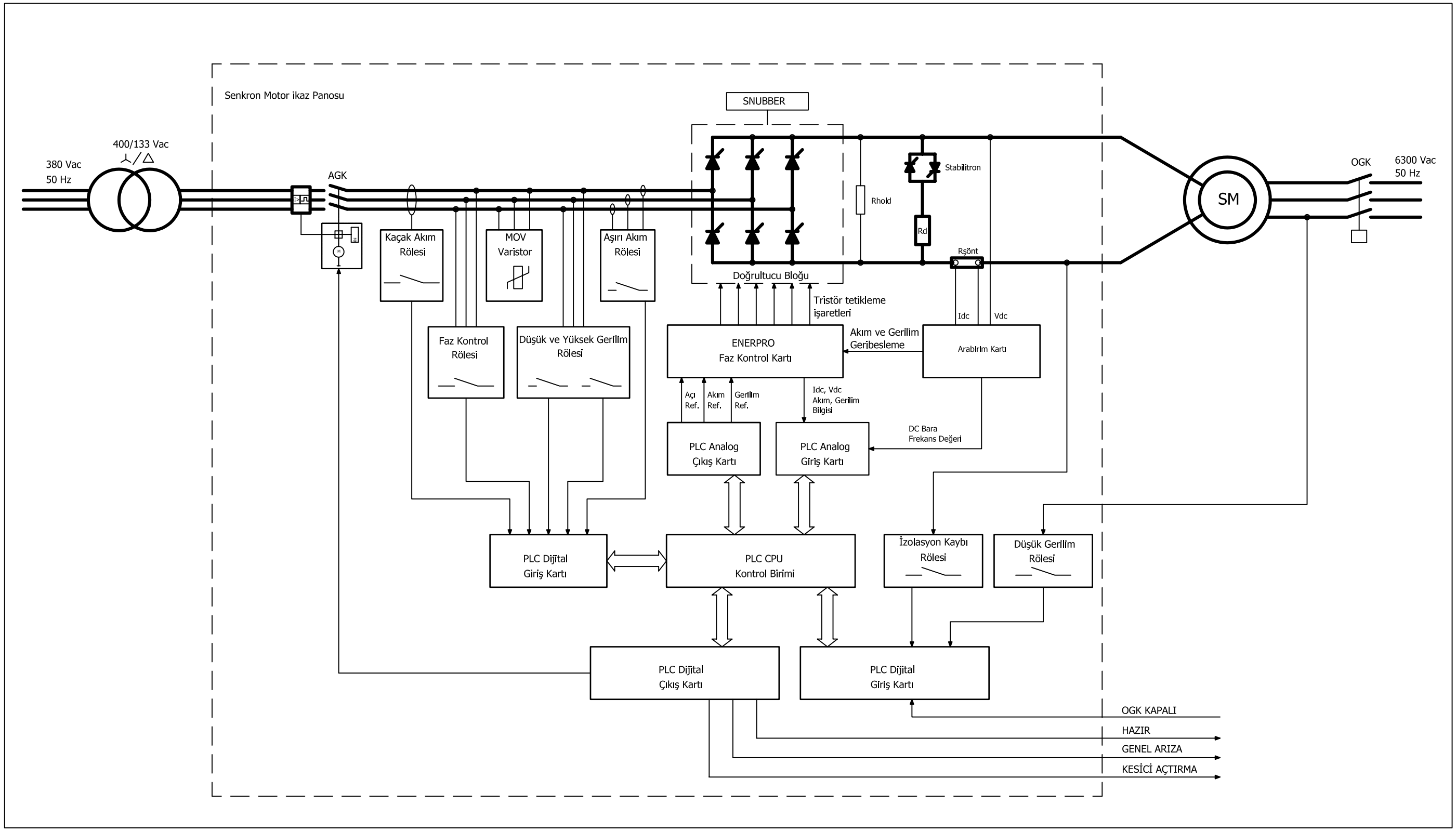
Şekil 4.1'de sistemin prensip şeması gösterilmiştir. Panonun enerjisi girişindeki 380Vac/133Vac çevirme oranlı 3 faz transformatöründen alınmaktadır. Transformatörün gücü 100kVA olarak seçilmiştir. Panonun girişinde enerjiyi kesmesi için termik-manyetik kompakt şalter kullanılmıştır ve AGK (Alçak Gerilim Kesicisi) olarak adlandırılmıştır. Bu kesici motor kumandalı olup açma ve kapama tamamen PLC tarafından yapılabilmektedir. Herhangi bir arıza durumunda PLC kesicinin açma bobinini enerjilendirerek açma yapabilmektedir. Aynı zamanda kesicinin termik ve manyetik açma özelliği olup üzerinden ayarlanan değerlerde koruma yapabilmektedir. Tüm ayarlar kesici üzerindeki potansiyometreler ile yapılabilmektedir. Termik açma koruması 252A, manyetik açma koruması ise 504A olarak ayarlanmıştır.

AGK çıkışında kaçak akımları algılayıp sisteme durdurmak için kaçak akım rölesi kullanılmıştır. 3 faz besleme baraları hassas bir torodial nüvenin içinden geçirilmiştir.

Girişte kullanılan varistörler aşırı yüksek gerilimlerin sönümlendirilmesinde kullanılmıştır. Kullanılan varistörlerin efektif kesme gerilim değeri 272Vac'dir.

Kullanılan faz kontrol rölesi, doğrultucu girişinde 3 fazın olup olmadığını algılamatadır. Herhangi bir faz olmadığı durumda röle PLC'ye hata işareti göndermektedir.

Doğrultucu girişinde düşük ve yüksek gerilimi algılayan röleler bulunmaktadır. Gerilimin %15 düşük veya yüksek olması durumunda PLC'ye hata işareti gönderilmektedir.



Şekil 4.21: Senkron Motor İkaz Panosu Prensip Şeması

Aşırı akım rölesi, doğrultucuda ya da doğrultucudan önce oluşabilecek herhangi bir kısa devre veya aşırı akımda hata işareti vermek amacıyla seçilmiştir.

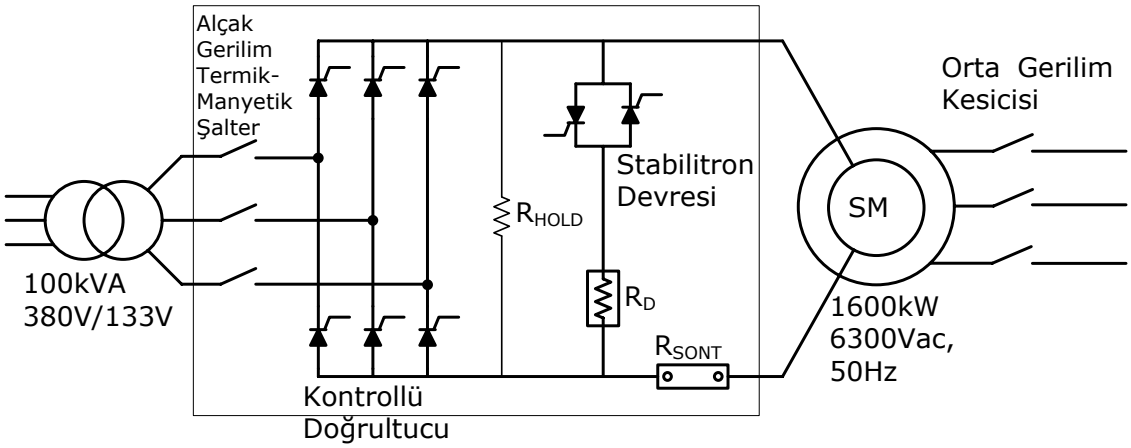
İzolasyon kaybı rölesi, motor sargısı ile şase arasındaki izolasyonun kalitesini ölçer. Eğer istenen değerden düşükse PLC'ye alarm olarak bildirir.

Stator gerilimini ölçmek için kullanılan düşük gerilim rölesi, motor girişindeki gerilimi kontrol ederek %10'luk bir gerilim düşüşü olduğunda, bunu, kontrol sistemine bildirir.

Şekil 4.1'de kontrol birimleri, PLC modülleri prensip olarak gösterilmiştir. Arıza rölelerinin kuru kontak çıkışları dijital giriş modüllerine, kesici kontrol ve alarm çıkışları dijitial çıkış modüllerine, akım ve gerilim değerleri analog giriş modülüne, akım ve gerilim referansları analog çıkış modülüne ve tüm bu giriş/çıkış modülleri ise merkezi kontrol birimine bağlanmıştır.

4.1.1 Güç Devresi

Uyartım panosu iki bölümden oluşmuş, arka bölümü güç devresi, ön tarafı ise kontrol devresi olarak tasarlanmıştır. Klimanın üfleme çıkışları güç devresinin bulunduğu tarafa yönlendirilmiş, doğrudan tristörlerin soğutucularına etkisi sağlanmıştır.



Şekil 4.2: Güç devresi prensip şeması

4.1.2 R_D, Deşarj (Yol Verme) Direnci

Uyartım sisteminin en önemli elemanlarından biridir. Direncin kalkış esnasındaki ısınması ve boyutları göz önüne alındığından pano içine yerleştirilmemiştir. Motorun uyarma sargılarına yakın, soğutma açısından uygun bir noktaya monte edilmiştir.

Sistem devreye alınırken, akan akımın $190A_{ac}$ olduğu görülmüş, fakat kalkış süresi 1 dakikayı geçmediği için direncin tasarımında $100A_{ac}$ esas alınmıştır.

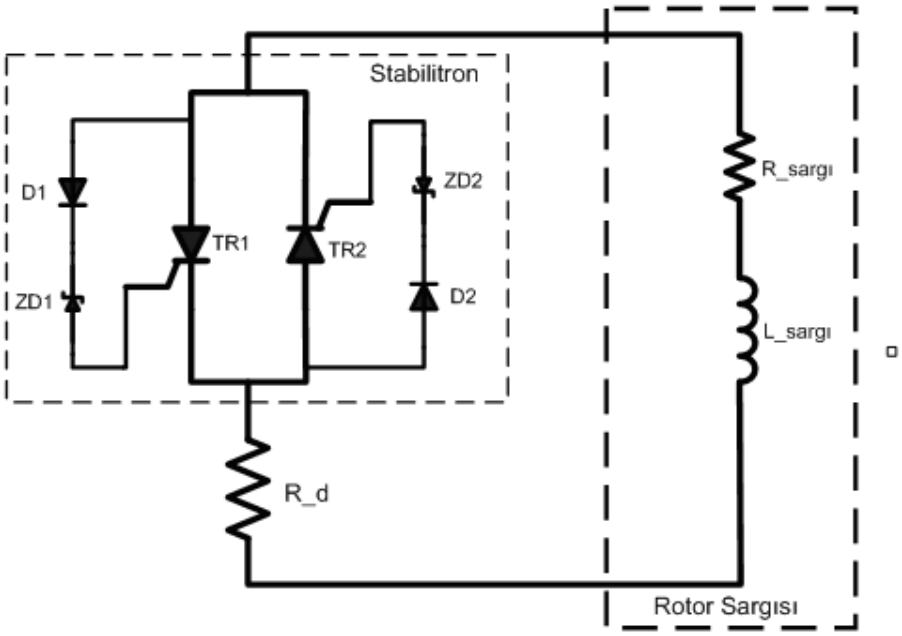
Burada direncin değeri, eski mevcut sistemlerin dirençleri karşılaştırılarak, ve bunların değerleri ölçülerek, 1.6 Ω olarak tespit edilmiştir.

4.1.3 Stabilitron (Crowbar) Devresi

Crowbar devresi ters paralel iki adet tristörden oluşmuştur. Bu tristörler bir yandan uyarma sargısına, diğer taraftan deşarj direncine bağlıdır. Bu devre ile, hızlı ve güvenilir biçimde senkron motorun kalkışı esnasında rotorda oluşan yüksek gerilim, deşarj direnci üzerinde sönümlendirilir. [5]

Avantajları:

- Pahalı DC kesici kullanılmasına gerek duyulmaması,
- Deşarj direncini koruması,
- Cevap verme süresinin DC kesiciye göre 50 kere daha hızlı olmasıdır.



Şekil 4.3: Stabilitron devre bağlantıları

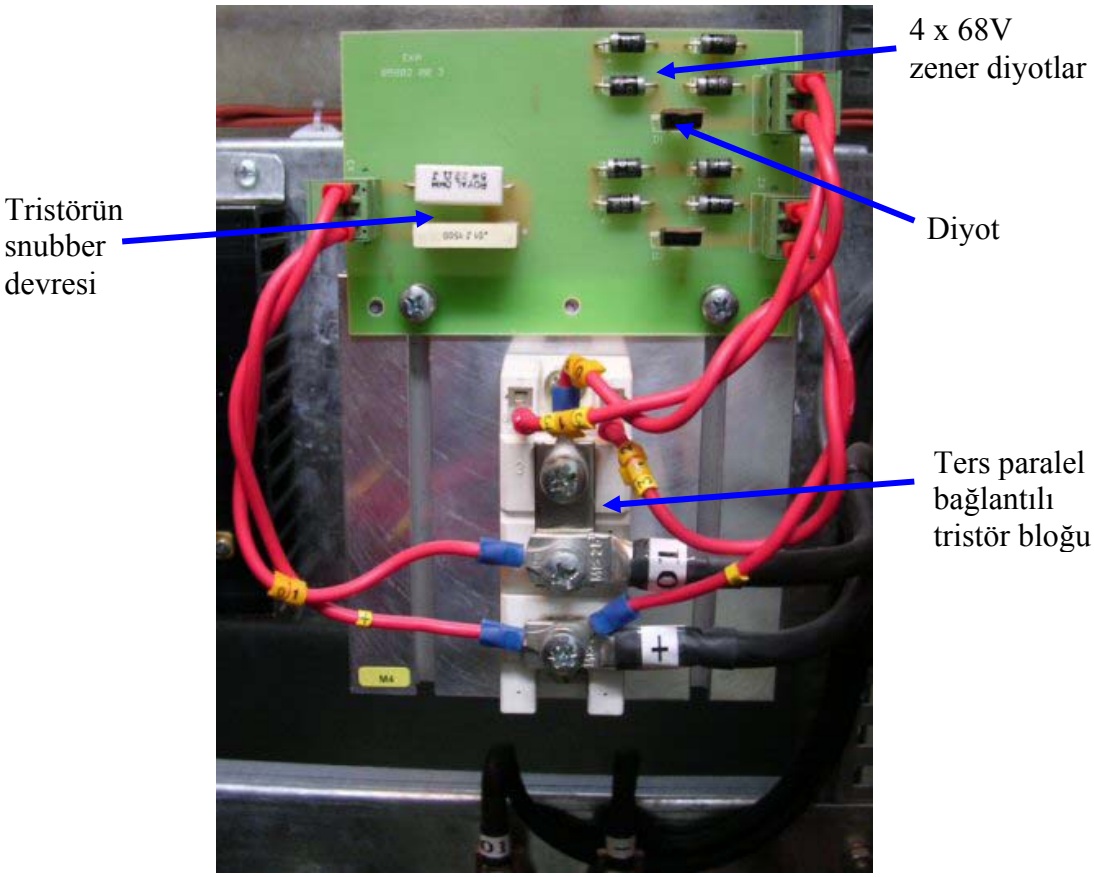
Şekil 4.3'de görüldüğü üzere, iki adet ters paralel tristör kullanılmıştır. İstenilen gerilimde akımın kesilmesi amacıyla, bu gerilime eşdeğer zener diyotlar, tristörlerin kapı uçlarına bağlanmıştır. Gerçekleştirilen sistemde dört adet 68V'luk, 5W zener diyotlar kullanılmıştır. 272V'un üstünde olan tüm gerilim değerlerinde tristörler

iletimdedir. Bu gerilim altına düşünce tristörler kesime gitmektedir. Burada önemli noktalardan biri, motor kalktıktan sonra, uyartım gerilimi uygulanınca, doğru gerilimin tepe değerinin, zenerlerin geriliminden yüksek olmaması gerektiğidir. Eğer doğru gerilimin değeri yüksek olur ve tristörlerden biri iletime geçerse, alternatif gerilim oluşmadığından tristör kesime gidemez ve uyarma akımı rotor sargısından akmaz. Bu durumda da motor durur.



Şekil 4.4: Stabilitron devresi dalga şekillerine örnek

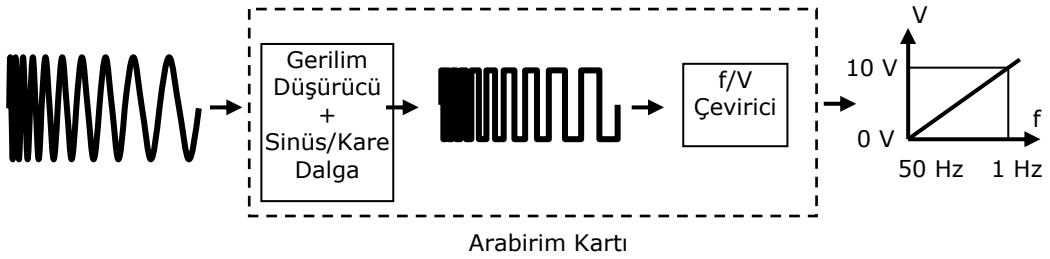
Eğer giriş gerilimi 133V_{ac} ± %15 ise, en yüksek gerilim değeri 133x1.15x√2 = 216V olacaktır. Buna göre seçilmesi gereken zener gerilimi 216V'tan büyük olmalıdır.



Şekil 4.5: Gerçekleştirilen stabilitron devresi

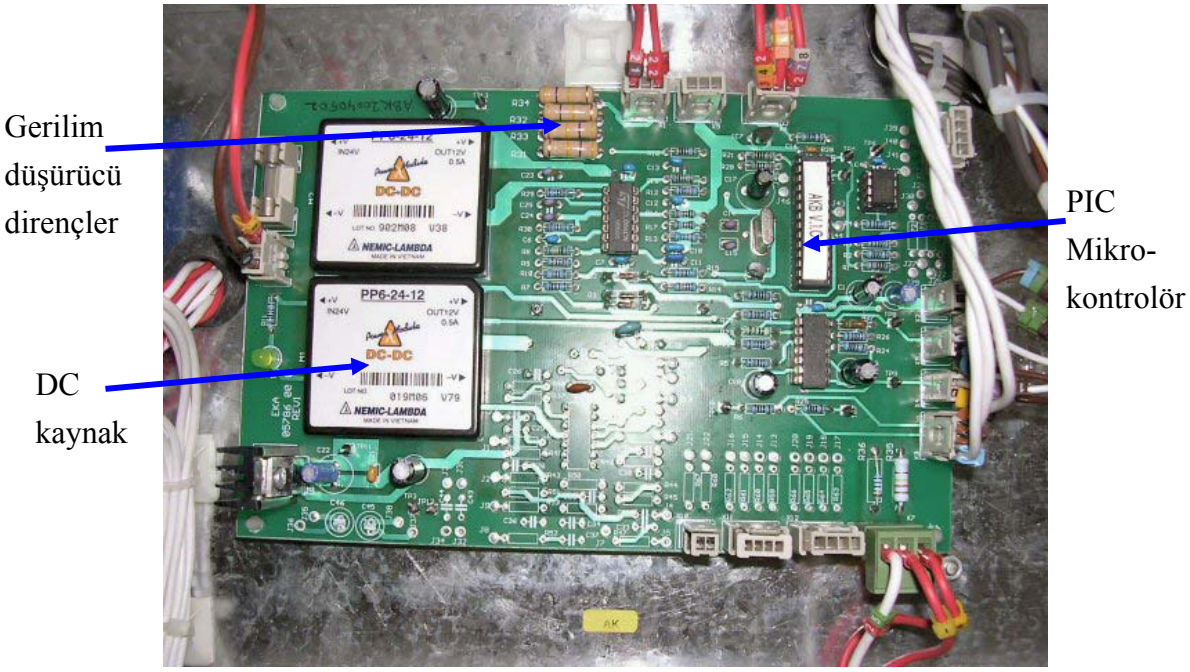
4.1.4 Arabirim Kartı

Arabirim kartı olarak adlandırılan elektronik devre aslında bir frekans-gerilim dönüştürücüdür. Piyasadaki mevcut frekans-gerilim dönüştürücü entegreler denenmiş fakat düşük frekanslarda (0-50 Hz arasında) istenilen sonuç alınamadığı için yeni kart tasarım yapılmıştır.



Şekil 4.6: Arabirim kartı prensip şeması

Şekil 4.6'da da görüldüğü üzere, değişken frekanslı bir sinüs işareti giriş olarak alınıp, çıkış olarak bu frekansa göre ayarlanmış 0…10V gerilime dönüştürülür. Çıkış gerilimi ise PLC analog girişi olarak kullanılarak, senkron motorun kalkışında, doğru gerilimin uygulanacağı anı belirler.



Şekil 4.7: Gerçekleştirilen arabirim kartı

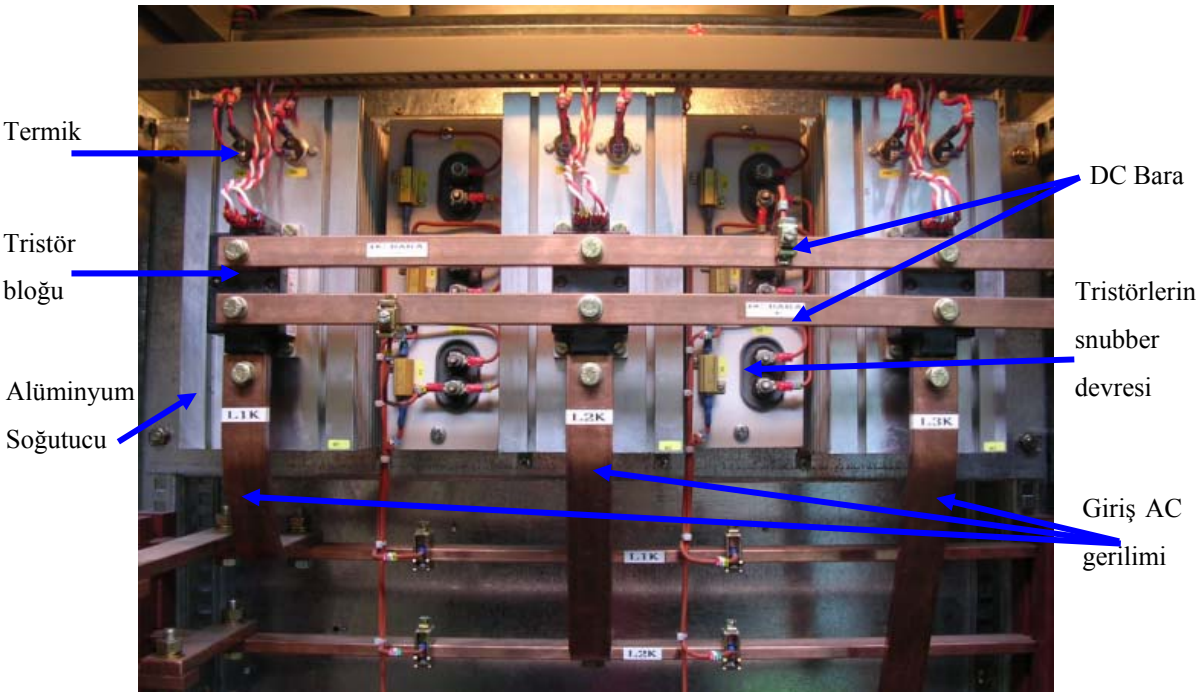
Giriş gerilimi, doğrudan rotor sargı uçlarından alınmaktadır. Bu yüksek alternatif gerilim, yüksek değerli, gerilim bölücü dirençler tarafından 20V seviyelerine düşürülmektedir. Daha sonra sinüs formundaki gerilim kuvvetlendirici ile kare dalgaya çevrilir. Giriş sinüs işaretiyle aynı frekansa sahip olan kare dalga, PIC mikrokontrolün dijital girişine girer. PIC içinde yazılan program ile girişine gelen bu işaretin frekansına göre PIC mikrokontrolün PWM çıkışında işaret oluşur. PWM işareti pasif filtre devresi ile analog doğru gerilime dönüştürülür. Kartın kalibrasyonu yapıldıktan sonra, kartın girişine uygulanan gerilimin frekansı için aşağıdaki lineer tablo elde edilir.

Tablo 4.1: Arabirim Kartı Lineer Frekans-Gerilim Değerleri

Giriş Frekansı [Hz]	Çıkış Gerilimi [V]
50	0
40	2,04
30	4,08
10	8,16
5	9,18
1	10

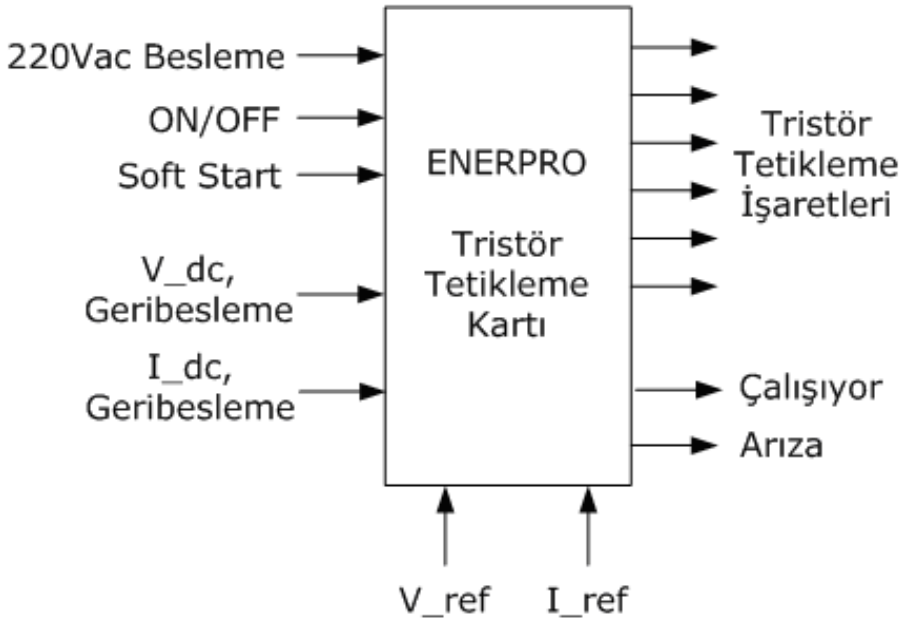
4.1.5 Doğrultucu Bloğu

Faz kontrollü doğrultucu bloğu 3 adet tristör bloğu, toplam 6 adet tristörden oluşmuştur. Şekil 4.1'de görüldüğü üzere, termik-manyetik şalterin çıkışları doğrudan doğrultucu bloğundaki tristörlere girmektedir. Tristörlerin çıkış uçları bara ile birleştirilerek uyartım için gerekli DC bara sağlanmaktadır.



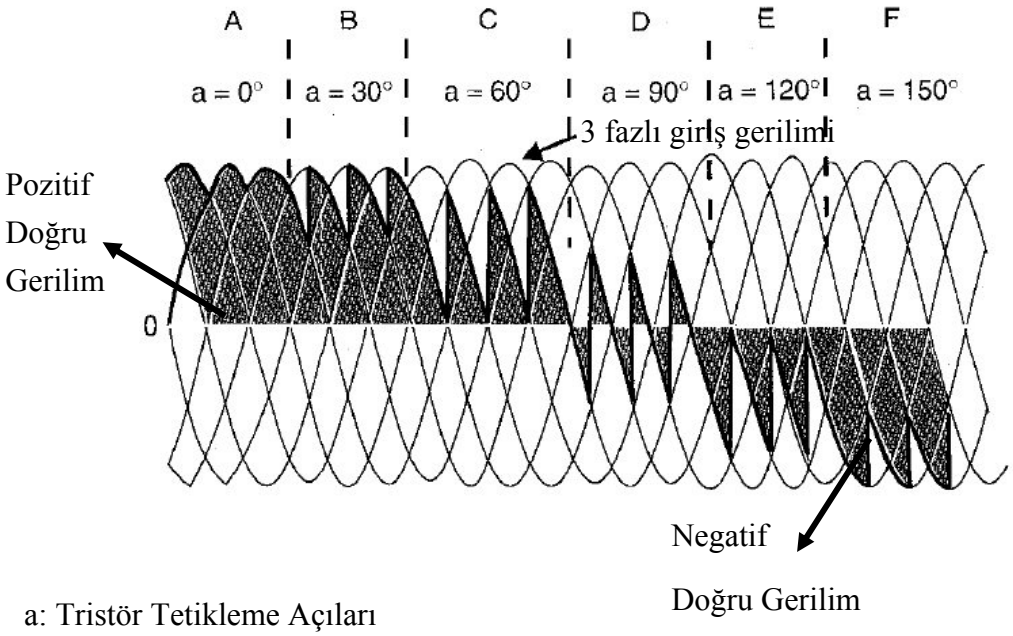
Şekil 4.8: Doğrultucu bloğunun fotoğrafı

Doğrultucu bloğundaki tristörleri tetiklemek için Enerpro firmasının 3 faz tristör tetikleme kartı kullanılmıştır. Kartı enerjilendirmek için $220V_{ac}$ gerilim uygulanmalıdır. Ayrıca kapalı çevrim kontrol için doğrultucu çıkışındaki doğru gerilim ve akım değerleri alınmalıdır. Doğru gerilim değeri uygun bir gerilim bölücü ile 0...4 V_{dc} seviyesine indirilmelidir. Doğru akım ise bir şönt direnç üzerinden alınmalı ve 0...50 mV seviyesinde olmalıdır. Ayrıca kapalı çevrim kontrolde V_{ref} ve I_{ref}, gerilim ve akım referansları verilmelidir. Verilecek bu işaretler $0…10V_{dc}$ seviyesinde ve lineerdir. Bu işaretler dışında kartın çalışması için ON/OFF işaretinin dijital 1 olarak verilmesi, ayrıca yumuşak kalkış ve duruş için de yine dijital 1 işaretinin verilmesi gerekmektedir.



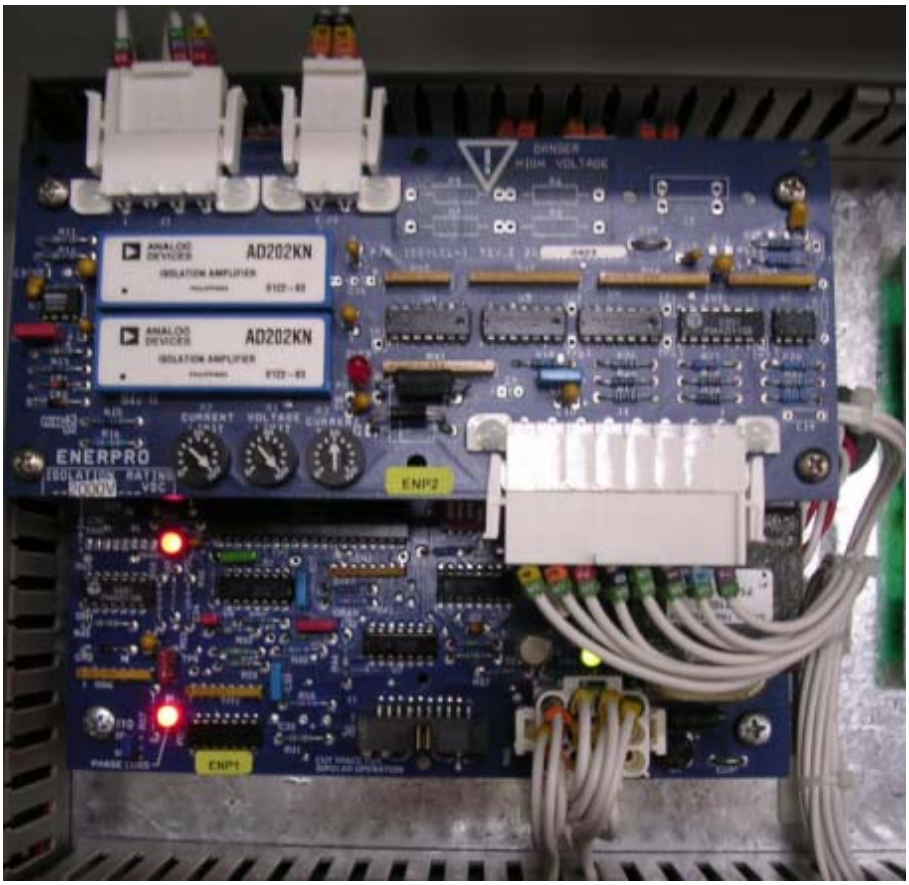
Şekil 4.9: Enerpro kartı giriş/çıkış diyagramı

Kart bilgi için iki ayrı işaret vermektedir. Karta enerji verildiğinde, her hangi bir problem yoksa, dijital 1 olarak çalışıyor işareti alınabilir. Tristörlere çalış komutu gittikten sonra, eğer tristörler sürülmüyorsa ya da birinde bir problem varsa, arıza işareti yine 1 olarak alınabilir. [6]



Şekil 4.10: Faz kontrollü doğrultucu çıkışları [5]

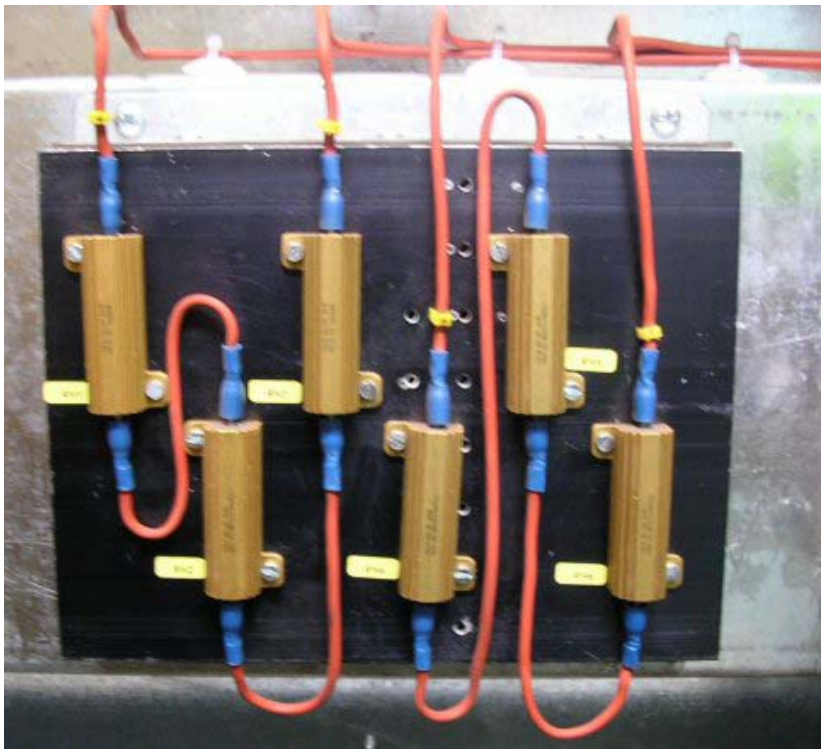
Tristör tetikleme çıkışları doğrudan tristörlerin kapı uçlarına bağlanmalıdır. Bağlantılar mümkün olduğu kadar kısa olmalı, elektromanyetik gürültü kapabileceği her hangi bir güç devresinin yakınında olmamalıdır.



Şekil 4.11: Enerpro tristör tetikleme kartı

4.1.6 Tutma (Hold) Direnci

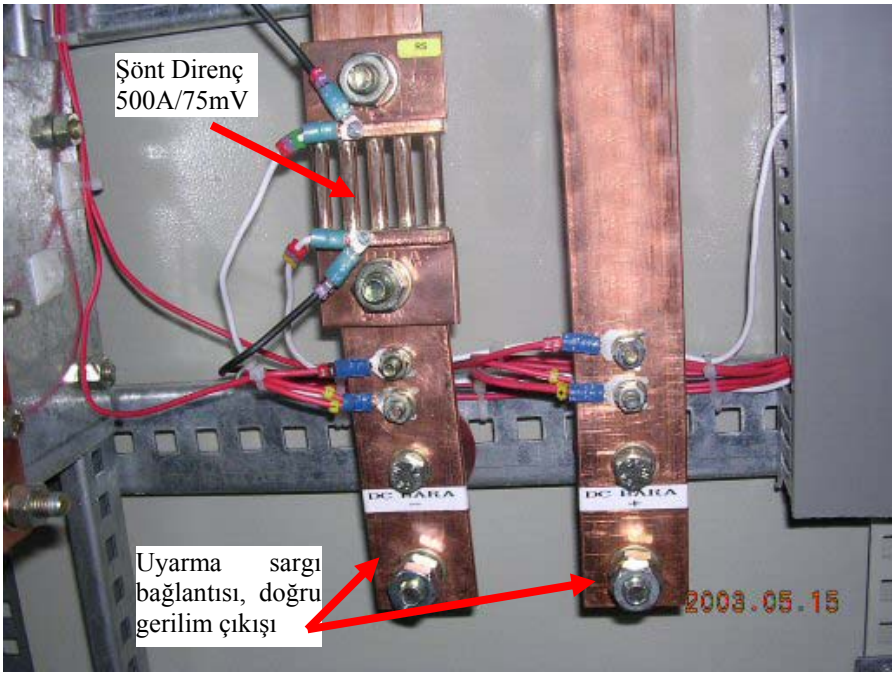
Şekil 4.1'de görüldüğü gibi doğrultucu çıkışına bağlanan, R_{HOLD}, 100Ω değerinde 5W'lık dirençtir. Bu direncin görevi, motora yol verildikten sonra, stabilitron devresi kesime gittiğinde ve uyarma sargısına doğru gerilim daha uygulanmadığı kısa geçiş anında uyarma sargısı üzerindeki gerilimi tutmasıdır. Dirençten normal çalışma esnasında, yani doğru gerilim varken de akım akacağı için yeteri kadar büyük ve güçlü seçilmelidir. Fakat direncin değerini çok yükseltmek de motor yol alırken momenti etkilemektedir.



Şekil 4.12: Tutma dirençleri

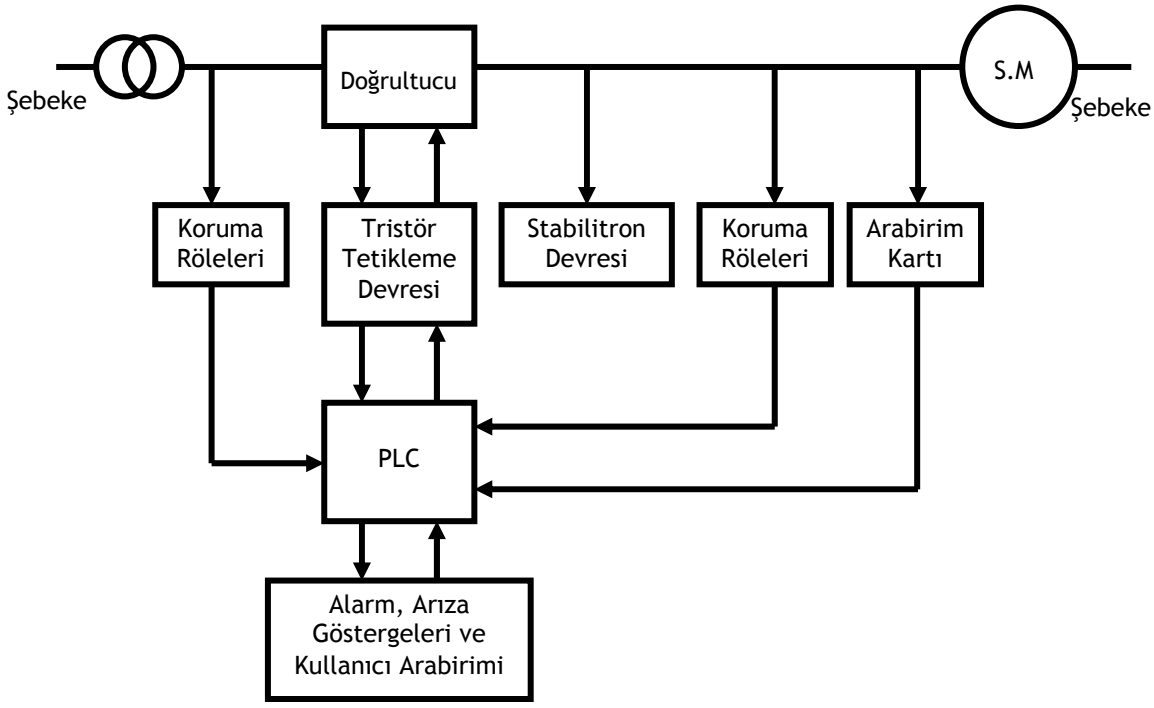
4.1.7 Şönt Direnç

Kullanılan motorun karakteristiğine göre uyarma sargısına uygulanacak nominal akım değeri $220A_{dc}$'dir. İkaz güçlendirme durumunda ise 420A akım verilebilir. Bu değerler çerçevesinde kullanılacak şönt direnç 500A'de 75mV verecek şekilde üretilmiştir.



Şekil 4.13: Şönt direnç ve doğru gerilim barası

4.1.8 Kontrol Devresi



Şekil 4.14: Kontrol sistemi blok şeması

Sistemin tüm kontrolü Allen Bradley marka SLC 500 işlemcili PLC ile yapılmaktadır. Senkron motor uyartım sisteminin en önemli özelliği; motora yol verme ve sürekli çalışmada, sistemden gelen bilgileri sürekli izleme ve gerekli korumaları yapmaktır. Üç ana işlem vardır:

- Motora yol vermek için gerekli anın tespiti ve uyartım geriliminin uygulanması,
- Motoru normal çalışma esnasında da izleyip, her hangi bir problemde motora zarar gelmeden sistemi durdurmak ve sesli ve ışıklı uyarıda bulunmak,
- Motor parametrelerini izleme ve kontrol, alarm ve arızaları izleme ve sistemi daha verimli kullanma amacıyla gerekli haberleşme alt yapısının oluşturulmasıdır.

Motora yol vermek amacıyla stabilitron, arabirim ve tristör tetikleme devreleri, uyarma sargısı üzerinden alınan akım ve gerilim bilgileri ile frekans bilgileri kullanılmıştır. Tüm kontrol girişleri PLC kontrol birimine yapılmaktadır. PLC, çıkışında dijital olarak röleler ile, analog olarak da analog çıkış kartları ile kontrol uygulamaktadır.

Motor normal çalışmaya geçtikten sonra, uyartım panosu giriş akımları ve gerilimleri, doğrultucu akımları ve gerilimleri, stator giriş akımı ve gerilimi sürekli kontrol altındadır. Bu değerlerdeki istenilenin dışında bir değişime kontrol ünitesi

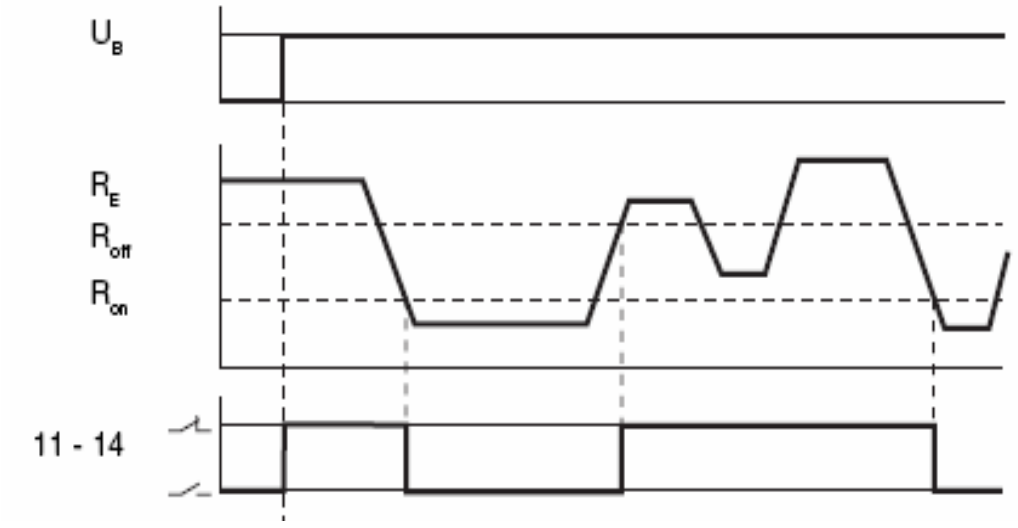
tepki gösterip gerekli korumayı yapacaktır. Sistemi sürekli izleyen koruma röleleri pano içinde bulunmaktadır. Rölelerin ayarlanan değerlerinin dışına çıkılması durumunda PLC'ye kuru kontak vererek arıza durumunu bildirir. PLC gerekli korumayı yapmak için yine röleler ve dijital çıkışı yardımıyla, girişteki alçak gerilim termik-manyetik şalteri ya da orta gerilim kesicisini açtırabilir. [7]

4.2 Korumalar

Senkron motorun yol vermesinde ve normal çalışmasında bir takım önemli korumalar göz önünde bulundurulmalı ve motora ve şebekeye zarar vermeden gerekli açtırmalar yaptırılmalıdır. Uyartım sisteminde korumalar ikiye ayrılmıştır. Alarm, sadece uyarı amaçlı olmakla beraber, her hangi bir kesiciyi açtırmaz. Sesli ve ışıklı uyarı ile operatörün uyarılmasını sağlar. Arıza ise, kesicileri açtıran, anında müdahale gerektiren durumlardır. Sistem bir arıza sebebi ile durduğunda kesinlikle bu arıza giderilmelidir. Arıza giderilmedikçe kontrol sistemi motoru tekrar çalıştırmaya izin vermeyecektir.

4.2.1 İzolasyon Direnci Koruması

Uyarma sargısı ile toprak arasındaki izolasyon direnci sürekli ölçülmelidir. Bu değer yaklaşık olarak 150kΩ 'un üzerinde olmalıdır. Eğer direnç değeri 150kΩ 'un altına düşerse, kontrol birimi alarm verir. Bu alarm, motor uzun süre çalışmamışsa, izolasyon eskimişse ve nem oranı yüksekse de ortaya çıkabilir. Bunu gidermek için motoru çalıştırmadan önce yaklaşık yarım saat uyarma sargılarından nominal akımın %40 kadar bir akım geçirilerek sargılar ısıtılır. İzolasyon alarmı geçince motor çalıştırılabilir. İzolasyon direnci ölçümü için PILZ firmasının S1EN rölesi kullanılmıştır. Direnç ayarı röle üzerinden yapılabilmektedir.



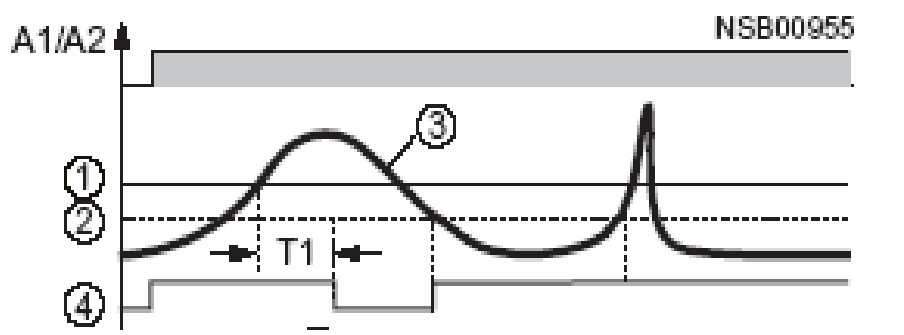
Şekil 4.15: İzolasyon Direnci Rölesi çalışma şekli

Besleme gerilimi röleye verildiğinde kuru kontak uçları çekerek 11-14 kontakları kapanır. Besleme verildikten sonra sürekli olarak izolasyon direnci (R_E) izlenir. Eğer R_E, potansiyometre ile ayarlanmış olan R_{on} direncinin altına düşerse, kırmızı renkli FAULT ledi yanar ve 11-14 kontakları açık devre olur. $R_E < R_{on}$ olduğu sürece alarm verir. Eğer R_E değeri tekrar yükselip R_{off} değerini aşarsa arıza iptal olur ve 11-14 kontakları tekrar kapanır.

4.2.2 Düşük Stator Gerilimi Koruması

Stator gerilimi, düşük gerilim rölesi ile sürekli izlenmektedir. Stator geriliminin düşmesi motorun senkron çalışmasını bozabilir. Bunu engellemek için eğer stator geriliminde %40'lık bir düşüş varsa ve bu 60 saniye sürüyorsa o zaman ikaz güçlendirme yapılır. Yani ikaz akımı iki katına yakın arttırılır.

Bu koruma etkili olabilmesi için, düşük gerilim koruma rölesi, stator gerilimini bir düşürücü transformatör yardımıyla izlemektedir. Eğer yukarıdaki arıza şartları oluşursa, röle bunu algılayıp, alarm kontakları yardımıyla PLC'ye bildirir.



Şekil 4.16: Düşük Gerilim Rölesi çalışma şekli

Burada, ①: U_e Eşik Değeri,

②: Histerezis Değeri,

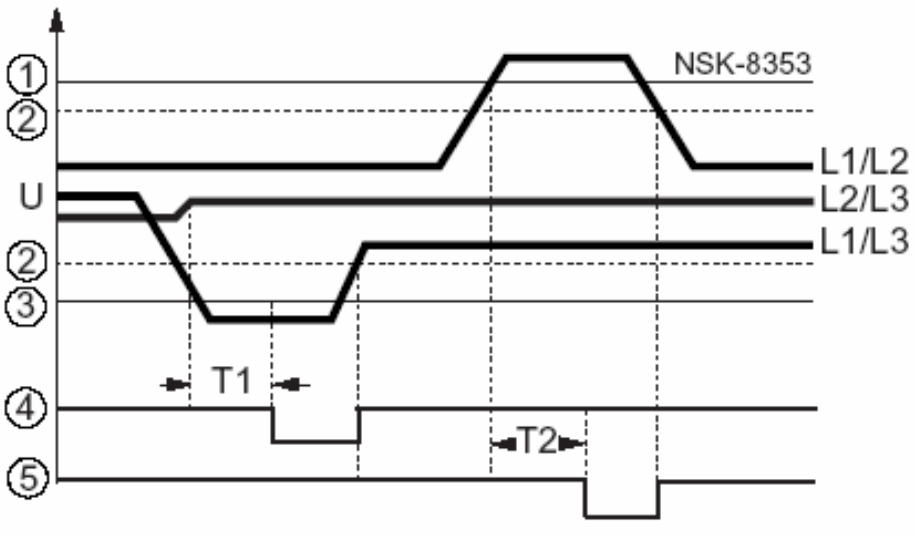
③: Ölçülen Gerilim Değeri ve

④: Röle Kuru Kontak Çıkışı' dır.

4.2.3 Düşük ve Yüksek Giriş Gerilimi Koruması

Giriş gerilimi olarak uyartım sistemi giriş gerilimi kastedilmektedir. Giriş geriliminin %15 artması ya da azalması doğrultucu çıkış akımının azalmasına sebep olabilir. Senkron çalışan bir motorda istenmeyen bir durum oluşturduğundan bu düşme ve artmalar koruma röleleri tarafından algılanır. Sistem, gerilim 60 saniye süre ile %15 düştüğünde ya da yükseldiğinde orta gerilim kesicisini açtırır.

Kullanılan röle, ikaz panosu giriş terminallerine bağlanmıştır. Eğer yukarıdaki arıza şartları gerçekleşirse, röle, düşük veya yüksek gerilimde, ayrı ayrı PLC'ye kuru kontak bilgisi göndermektedir.



Şekil 4.17: Düşük ve Yüksek Gerilim Rölesi çalışma şekli

Şekil 4.17'de; ①: U_{max} gerilim eşiği,

②: Histerezis Değeri,

③: U_{min} gerilim eşiği,

④: $U < U_{min}$ Röle Kuru Kontak Çıkışı,

⑤: $U > U_{max}$ Röle Kuru Kontak Çıkışı,

T1: U_{min} alarm verme süresi,

T2: U_{max} alarm verme süresi,

U: Ölçüm Gerilimi'dir.

4.2.4 Aşırı Akım Koruması

Doğrultucu giriş akımları koruma röleleri ile ölçülür. Eğer akımlar 60 saniye için 500A'i geçerse sistem sesli ve ışıklı uyarı verir. Aşırı akım koruması, kısa devre koruması yapmamaktadır. Kısa devre korumasını girişte kullanılan termik-manyetik şalter yapmaktadır.

Aşırı akım ölçümleri şekil 4.1'de görüldüğü üzere, 500A/5A akım transformatörleri ile yapılmaktadır.

4.2.5 Asenkron Gecikme Koruması

Motor normal çalışma rejiminde, her hangi bir nedenden ötürü asenkron hıza düşerse, *asenkron çalışma* alarmı verilir. Eğer bu asenkron çalışma durumu 40 saniye devam ederse, sistem orta gerilim kesicisini açtırarak motoru durdurur. Bu korumanın kullanılmasının sebebi; motor asenkron çalışmada uzun süre kalırsa, amortisör sargılarından akım akar ve bu sargılar ısınarak motora zarar verir. Senkron motorlarda amortisör sargıları, sadece kısa süreli olarak yüksek akım altında çalışmak üzere imal edilirler.

4.2.6 Tristör Sıcaklığı Koruması

Her bir tristör soğutucusu üzerine ikişer adet termik monte edilmiştir. Bunlardan biri 90°C'de diğeri ise 100°C'de kontak verecek şekilde seçilmişlerdir. Eğer bu soğutucuların sıcaklığı 90°C'yi geçerse sistem uyarı verir. Yani motor durdurulmaz. Fakat sıcaklık 100°C'yi geçerse ve 60 saniye boyunca bu durum devam ederse, o zaman sistem kesicileri açtırarak korumaya geçer.

4.2.7 Kalkışta Gecikme Koruması

Motora kalkış komutu verildiğinden itibaren bir zamanlayıcı devreye girer. Eğer motor ayarlanan süre boyunca, yaklaşık 30 saniye, senkron çalışmaya geçmezse, sistem kesicileri açtırır. Amortisör sargılarının ve stator sargılarının ısınması göz önüne alınarak bu çeşit bir koruma kullanılmıştır.

4.2.8 Uyarma Akım Koruması

Doğrultucu çıkışındaki akım 500A/75mV 'luk bir şönt dirençle, R_{SONT}, algılanmaktadır. Okunan bu değer 0...10Vdc gerilime çevrilip PLC'nin analog girişene uygulanmaktadır. Lineer olarak ölçeklendirilmiş olan bu değere göre, doğrultucu akımı 175A'in altına veya 400A'in üstüne çıkarsa, sistem kesicileri açtırıp korumaya geçecektir.

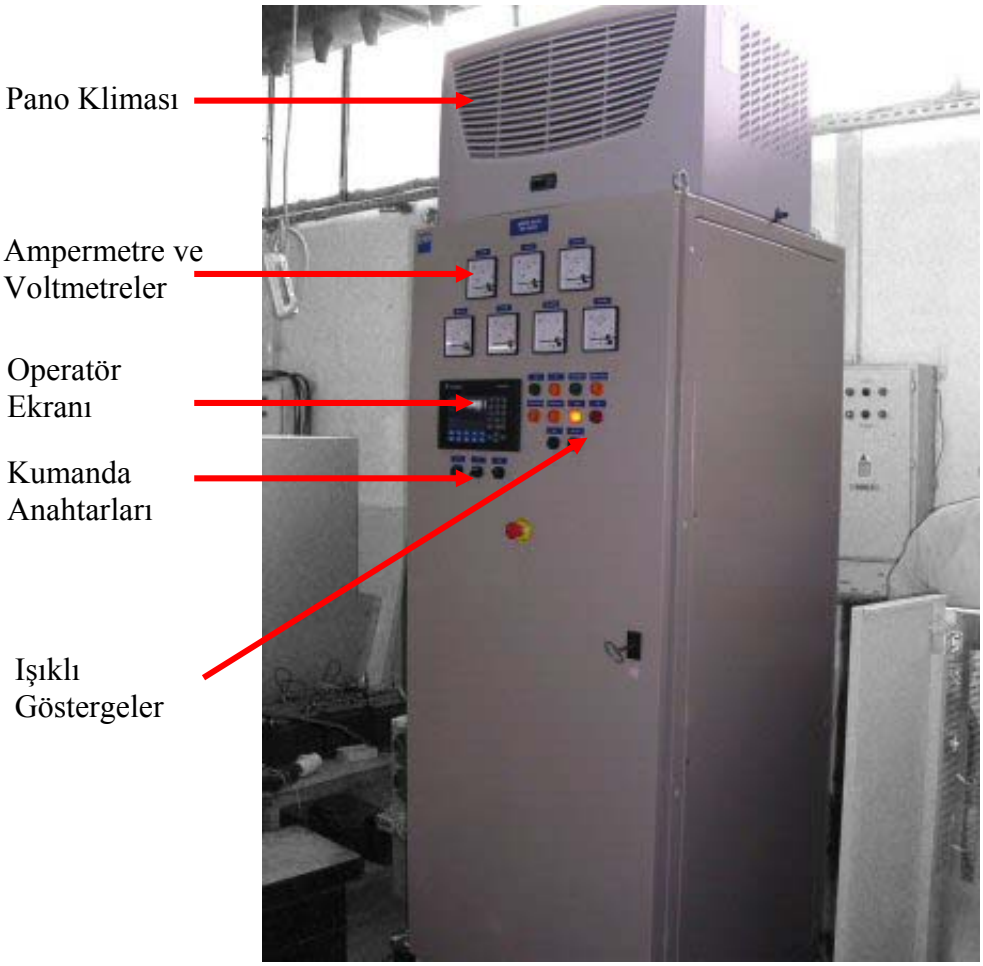
4.2.9 İkaz Güçlendirme Koruması

Motor senkron çalışırken, stator gerilimi, nominal geriliminden %10 kadar düşerse, kontrol birimi operatör panelde ikaz güçlendirme akımı bölümüne girilen değer kadar uyarma sargısının akımını arttırır. Stator gerilimi, nominal gerilimin %90'ının altında olduğu sürece ikaz güçlendirme yapılır. Eğer gerilim daha da düşüp, yani nominal gerilimin %85'inin altına düşerse sistem düşük gerilim arızasından dolayı kesicileri açtırır. Bu koruma daha önce de bahsedildiği gibi, senkron çalışma

esnasında hızın asenkrona düşmesini engellemek ya da asenkrona düşmüş olan motorun hızını tekrar senkrona getirmek için kullanılır.

4.3 Senkron Motor Uyartım Panosu

Sistemin, deşarj direnci dışında tüm elemanlarını içinde barındıran, IP50 koruma sınıflı, endüstriyel klimalı, 800 x 2500 x 800mm boyutlarında, operatör paneli ve kumandası ön kapağında yer alan, kömür tozu bulunan ortamlarda rahatça çalışabilen panosu üretilmiştir. Pano içerisinde güç ve kontrol kısmı birbirinden ayrılmış, elektromanyetik gürültü problemleri en aza indirilmiş ve ayrıca güç kısmının daha iyi soğultulması sağlanmıştır.



Şekil 4.18: Gerçekleştirilen Uyartım Sistemi Panosu

Tablo 4.2: Senkron Motor Uyartım Panosu Özellikleri

Nominal Giriş Gerilimi	133 V_{ac}, 3 faz, ± %15
Nominal Giriş Frekansı	50 Hz
Kontrol Beslemesi Gerilimi	380 V_{ac}, 50 Hz, ± %15
Kontrol Beslemesi Gücü	5 kVA
Kontrol Birimi	PLC, SLC 5/03, Allen-Bradley
Klima	Rittal SK 3386-140
Nominal Çıkış Gerilimi	50 V_{dc}
Nominal Çıkış Akımı	220 A_{dc}
Nominal Çıkış Gücü	11 kW
İkaz Güçlendirme Akımı	420 A
İkaz Güçlendirme Süresi	50 saniye
Deşarj Direnci	1,6 ohm, 100A
Boyutlar (Gen x Yük x Der)	800 x 2500 x 800 mm
Renk	RAL 7032
Ağırlık	350 kg
Koruma Seviyesi	IP 50

4.3.1 Operatör Paneli

Operatör paneli, uyartım sistemi ile ilgili alarm, arıza, akım, gerilim, frekans, kesici konumları gibi bilgilerin izlenebileceği, tablo 4.3'teki parametrelerin girilebileceği, alarm ve arıza kayıtlarının alınabileceği, makine-insan arabirimidir. Allen Bradley firmasının Panelview 550 ekranı kullanılmış, uyartım sistemine göre programlanmıştır.

Tablo 4.3: Operatör Paneli Parametre Ayarları

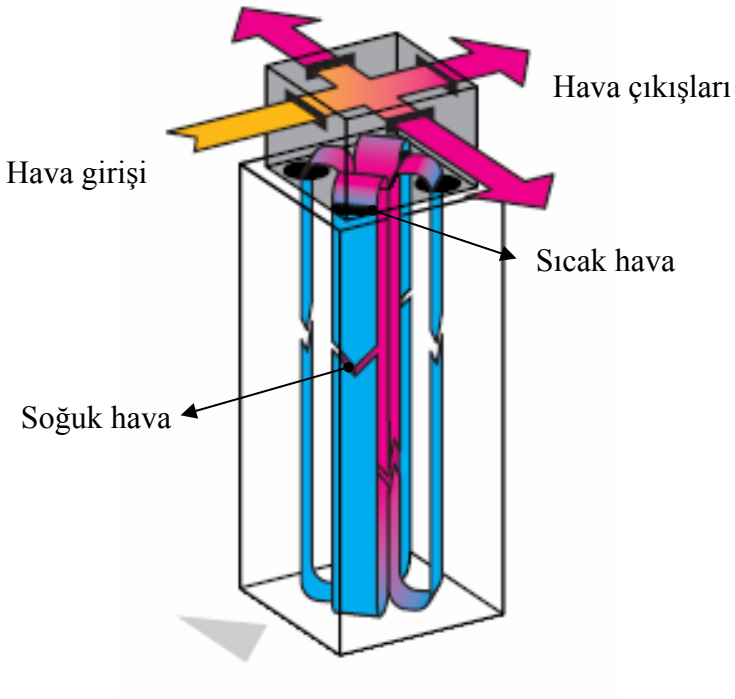
Veri	Değeri	Ayar Aralığı
İkaz Akımı	220 A	50...250 A
İkaz Açısı	115 drc	40...120 drc
Kalkışta Gecikme Süresi	30 sn	10...45 sn
Asenkron Çalışma Süresi	40 sn	10...60 sn
Senkron Altı Frekansı	2,5 Hz	2...5 Hz
İkaz Güçlendirme Akımı	420 A	250...430 A
İkaz Güçlendirme Süresi	46 sn	10...50 sn
Hazır Verme Süresi	60 sn	10...100 sn



Şekil 4.19: Operatör Ekranı

4.3.2 Klima

Panoların çalışma ortamı yazın çok sıcak ve kömür tozu oranı fazla olduğundan, pano içerisindeki elektronik cihazları korumak, tristörleri soğutmak amacıyla Rittal marka klima kullanılmıştır. Kabin çatısına yerleştirilen klima, havayı ön yüzünden alıp diğer yüzlerinden dışarı atar. Soğuk hava kabin içinde düzgün bir şekilde dağılır.

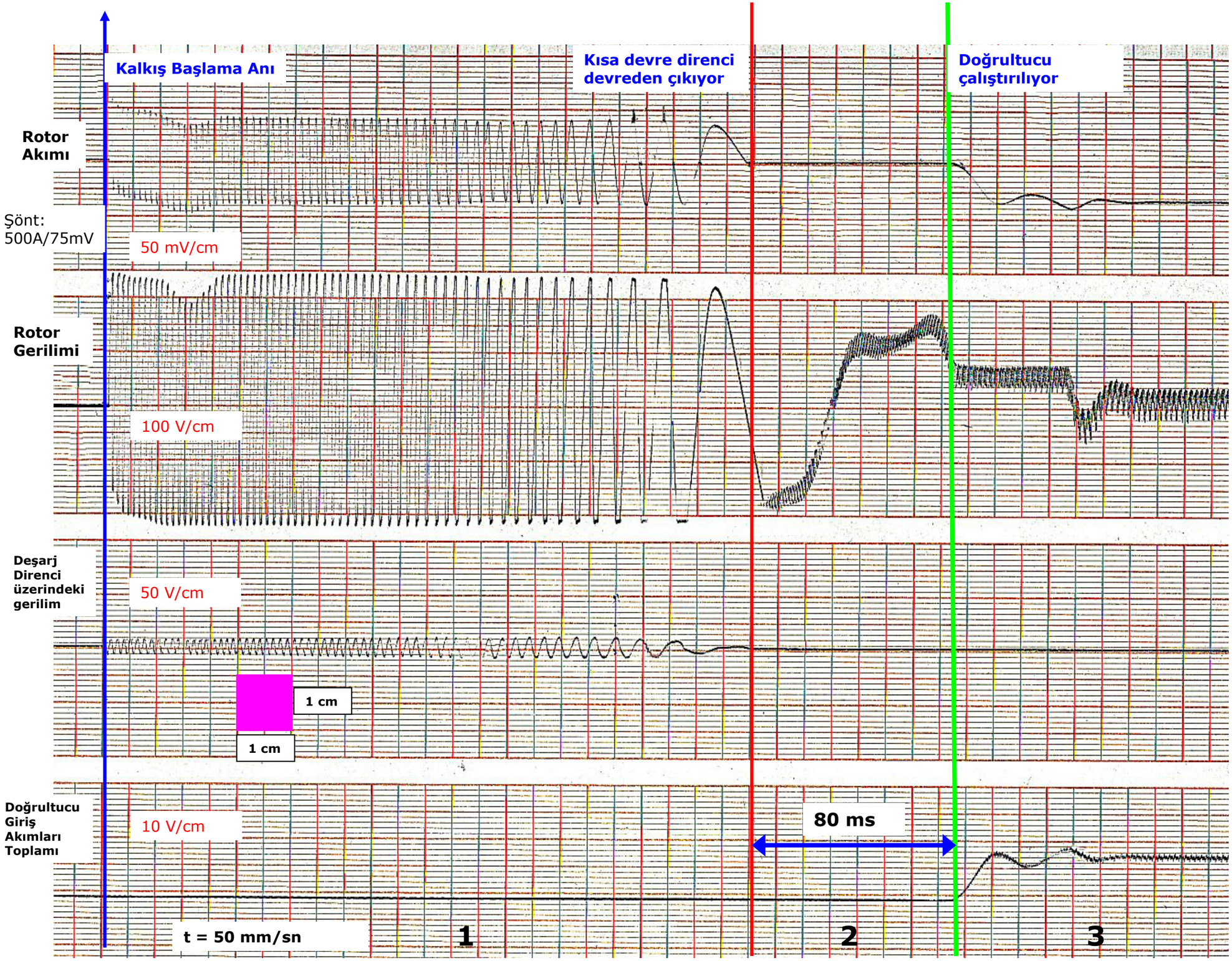


Şekil 4.20: Klima ve pano içi hava dolaşımı

4.3.3 Osilograf Çıktısı

Gerçek zamanlı osilograf cihazı ile yapılan ölçümlerde şekil 4.21'deki çıktı alınmıştır. Motora yol verirken bağlanan osilograf, motor normal çalışma rejimine girdiğinde durdurulmuştur. Dört farklı noktadan alınan değerler için, tamamen izole ve birbirinden zaman ve genlik olarak bağımsız analog girişler kullanılmıştır. Burada, rotor akımı, doğrultucu çıkışındaki şönt direnç üzerinden ölçülmüştür. Rotor gerilimi, uyarma sargı uçlarından, yani DC bara çıkışından alınmıştır. Deşarj direnci üzerindeki gerilim, doğrudan direnç üzerinden ölçülmüştür. Doğrultucunun çalıştığı anın görülebilmesi amacıyla küçük bir doğrultucu devresi kullanılıp, doğrultucu giriş akımları toplanmıştır.

Motora yol verme işlemi üç farklı zamana ayrılabilir. Birincisi, motora start verildiğinde uyarma sargısında alternatif gerilimin oluştuğu asenkron çalışma evresidir. Bu esnada stabilitron devrededir ve uyarma sargısında endüklenen alternatif gerilim, deşarj direnci ile sönümlendirilir. Doğrultucu devresi çalışmadığından, girişten akım çekilmez. İkinci olarak, geçici bir evreden söz edilebilir. Bu esnada hem doğrultucu devrede değildir, hem de stabilitron çalışmamaktadır. Bu evrede uyarma sargısındaki gerilim de yine alternatif gerilim formunda fakat kararlı değildir. Bu gerilimin yükselmemesini sağlayan tutma dirençleridir. Bu evrenin mümkün olduğu kadar kısa olması gerekmektedir. Özellikle yük altında kalkışta, stabilitron devresi kesildiğinde anında doğrultucu bunu takip ederek çalışmalıdır. Üçüncü evrede ise normal çalışmaya geçilir. Bu andan itibaren motor senkron hızda dönmektedir. Doğrultucu devreye girmiş, uyarma sargısı doğru akımla beslenmeye başlamıştır.



Şekil 4.21 Senkron motora yol verme esnasındaki osilograf çıktısı

5. SONUÇLAR

İskenderun Demir ve Çelik İşletmesi, Deniz Suyu İstasyonu için yapılmış olan bu senkron motor uyartım sistemi, aslında yapı itibari ile mevcut uyartım sistemleri ile benzerlik göstermektedir. Bu tip bir projede hesaplanması gereken en önemli eleman deşarj direncidir. Mevcut eski sistemlerin deşarj dirençleri incelenerek, yapılan testler ile değerleri belirlenmiştir.

Diğer sistemlere göre PLC ile uyartımın gerçeklenmesi bir çok avantajı beraberinde getirmektedir. Öncelikle yeni bir mikroişlemci kartı tasarımı gerekmemektedir. Bu yüzden PLC'li sistem daha güvenilir ve endüstriyeldir. Ayrıca gelecekte bununla ilgili malzeme tedarik sıkıntısı bulunmamaktadır. Bu sistemin diğer bir avantajı da, programlanabilme özelliğinden dolayı, gelecekte programda değişiklik yapıp, yeni durumlara adapte edilebilmesidir.

Sistemin basit bir yapısı olmasına karşın, motorla ilgili korumalar karmaşık ve önemlidir. Frekansın ölçülmesi ve uygun değerinde doğru akımın verilmesi gerekliliğinden, kullanılması gereken analog giriş seçilen PLC modülü için uygun olmadığından ve fiyat açısından bu iş için elektronik kart yapmak uygun olduğundan, bazı korumalar için PLC kullanılmamış, arabirim kartının tasarımı yapılmıştır.

Devreye almayı daha da hızlandırmak için İTÜ Elektrik Makinaları Laboratuvarında panonun testi yapılmış ve raporlanmıştır.

Tasarım aşamasında ve devreye almada, panonun sorunsuz çalıştığı ve PLC kullanmanın hem işletmeye hem de üreticiye oldukça kolaylık sağladığı görülmüştür.

Gelecekte üretilecek sistemlerde kontrol birimi daha da basitleştirilerek üretim ve kullanım maliyetleri azaltılabilir.

KAYNAKLAR

[1] **Sarıoğlu, M. K.**, 1972. Elektrik Makinalarının Temelleri (Senkron Makinalar), Birsen Yayınevi, İstanbul, 2002

[2] **Wildi, T.**, 2000. Electrical Machines, Drive, and Power Systems, 4th ed., Prentice Hall, New Jersey, 2000

[3] **GE Industrial**, Synchronous Motor Protection Control Manual, rev. A6

[4] **Schaefer, R.C.**, 1999. Excitation Control of the Synchronous Motors, *Industry Applications, IEEE Transactions on Volume 35*, Issue 3, May-June 1999 Page(s):694-702

[5] **Schaefer, R.C.**, 1997. Application of Static Excitation Systems For Rotating Exciter Replacement, *Pulp and Paper Industry Technical Conference*, 1997, Annual, 16-20 June 1997, Page(s):199-208

[6] **Enerpro**, FCOG6100 User and Wiring Manual, 1991

[7] **Kurtkaya, O.**, 2003. Senkron Motor İkaz Sistemi Kullanım Kılavuzu, EKA, rev.1.0, 2003

[8] **Ong, C.**, 1997. Dynamic Simulation of Electric Machinery Using MATLAB and SIMULINK, Prentice-Hall, New Jersey, 1998

[9] **Boduroğlu, T.**, 1976. Elektrik Makinaları Dersleri (Teori, Hesap ve Konstrüksiyon), Beta Basım Yayın Dağıtım A.Ş., İstanbul, 1998

[10] **Farr, L.B.**, 1994. Synchronous Motor Field Controllers and Their Application, *IEEE Transactions on Industry Applications*, Volume 30, No 1, Jan-Feb 1994

[11] **Allen Bradley**, SLC500 Modular Hardware Style User Manual, 2004

ÖZGEÇMİŞ

Lisans

1998 - 2002	İstanbul Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Fakültesi Elektrik Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans

2002 - 2006	İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı

Çalıştığı Kurumlar

04/1999 – 10/2000	İTÜ SANEG Laboratuarları Öğrenci Asistanlığı
10/2002 – 11/2004	EKA A.Ş. Ar-Ge Mühendisi
11/2005 - ...	VİB Otomasyon Proje Mühendisi