

T.C.
MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

. YÜKSEK LİSANS TEZİ

ELEKTRİK ELEKTRONİK PROGRAMI

KONU: ASENKRON MOTORLARA
YOLVERMEK

YÖNETEN: Prof Dr. ATIF URAL

HAZIRLAYAN: İSMAİL DEMİR

TEMMUZ 1984

İ Ç İ N D E K İ L E R

Sayfa

Önsöz

1

Teşekkür

1

b ö l ü m I

Asenkron motorlara yol vermenin kapsamı ve kullanılacak terimlerin tanımı

1-1	Yol vermenin tanımı	2
1-2	Asenkron motorda moment tanımı	3
1-2-1	Kalkış Momenti	3
1-2-2	Geçiş (Semerleşme) momentini	3
1-2-3	Devrilme Momenti	4
1-2-4	Nominal Momenti	4
1-3	Asenkron motorların rotor yapılarına göre tanımlanması	5
1-3-1	A Sınıfı (Normal Tip)	5
1-3-2	B Sınıfı (Yüksek Reaktanslı)	6
1-3-3	C Sınıfı (Çift kısadevre rotorlu)	7
1-3-4	D Sınıfı (Yüksek rezistanslı)	8
1-4	Asenkron motora yol vermenin kapsamı	9

b ö l ü m II

Kısadevre rotorlu asenkron motorların yol alma akımlarının incelenmesi

2-1	Aşırı akım çekişin genel halinin açıklanması	10
2-2	Aşırı akım çekişin özel halinin açıklanması	16
2-2-1	Gerilim sıfırdan geçerken motorun şebekeye irtibatlanması	16
2-2-2	Asenkron motorun şebekeye irtibatının kesilip kısabir zaman sonra tekrar irtibatlanması	17

b ö l ü m III

Akım kontrol amaçlı ile yol vermek

3-1	Asenkron motorlara direkt yol vermek	20
3-2	Yardımcı motor ile yol vermek	23
3-3	Asenkron motorlara direnç ile yol vermek	25
3-3-1	Yol verme direncinin hesaplanması	25
3-3-2	Dirençle yol verme devresi ve çalışması	28
3-4	Reaktansla yol vermek	30
3-4-1	Yol verme reaktansının hesaplanması	30
3-4-2	Reaktansla yol verme devresi ve çalışması	32

3-5	Oto transformatoru ile yol vermek	34
3-5-1	Yol verme transformatoru olarak oto transformatoru	34
3-5-2	Oto transformatorunda akım	37
3-5-3	Oto transformatoru ile yol vermede güç	38
3-5-4	Oto transformatoru ile yol vermek	40
3-5-4-1	Açıkdevre geçişli yol vermek	40
3-5-4-2	Kapalıdevre geçişli yol vermek	42
3-6	Yıldız-Üçken yol verici ile yol vermek	47
3-6-1	Yıldız-Üçken yol verilen motorlar	47
3-6-2	Yıldız-Üçken yol vermede Akım	49
3-6-3	Yıldız-Üçken yol vermede güç	51
3-6-4	Yıldız-Üçken yol vermede moment	52
3-6-5	Yıldız-Üçken Yol vermek	53
3-6-5-1	Açıkdevre geçişli Yıldız-Üçken yol vericiler ve çeşitleri	54
3-6-5-2	Kapalı devre geçişli Yıldız-Üçken yol vermek	61
3-6-6	Yıldız-Üçken yol vermede termiğin yeri	64
3-7	Silikon kontrollü doğrultucularla asenkron motora yol vermek	66
3-7-1	Giriş	66
3-7-2	(SCR) Tristörün yapısı ve U-I karakteristiği	66
3-7-3	Tristör (SCR) ile faz açısı kontrolü	68
3-7-3-1	UJT transistörlü tetikleme faz açısı kontrolü	71
3-7-3-2	Transistör ile tetikleme ve faz açısı kontrolü	75

b ö l ü m IV

4-1	Sonuç	82
4-2	Faydalanılan Kaynaklar	83

ÖNSÖZ

Endüstride kullanılan motorların 9/10 u asenkron motorlarıdır.

Asenkron motorlar konusunda çeşitli bilimsel yayınlar bulunmaktadır. Buna rağmen asenkron motorların endüstride çokça rastlanan yol verme problemlerine konunun pratiği yönünden yaklaşımda bulunan Türkçe yayın bulmak oldukça zordur. Elektrik bölümümüze yansıyan endüstriyel problemlerin büyük çoğunluğu asenkron motorlara yol verme konusunda olmaktadır. Özellikle küçük işletmelerde karşılaştığımız problemler bu konuda bir boşluğun bulunduğu kanısını uyandırmaktadır. Evleri endüstriyel tesislere yakın olan sade vatandaşın yaşamını bilen, elektrik ampulünde ışığın azalması, televizyonda görüntü bozulması şeklinde girmiş bulunmaktadır. Şüphesiz bütün problemler asenkron motorların yol almasından dolayı çıkmamakla birlikte elektrik enerjisinin verimli kullanılması konusunda yol almanın payının küçük olacağı söylenemez. Amacım, yol verme kusurları nedeni ile endüstride ve şebekede çıkabilecek problemlerin azaltılmasında her türlü iddiadan uzak olarak yardımcı olmaktır.

TEŞEKKÜR

Kaynak kitap temininde yakın ilgi ve değerli katkılarda bulunan Sayın hocalarım Prof.Dr. İlhami Çetin ve Doç.Dr. Nesrin Tarkan'a bu vesile ile teşekkürlerimi arz ederim.

Bu tezin bana verilmesinde ve hazırlanmasında değerli fikirleri ile katkıda bulunan Sayın hocam Prof.Dr. Atıf Ural'a bu vesile ile şükranlarımı sunarım.

**ASENKRON MOTORLARA YOL VERMENİN KAPSAMI VE KULLANILACAK
TERİMLERİN TANIMI**

1-1 Yol vermenin tanımı:

Bir asenkron motorun bağlı bulunduğu şebekeden, asenkron motor ve şebeke özel talimatlarında belirtilenden, aşırı akımlar almaması şartı ile sıfır devirden nominal devire kadar mümkün olan en yüksek yol alma momenti ile hızlandırılmasına denir. (5)

Mevcut akım şebekelerinden istenildiği kadar büyük akımlar gelişini güzel çekilemez. Aksi halde büyük gerilim düşümlerine sebep olur. Gerilim düşümünün belirli boyutları aşması ise o şebekede bulunan diğer cihazları ve asenkron motorları olumsuz yönde etkiler. Bu sebeple üç fazlı asenkron motorların enerji şebekesine nasıl bağlanacağı yöresine göre Türkiye Elektrik Kurumunun (TEK) teknik şartnamelerinde belirtilir. Ancak güçleri çok büyük motorların enerji şebekesine bağlanabilmesi için kurumun özel izni gereklidir. Ancak kendi trafo istasyonlarına sahip müesseseler ayrıcalığa sahiptir.

Ahşak gerilim şebekesine bağlanabilecek asenkron motorların en büyük anma güçleri aşağıda belirtilmiştir.

Motor cinsi	Yol verme yöntemi	Gerilim (Volt)	Maksimum anma gücü (KW)
1 Fazlı kısa devre rotorlu asenkron motor	Direkt yol verme	220	1,1
3 Fazlı Kısa devre rotorlu asenkron motor	"	380	4
"	Yıldız- Üçgen	380	11

(5) Bak faydalanılan 5 nolu eserde sayfa 174

Motor cinsi	Yol verme yöntemi	Gerilim (Volt)	Maksimum anma gücü (KW)
3 fazlı kısadevre rotorlu asenkron motor	stator ve rotor yol vericisi ile yol vermek: 1- Dirençle yolvermek 2- Oto transformatörü ile yol vermek 3- Rotor yol vericisi ile yol vermek	380	15

1-2 Asenkron motorda moment tanımı:

Asenkron motorların önemli noktalarındaki moment değerlerini aşağıdaki gibi tanımlayabiliriz. (Şekil 1-1) bu moment değerlerini devir-momet karakteristiği eğrisi üzerinde göstermektedir.

1-2-1. Kalkınma (kalkış) momenti:

Nominal gerilim ve frekansta enerji uygulanan bir asenkron motorun enerjiyi aldığı anda rotorunu kilitleyebilen en küçük moment edgeridir. İlerdeki açıklamalarda M_k ile belirtilecektir.

1-2-2. Geçiş (Semerleşme) momenti: (9)

Asenkron motorlarda senkron ve asenkron yüksek harmoniklerin ve sarsıcı kuvvetlerin sebep olduğu minimum moment değeridir. M_g ile belirtilecektir

Stator ve rotor arasındaki hava aralığında meydana gelen alanın değişimi pratik yönden sinusoidal bir halde olamaz. Osiloskopta bu alanın değişimi (Şekil-1-12) belirtilmiştir. Bu değişim ana firekansın katlarında frekansa sahip mmk meydana gelmesine neden olur. Rotorda ve statorda meydana gelen bu harmoniklerden başka stator ve rotor dişlerinin dönme esnasında karşı karşıya gelmesinde meydana gelen tek yönlü radyal kuvvetler sarsıcı kuvvetleri meydana getirir. Stator ve rotor sargısındaki sarsıcı kuvvetler senkron, asenkron döndürme momentleri zararlı kuvvetlerdir ve motorun moment karakteristiğinde istenmeyen geçiş momentinin oluşmasına sebep olurlar. Motor yapımcıları bunu engellemek için çeşitli hesap ve pratik yöntemler uygulayarak geçiş momentinin etkisini azaltmaya çalışmaktadır. Fakat A ve B sınıfı asenkron motorlarda bu momentin etkisini yok etmek mümkün olmamaktadır.

Bu momentin değeri yol verme esnasında (Nominal devir adedine ulaşmadan önce) Motor miline bağlı M_y yük momentinin M_g büyük olması halinde motor (şekil 1-1-1)de belirtilen (n_g) devir sayısına takılıp kalacaktır. Bu durum motorun şebekede nominal akıma nazaran hayli büyük akım çekmesine neden olur.

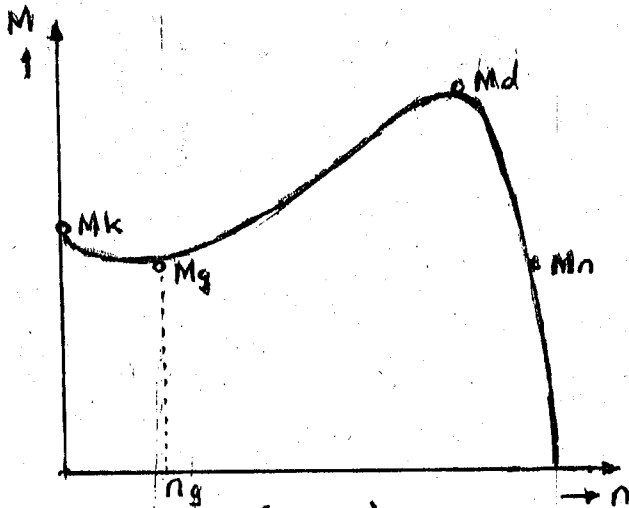
Açıklamaya çalıştığımız durum ve yol alma akamlarının büyüklükleri nedeniyle belirli bir güçten sonra yol verme gereksinmesi gösteren A ve B sınıfı motorlarda yol verme nedeni ile gerilimin karesi ile orantılı moment düşecektir.

A ve B sınıfı motorların yük altında yol almasının tercih edilmemesi bundan dolayıdır.

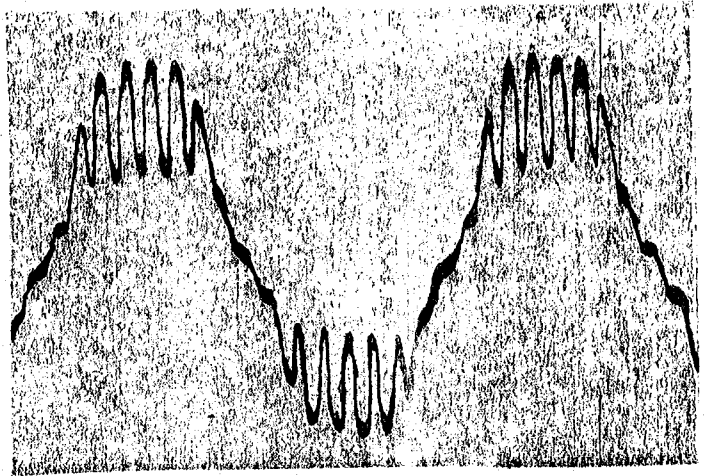
1-2-3. Devrilme momenti:

Yol almada momentin ulaşabileceği maksimum değer veya aşırı yüklemeye devirrin hızla sıfıra yaklaşmaya başladığı moment noktasıdır. M_d ile gösterilecektir

1-2-4 Nominal moment: Nominal gerilim ve frekansta çalışmakta olan bir asenkron motorun tam yükte milinden alınan momenttir. M_n ile gösterilecektir. (M_n)



Şekil (1-1-1)



Şekil (1-1-2)

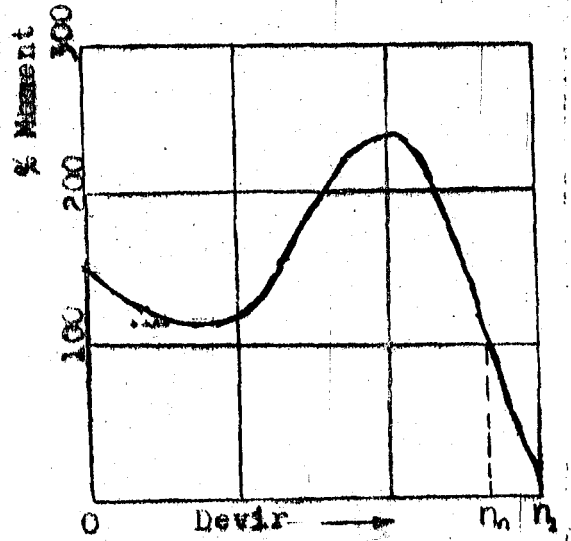
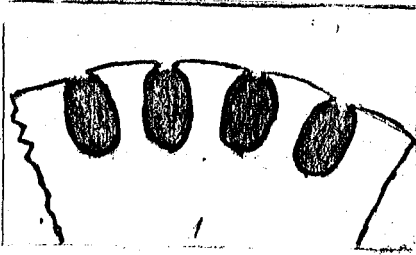
1-3 Asenkron motorların rotor yapılarına göre tanımlanması:

Asenkron motorların rotor yapılarına göre tanımlanması aşağıdaki bilgilerin hatırlanması yönünden faydalı olacaktır.

- Motor sınıflarına göre yol alma akımının değışiimi,
- " " " devir-Moment karakteristiğinin incelenmesi
- Yük altında yol alabilmesinin incelenmesi.

Amerikan Standartlar Birliğı (ASA)⁽⁹⁾ ve (NEMA) (National Electrical Manufacturers Association)⁽¹³⁾ Elektirikli İmalatlar birliğınce rotor yapılarına göre asenkron motorlar A dan R ye kadar 15 sınıfa ayrılmaktadır. Edinilen bilgiye göre ülkemizde bunlardan imalatı yapılanlar A,B,C,D sınıflarına girenlerdir.⁽¹⁴⁾ konuya bu açıdan yaklaşarak her birinin yol vermede göstereceğı özellikleri özetleyerek belirleyelim.

1-3-1 A sınıfı: (Normal tip)



Şekil (1-3-1)

Bu sınıfa giren kısa devre rotorlu asenkron motorlar (Şekil 1-3-1) görüleceğı gibi oyukları rotor yüzeyine yakındır. Kısa devre çubuklarının kesiti kalındır. bu nedenle rotor empedansı diğer sınıflara nazaran daha düşüktür. Yol alma akımı nominal akımının 5-7 katı olan A sınıfı asenkron motorların kalkınma momentleri nominal momentin birbuçuk katıdır. Devrilme momentleri nominal momentinin ikibuçuk katına kadar çıkar. Fakat moment karakteristiğı, devrilme momenti ile kalkınma momenti arasında çalışma bölgesinde iyi değildir. Geçiş momentinden düşük yük momentleri için yük

(9) Bak faydalanılan 9 nolu eser sayfa 181

(13) " " 13 " " " 336-337-616

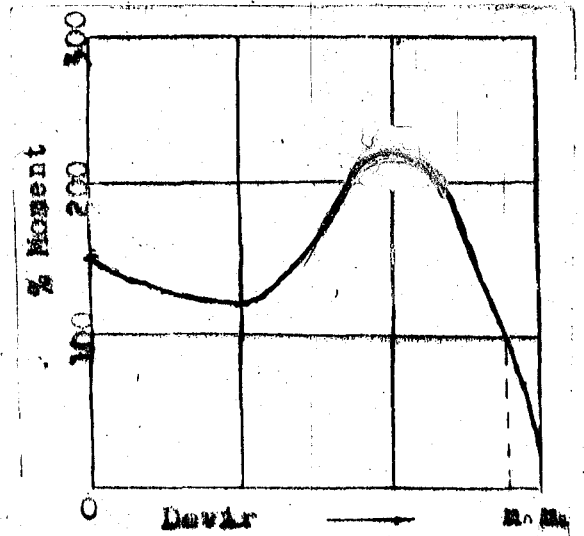
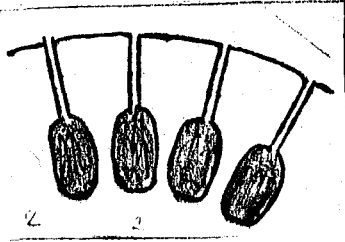
(14) " " 14 " " "

altında yol alabilir. Bu durum normal çalışmada verimi düşüreceğinden tercih edilmez.

Yol alma akımının nominal akımın 5-7 katı olması 40 KW'dan yukarı güçlerde düşük gerilimle yol vermeyi mecburi hale getirir. Düşük gerilimle yol vermede moment gerilimin karesiyle orantılı olacağından kalkınma ve geçiş momentleri daha düşüktür.

Belirtilen nedenlerle bu motorlar yük altında yol alamaz genel amaçlar için kullanılırlar. Kullanılma yerleri merkez kaç pampalar torna, fre matkap, motor generatör grupları, vantilatörler gibi düşük kalkınma moment isteyen veya boşta yol alan iş makineleridir. Yol alma dışında çalışma karakteristikleri iyi verimleri yüksektir.

1-3-2 B sınıfı : (Yüksek reaktanslı)

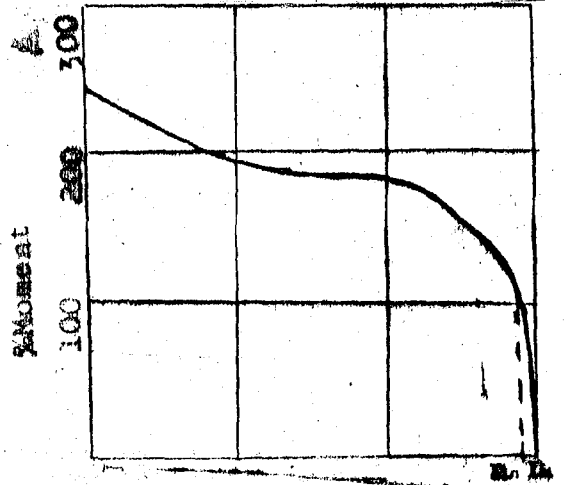
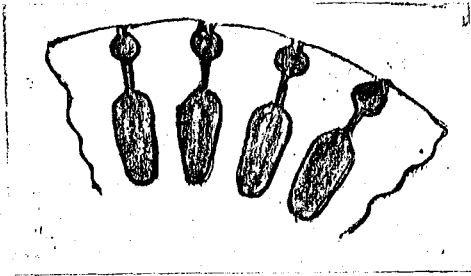


Şekil 1-3-2

Genel amaçlar için kullanılan bu asenkron motorların rotorlarında derin olukların yerleştirilen rotor çubukları derinlik belirli bir sınırı aşınca akım yığılması kendini gösterir. Bu durum rotor reaktansının artmasına sebep olur. Bilhassa yol alma esnasında rotor frekansının en büyük değerde olması rotor reaktansının da en büyük değerini almasını sağlar. Şekil(1-3-2)de bu oyuk yapısını ve moment devir karakteristiğini görmekteyiz. rotor reaktansının büyük olması rotor empedansını da artırarak ilk kalkış anında nominal akımın 4,5-5 katı akımla yol almasını sağlar. Nominal momentlerin birbuçuk katı kalkınma momentine sahiptir. Birçok yapımcı firma 5 H

ve yukarı motorları B sınıfında yapmaktadır. Kullanıldığı yerler A sınıfının aynıdır. Devrilme momentleri nominal momentlerinin 2-2,25 katı civarındadır. Yol vermeye konu olacak motorlardan ikincisidire yol alma dışındaki çalışma karakteristikleri iyi ve verimleri yüksektir.

1-3-3 C sınıfı: (Çift kısadevre motorlu)



Şekil (I-3-3)

Şekil(I-3-3) de görüleceği gibi rotorunda çift kısa devre sargısı mevcuttur. Bunlardan alttakine işletme sargısı stekine ise yol verme sargısı denir. Nominal gerilimde kalkınma momenti nominal momentin 2,25 katıdır. Yol alma akımı nominal akımın 4,5 ila 5-katıdır. yol verme kafesinin bulunması rotor kayıplarını artıracığından A ve B sınıfı motorlara nazaran verimi düşüktür. Fakat kalkınma momentinin büyüklüğü yük altında yol almasını sağlar. Ortalama olarak nominal momentin 2 katı olan moment, nominal momentin %80'ine kadar devam ettirmesi yük altında kalkınmasına sebep olur.

Bu özelliğinden dolayı hava kompresörleri, karıştırıcılar (mixser) yük altında kalkınan konveyörler, büyük soğutma cihazları, yüksek kalkınma momenti isteyen diğer uygulamalarda kullanılır.

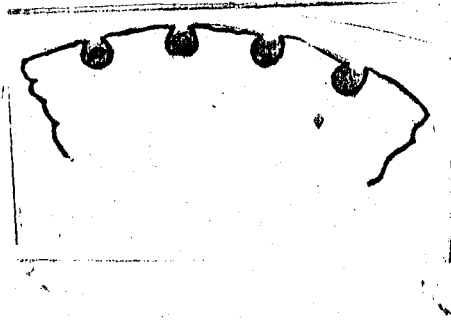
Bu sınıfa dahil motorlara yol vermek momentini düşüreceğinden tercih edilmez. Yol alma müddetleri uzun olduğundan fazla ısınır. (5) Rotor sarımları özgül iletkenliği 8-10 ohm/m olan özel bronzdan yapı-

(5) Bak faydalanılan (5)Nolu eserde sayfa 19

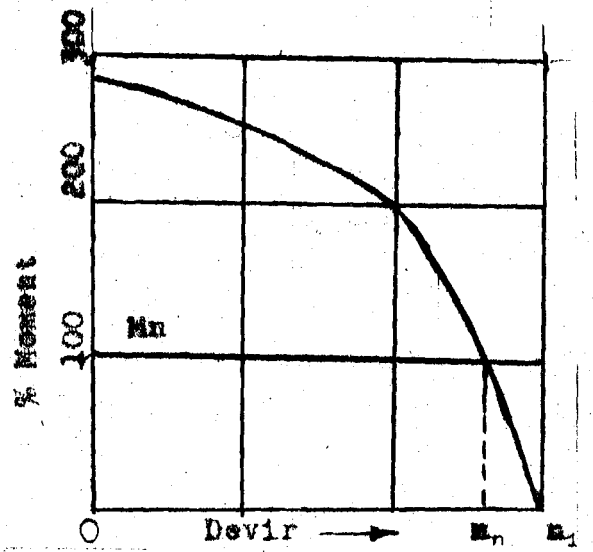
lar.

1-3-4 D. sınıfı: (Yüksek rezistanslı)

Şekil(I-3-4) da görüleceği gibi kısa devre kafesi rotor yüzeyine yakın kesiti küçük ve özgül iletkenliği 8-10 ohm/m olan bronz malzemenin yapılır. Nominal gerilim altında kalkınma momentleri nominal momentin 2,75 katıdır. Yol alma akımları düşüktür. Motorda devir adedi arttıkça momentin düştüğü devir moment karakteristliğinden görülmektedir. Ayrıca motor yüklendikçe A,B,C sınıfı motorlara nazaran devir adedinde düşme daha fazla olur.



Şekil (I-3-4)



Rotor direncinin yüksek olması sürekli çalışmada kayıpları çoğaltacağından verimleri düşüktür. Devir moment karakteristlikleri iyi değildir. Bu nedenle kesintili çalışan fakat yüksek kalkınma momentini isteyen yerlerde kullanılır. Kullanıldığı yerler olarak, delme-presleri, makaslar, küçük vinçler, volanlı makineler, şeker santrüfjüleri, metal kesme makineleri sayılabilir.

1-4-4 ASENKON MOTORLARA YOL VERMENİN KAPSAMI.

Asenkron motorların, yol alma akımı, moment devir karakteristikleri ve bunların kontrolleri endüstriyi ilgilendirmektedir. Belirtilen büyüklüklerin kontrolleri amacı ile yol vermeyi aşağıdaki guruplara ayırabiliriz.

a- Yol alma akımını kontrol amacı ile yol vermek

b- Moment kontrolü amacı ile yol vermek

c- Devir adedi kontrolü amacı ile yol vermek

Bazı yol vermeler yukarıda belirtilen üç amacı da içinde toplayabilir. Örneğin rotoru sargılı asenkron motora yol vermede rotor sargısına direnç ilave edilmesi ve bunların yol verme müddätince kademe, kademe devreden çıkarılması (ilk kalkışta motorun sekonderi yüklü bir tırfo haline getireceği için) bu motoru A ve B sınıfı motorlara nazaran daha az akım çeker hale getirir. Böylece yol alma akımı kontroluna yardımcı olur.

Diğer taraftan rotor sargısına direnç ilave edip çıkarmak kısmen devir ayar imkanı sağlar. Bu motorun yapımında temel amaç ağır işleme şartlarında kalkıştan itibaren nominal devir adedinin %80-90'a ulaşincaya kadar ortalama momentin değerini nominal momentin 2-2,5 katı arasında tutmaktır.

Bu tezin önceden saptanarak bana belirtilen sınırlarını aşmamak için yol verme akım kontrolunu amaçlayan konu ele alınıp açıklanacaktır

2- KISA DEVRE ROTORLU ASENKRON MOTORLARIN YOLALMA AKIMLARININ İNCELENMESİ

2-I Aşırı akım çekişin genel halinin açıklanması:

A,B,C,D sınıfı asenkron motorların eşdeğer devresini şekil(2-I-I) görüldüğü gibi çizebiliriz. Şekilde stator ve rotor sarım sayısı I/I kabul edilmiştir.

Şekilde: X_1 Stator reaktansı

R_1 Stator direnci

X_2 Rotor reaktansı

R_2 Rotor direnci

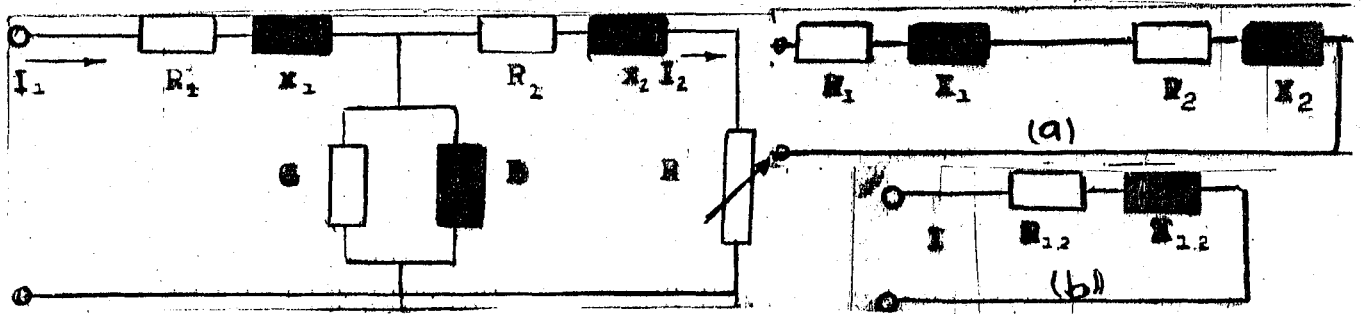
G Kondüktans

B süseptans

R Motor milinden alınan mekanik gücün, elektrik eşdeğerinin direnç bileşenidir.

$$R = R_2 \left(\frac{I - S}{S} \right)$$

(2-I-I)



Şekil(2-I-I)

Şekil(2-I-2)

Motora ilk enerji verildiğinde (t_0 Anında) $S = I$ olduğu için (2-I-I) formülünden:

$$R = R_2 \cdot \frac{I - I}{I} = R_2 \cdot 0 = 0 \text{ olur.}$$

Dikkat edilirse şekil(2-I-I) de rotor devresinde ilk kalkışta X_2 reaktansı ve R_2 direnci vardır. Rotor gerilimi çok küçük olan $Z_2 = \sqrt{R_2^2 + X_2^2}$ empedansı üzerinden kısa devre olur. Bu nedenle ilk yol alma anında asenkron motoru sekonderi kısa devre edilip primerine nominal gerilim uygulanmış bir transformator olarak kabul edebiliriz. Şekil(2-I-2) deki devrede miknatıslama akımı ihmal edildiğinde devre şekil(2-I-2a)da belirtilen hale gelir. Devreyi dahada basitleştirerek şekil(2-I-2b) elde edilir. Bu basitleştirmenin sonucu bir reaktans bobini elde edilir. (Bobinin kapasitesinden dolayı meydana gelecek frekanslı titreşimler ihmal edilecektir.)

Bu reaktans bobininin R_{12} omik ve X_{12} reaktansında düşecek gerilimler kısadevre asenkron motor için önemlidir. Daima uygulanan gerilimle dengeyi muhafaza etmek zorundadır. Bu devre aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$Ri + L \frac{di}{dt} = U_m \sin wt \quad (2-1-1)$$

(2-1-1) lineer diferansiyel denklemi çözüldüğünde,

$$Ri + L \frac{di}{dt} = 0$$

$$Ri = -L \frac{di}{dt} \quad \text{ve} \quad \frac{R}{L} i = -\frac{di}{dt}$$

$$\frac{di}{i} = -\frac{R}{L} dt \quad \text{her iki tarafın integralini aldığımızda}$$

$$\int \frac{1}{i} \cdot di = \int -\frac{R}{L} dt \quad \text{buradan} \quad \ln i = -\frac{R}{L} t + \ln c$$

$$\ln i - \ln c = -\frac{R}{L} t$$

$$\ln \frac{i}{c} = -\frac{R}{L} t \quad \text{buradan} \quad \ln \frac{di}{c} = \ln e^{-\frac{R}{L} t} \quad \text{ve} \quad \frac{i}{c} = e^{-\frac{R}{L} t}$$

$$i = c \cdot e^{-\frac{R}{L} t}$$

(2-1-2)

c burada integral sabiti olup aynı zamanda değişkendir. Bu değişkenin değerini bulmak için denklem 2-1-2 nin türevi alınır.

$$\frac{di}{dt} = c' \cdot e^{-\frac{R}{L} t} + c \cdot \frac{R}{L} \cdot e^{-\frac{R}{L} t} \quad (2-1-3)$$

denklem(2-1-2) ve (2-1-3) de bulduğumuzu (2-1-1) de yerine koyalım.

$$R \cdot c \cdot e^{-\frac{R}{L} t} + L \cdot \left(c' \cdot e^{-\frac{R}{L} t} - c \cdot \frac{R}{L} \cdot e^{-\frac{R}{L} t} \right) = U_m \sin wt$$

$$R \cdot c \cdot e^{-\frac{R}{L} t} + L \cdot c' \cdot e^{-\frac{R}{L} t} - L \cdot c \cdot \frac{R}{L} \cdot e^{-\frac{R}{L} t} = U_m \cdot \sin wt$$

$$L \cdot c' \cdot e^{\frac{-R}{L}t} = U_m \cdot \sin \omega t$$

$$L \cdot \frac{dc}{dt} \cdot e^{\frac{-R}{L}t} = U_m \cdot \sin \omega t \quad dt$$

$$L \cdot dc \cdot e^{\frac{-R}{L}t} = U_m \cdot \sin \omega t \quad dt$$

$$\int dc = \frac{U_m}{L} \int e^{\frac{-R}{L}t} \cdot \sin \omega t \quad dt$$

$$c = \frac{U_m}{L} \int e^{\frac{-R}{L}t} \cdot \sin \omega t \cdot dt \quad (2-1-4)$$

Denklem (2-1-4) kısmi integrasyonla ($\int U \cdot dv = U \cdot v - \int v \cdot du$) formülü ile çözüldüğünde,

$$e^{\frac{-R}{L}t} \cdot dt = dv \quad \text{ve} \quad \sin \omega t = U \quad \text{Kabul edildiğinde,}$$

$$\int e^{\frac{-R}{L}t} \cdot dt = dv \quad \text{ve} \quad \frac{L}{R} \cdot e^{\frac{-R}{L}t} = V \quad \text{olur.}$$

$\sin \omega t = U$ nun her iki tarafının diferansiyeli alındığında $\omega \cos \omega t = du$ olur. Elde edilen bu değerler denklem (2-1-4) de yerine konulduğunda

$$c = \frac{U_m}{L} \left[\frac{L}{R} \cdot e^{\frac{-R}{L}t} \cdot \sin \omega t - \int \frac{L}{R} \cdot e^{\frac{-R}{L}t} \cdot \omega \cos \omega t \cdot dt \right] \text{ olur yeniden kısmi integrasyona gidilerek}$$

$\int \frac{R}{L} t = dv$ ve buradan $\frac{L}{R} \cdot e^{\frac{-R}{L}t} = V$ ayrıca $\cos \omega t = U$ dan her iki tarafın diferansiyeli alındığında $\omega \cdot (-\sin \omega t) = du$ olur. Elde edilen yeni değerler yeniden kısmi integrasyona gidildiğinde,

$$c = \frac{U_m}{L} \left[\frac{L}{R} \cdot e^{\frac{-R}{L}t} \cdot \sin \omega t - \frac{\omega L}{R} \left(\frac{L}{R} \cdot e^{\frac{-R}{L}t} \cdot \cos \omega t - \int \frac{L}{R} \cdot e^{\frac{-R}{L}t} \cdot (-\omega) \cdot \sin \omega t \cdot dt \right) \right]$$

$$c = \frac{U_m}{L} \left[\frac{L}{R} \cdot e^{\frac{-R}{L}t} \cdot \sin \omega t - \frac{\omega L}{R} \left(\frac{L}{R} \cdot e^{\frac{-R}{L}t} \cdot \cos \omega t + \frac{\omega L}{R} \int e^{\frac{-R}{L}t} \cdot \sin \omega t \cdot dt \right) \right]$$

$$c = \frac{Um}{L} \left[\frac{L}{R} \cdot e^{-\frac{R}{L}t} \cdot \sin wt - \frac{wL^2}{R^2} \cdot e^{-\frac{R}{L}t} \cdot \cos wt + \frac{wL^2}{R^2} \int e^{-\frac{R}{L}t} \cdot \sin wt \cdot dt \right]$$

$$c = \frac{Um}{L} \cdot \frac{L}{R} \cdot e^{-\frac{R}{L}t} \cdot \sin wt - \frac{Um \cdot wL}{R^2} \cdot e^{-\frac{R}{L}t} \cdot \cos wt + \frac{wL^2}{R^2} \cdot \frac{Um}{L} \int e^{-\frac{R}{L}t} \cdot \sin wt \cdot dt$$

$$c = \frac{wL^2}{R^2} \cdot c = \frac{Um \cdot e^{-\frac{R}{L}t}}{R} \cdot \sin wt - \frac{Um \cdot wL}{R^2} \cdot e^{-\frac{R}{L}t} \cdot \cos wt$$

$$c \cdot (1 - w^2 L^2) = \frac{Um}{R} \cdot e^{-\frac{R}{L}t} \cdot \sin wt - \frac{Um \cdot wL}{R^2} \cdot e^{-\frac{R}{L}t} \cdot \cos wt$$

$$c \cdot \frac{(R^2 + w^2 L^2)}{R^2} = \frac{Um}{R} \cdot e^{-\frac{R}{L}t} \cdot \sin wt - \frac{Um \cdot wL}{R^2} \cdot e^{-\frac{R}{L}t} \cdot \cos wt$$

$$c = \frac{R}{R^2 + w^2 L^2} \cdot \frac{Um}{R} \cdot e^{-\frac{R}{L}t} \cdot \sin wt - \frac{R}{R^2 + w^2 L^2} \cdot \frac{Um \cdot wL}{R^2} \cdot e^{-\frac{R}{L}t} \cdot \cos wt$$

$$c = \frac{Um \cdot R}{R^2 + w^2 L^2} \cdot e^{-\frac{R}{L}t} \cdot \sin wt - \frac{Um \cdot wL}{R^2 + w^2 L^2} \cdot e^{-\frac{R}{L}t} \cdot \cos wt + K$$

(K) burada integral sabitidir. Bulduğumuz (C) değerini denklem (2-1-2) de yerine koyduğumuzda,

$$i = \left(\frac{Um \cdot R}{R^2 + w^2 L^2} \cdot e^{-\frac{R}{L}t} \cdot \sin wt - \frac{Um \cdot wL}{R^2 + w^2 L^2} \cdot e^{-\frac{R}{L}t} \cdot \cos wt + K \right) \cdot e^{-\frac{R}{L}t}$$

$$i = \frac{Um \cdot R}{R^2 + w^2 L^2} \cdot \sin wt - \frac{Um \cdot wL}{R^2 + w^2 L^2} \cdot \cos wt + K \cdot e^{-\frac{R}{L}t} \quad \text{olur} \quad (2-1-5)$$

t=0 da i=0 olduğundan denklem (2-1-5) aşağıdaki şekle dönüşür.

$$0 = \frac{Um \cdot R}{R^2 + w^2 L^2} \cdot 0 - \frac{Um \cdot wL}{R^2 + w^2 L^2} \cdot 1 + K \cdot e^{-\frac{R}{L} \cdot 0} \quad \text{olur}$$

Buradan (K) sabiti bulunur

$$K = \frac{Um \cdot wL}{R^2 + w^2 L^2} \quad \text{olur.}$$

Bulunan (K) sabiti denklem(2-1-5)de yerine konduğunda

$$i = \frac{U_m \cdot R}{R^2 + \omega^2 L^2} \cdot \sin \omega t - \frac{U_m \cdot \omega L}{R^2 + \omega^2 L^2} \cos \omega t + \frac{U_m \cdot \omega L \cdot e^{-\frac{R}{L}t}}{R^2 + \omega^2 L^2}$$

$$i = \frac{U_m}{R^2 + \omega^2 L^2} (R \cdot \sin \omega t - \omega L \cdot \cos \omega t + \omega L \cdot e^{-\frac{R}{L}t})$$

$R^2 + \omega^2 L^2 = Z^2$ ve $U_m = U \cdot \sqrt{2}$ olduğundan

$$i = \frac{\sqrt{2}U}{Z^2} (R \cdot \sin \omega t - \omega L \cdot \cos \omega t + \omega L \cdot e^{-\frac{R}{L}t}) \quad \text{elde edilir. Bunu aşağıdaki gibi ifade edebiliriz.}$$

$$i = \frac{\sqrt{2}U}{Z^2} [R \cdot \sin \omega t - \omega L \cdot \cos \omega t] + \frac{\sqrt{2}U \cdot \omega L \cdot e^{-\frac{R}{L}t}}{Z^2} \quad \text{ve } \cos \omega t = -\sin(\omega t - 90) \text{ olduğundan}$$

$$i = \frac{\sqrt{2}U}{Z^2} [R \cdot \sin \omega t + \omega L \cdot \sin(\omega t - 90)] + \frac{\sqrt{2}U \omega L}{Z^2} \cdot e^{-\frac{R}{L}t} \quad (2-1-6)$$

Denklem (2-1-6) iki terimin toplamından meydana gelmektedir. Terimlerden birine i_k diğerine i_c dediğinde $i = i_k + i_c$ ve

$$i_k = \frac{\sqrt{2}U}{Z^2} [R \cdot \sin \omega t + \omega L \cdot \sin(\omega t - 90)] \quad (2-1-7)$$

$$i_c = \frac{\sqrt{2}U \cdot \omega L \cdot e^{-\frac{R}{L}t}}{Z^2} \quad \text{dir.} \quad (2-1-8)$$

Denklem (2-1-7) deki parantez içi iki sinus teriminin toplamıdır.

bu toplamayı yapmak için önce sinüs değerlerini vektör domeninde kutupsal olarak yazalım sonra dik bileşenlere çevirip toplayalım.

$$R \cdot \sin \omega t = \frac{R}{\sqrt{2}} \angle 0 = \frac{R}{\sqrt{2}} + j0$$

$$\omega L \cdot \sin(\omega t - 90) = \frac{\omega L}{\sqrt{2}} \angle -90 = \frac{\omega L}{\sqrt{2}} [\cos(-90) + j \cdot \sin(-90)] = 0 + j \frac{\omega L}{\sqrt{2}} (-1) = -j \frac{\omega L}{\sqrt{2}}$$

$$[R \cdot \sin \omega t + \omega L \cdot \sin(\omega t - 90)] = \frac{R}{\sqrt{2}} + j0 + (0 - j \frac{\omega L}{\sqrt{2}}) = \frac{R - j \omega L}{\sqrt{2}}$$

Şimdi parantez için yeniden kutupsala çevirdikten sonra zaman domeninde ifade edildiğinde

$$\frac{R}{\sqrt{2}} - \frac{j\omega L}{\sqrt{2}} = \sqrt{\left(\frac{R}{\sqrt{2}}\right)^2 + \left(\frac{-j\omega L}{\sqrt{2}}\right)^2} \angle \text{tg}^{-1} \frac{-\omega L/R}{\sqrt{2} \sqrt{2}}$$

$$\frac{\sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}}{\sqrt{2}} \angle \text{tg}^{-1} \frac{-\omega L/R}{\sqrt{2}} = Z \angle \text{tg}^{-1} \frac{-\omega L/R}{\sqrt{2}} \quad (2-1-9)$$

(2-1-9) denkleminde $\angle \text{tg}^{-1} \frac{-\omega L/R}{\sqrt{2}}$ değerini $\angle \text{tg}^{-1} (-\theta_k)$ şeklinde ifade ederek yine aynı denklemi aşağıdaki gibi zaman domeninde yazabiliriz

$$\frac{Z}{\sqrt{2}} \angle \text{tg}^{-1} (-\theta_k) = \sqrt{\frac{2}{2}} \frac{Z \cdot \sin(\omega t - \theta_k)}{\sqrt{2}} = Z \sin(\omega t - \theta_k) \quad (2-1-10)$$

(2-1-10) denkleminde elde edilen değeri (2-1-7) denkleminde yerine konduğu

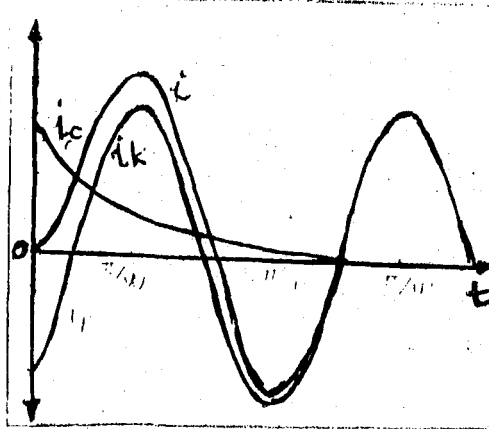
$$\text{da } i_k = \frac{\sqrt{2} U}{Z} [Z \sin(\omega t - \theta_k)] = \frac{\sqrt{2} U \cdot Z \sin(\omega t - \theta_k)}{Z^2}$$

$$i_k = \frac{\sqrt{2}}{Z} U \cdot \sin(\omega t - \theta_k) \quad (2-1-11)$$

(2-1-11) denkleminde bulduğumuz akımı sürekli kısadevre akımı denir. uygulanan gerilimden θ_k kadar geridir. t_0 anında daha önceden açıklandığı gibi, asenkron motor sekonderi kısadevre transformatora benzediği için formüldeki Z değerini, Z_k kısadevre empedansı olarak görebiliriz. Bu duruma göre sürekli kısadevre akımının ani değeri,

$$i_k = \frac{\sqrt{2}}{Z_k} U \cdot \sin(\omega t - \theta_k) = \sqrt{2} \cdot i_k \cdot \sin(\omega t - \theta_k) \text{ olur.} \quad (2-1-12)$$

diğer taraftan $i_c = \sqrt{2} \frac{U \omega L}{Z^2} e^{\frac{-R}{L} t}$ akımı üstel (expononsiyal) bir fonksiyondur. Aperiyojik (Doğru) akım karakterlidir. Şekil (2-1-3) i_k sürekli kısadevre akımı ve i_c geçici akım bileşenlerinden oluşan i akımını göstermektedir.



Şekil (2-1-3)

$$I_c = \frac{\sqrt{2} \cdot U}{Z_k} \cdot \frac{WL}{Z_k} \cdot e^{\frac{-R}{L}t} = \sqrt{2} I_k \cdot \sin\theta \cdot e^{\frac{-R}{L}t} \quad (2-1-13)$$

Denklem (2-1-12) ve (2-1-13) de el de edilen değerlerin denklem (2-1-6) da yerine konduğunda

$$i = i_k + i_c = \sqrt{2} \cdot I_k \cdot \sin(\omega t - \theta_k) + \sqrt{2} \cdot I_k \cdot \sin\theta \cdot e^{\frac{-R}{L}t}$$

$$i = \sqrt{2} \cdot I_k \left[\sin(\omega t - \theta_k) + \sin\theta \cdot e^{\frac{-R}{L}t} \right] \quad (2-1-14)$$

Yol alan bir asenkron motorun şebekeden çekeceği akımın ani değeri (2-1-14) denkleminde hesaplanır.

2-2 Aşırı akım çekişin özel halinin açıklanması :

2-2-1 Gerilim sıfırdan geçerken motorun şebekeye irtibatlanması

Asenkron motorların en büyük akım çekebildikleri durum gerilim sıfırdan geçerken stator sargılarının şebekeye irtibatlanmasında belirir.

(2-1-14) Bağıntısından görüleceği gibi asenkron motorun $U=0$ değerinde de devreye irtibatlanması halinde çekeceği akımın maksimum değere ulaşması

$(\omega t - \theta_k) = \frac{\pi}{2}$ olması ile mümkündür. Bu durumda denklem (2-1-14) aşağıdaki şekli alır. Yol vermede en büyük akım darbesi denklem (2-1-15) den hesaplanır.

$$i = I_k \sqrt{2} \left[1 + \sin\theta_k \cdot e^{\frac{-R}{L}t} \right] \quad (2-1-15)$$

$i = I_k \cdot \sqrt{2} + I_k \sqrt{2} \cdot \sin\theta_k \cdot e^{\frac{-R}{L}t}$ denkleminde $I_k \sqrt{2}$ değeri makine çok fazla olduğundan senkron hızla dönen bir bileşke alan meydana getirir. Bu alanı θ_p peryodik alan denir.

$I_k \cdot \sqrt{2} \cdot \sin\theta_k \cdot e^{\frac{-R}{L}t}$ ise mekanda duran θ_{ap} aperyodik alan meydana getirir. Bu iki alanın toplamı demir gövdeyi doyuma getireceğinden rotor devresi açık olduğunda bile nominal akımın üç katını aşan değerlerde akım çektiği deneysel olarak görülmüştür.⁽¹⁾ Sonuç olarak (2-1-15) denkleminin bileşenlerinden biri $I_k \cdot \sqrt{2}$ değeridir. Diğer bileşen üstel ifadeli olup $I_k \cdot 2 \sin\theta_k \cdot e^{\frac{-R}{L}t}$ akımıdır. Bu akım $\frac{-R}{L} \cdot t$ $\frac{-wR}{wL} \cdot t$ $\frac{wR}{X_L} \cdot t$ ve $t \cdot \frac{X_L}{wR}$ olmak üzere yukarıdaki formül $I_k \cdot \sqrt{2} \cdot \sin\theta_k \cdot e^{\frac{-R}{L}t}$ şekline sokulursa burada $\frac{X_L}{wR}$ T zaman sabitesi çok küçük olduğundan peryodik olmayan bileşen çok çabuk kaybolur. Bu nedenle ihmal edilebilir. Yol alma akımı olarak sürekli kısadevre akımıdır. genel olarak yol alma akımı asenkron motorlarda 4-8 I_n arasında değişir.

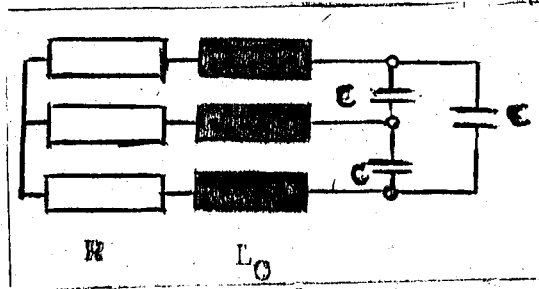
(1) Bak faydalanılan 9 nolu eser sayfa 135

2-2-2 Asekron motorun şebeke ile irtibatının kesilip kısa bir zaman sonra tekrar irtibatlanması:

Bir asenkron motorun devreden çıkarılmasında bazı olaylar olur. Güç şalteri motor akımını sıfırdan geçerken değil de, her hangi bir I değerinde keserse, akım kesilmesi anındaki stator gövdesindeki magnetik enerji depo edilmiş durumdadır. Kesilme anındaki akımın değeri I ve boşta çalışmada stator selfi L_0 olduğu farzedilirse (L_0 değeri sabit değildir. I akımının ani değerinin büyüklüğüne bağlıdır. Burada I akımının ani değerini az bir hata ile efektif değer kabul ederek açıklamalara devam edeceğiz.)

$$\text{Statordaki magnetik enerji: } A_g = 1/2 I^2 \cdot L_0 \quad (\text{Ws}) \quad (2-2-1)$$

Bu enerji devrenin açık olmasından dolayı şebekeye geri dönemeyecektir. Başka bir yoldan dengelenmesi gerekecektir. Motor fazlarına ait bobinlerin eşdeğer devresini şekil (2-2-1) de gösterildiği gibi kabul etmek büyük bir hata olmayacaktır.



Şekil (2-2-1)

Bu devrede C , devrenin açılmasından sonra fazlar arasındaki kalan kapasiteyi göstermektedir. Motorun şaltere kadar uzanan enerji nakil kablosu bu görevi yerine getirir. Burada L_0 ve C den meydana gelen salınım devresi A_g enerjisi devre direncinde ısıya dönüşerek tamamen sarfedilmesi ne kadar salınıma devam eder. Her bir salınımda magnetik enerji kapasiteyi şarj eder, sonra kapasite bobin üzerine deşarj olarak salınım sürecektir. Kapasite üzerine şarj olan enerjiyi A_c diyerek aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$A_c = 1/2 \cdot e^2 \cdot C \quad (\text{Ws}) \quad (2-2-2)$$

Denklem (2-2-2) de kapasite uçlarındaki gerilimin ani değeridir. Devrede başka enerji kaynağı bulunmadığından ve omik dirençleri ihmal ederek;

$A_s = A_c$ yazılabilir.

$$1/2 I^2 \cdot L_0 = 1/2 e^2 \cdot C$$

$$e = I \cdot \sqrt{\frac{L_0}{C}} \text{ elde edilir.}$$

(2-2-3)

Bu devrede C çok küçük olduğundan sargılar üzerinde meydana gelen gerilim devrenin açılması anındaki akımın ani değerini ve akımın kesilme hızına bağlı olarak nominal gerilimin 4-5 katından başlar. Devrenin açılıp tekrar kapanması esnasında meydana gelebilecek gerilimlere ise fazlar arası olarak denklem (2-2-4) de gösterilmiştir.

$$e_{z1} = E_m \cdot \sin(\omega t - 30)$$

$$e_{z2} = E_m \cdot \sin(\omega t - 150)$$

$$e_{z3} = E_m \cdot \sin(\omega t - 270)$$

(2-2-4)

Denklem (2-2-4) vektör domeninde gösterildiğinde (2-2-5) denklemleri elde edilir.

$$e_{z1} = \frac{E_m}{2} \cdot \angle 30^\circ$$

$$e_{z2} = \frac{E_m}{2} \cdot \angle 150^\circ$$

$$e_{z3} = \frac{E_m}{2} \cdot \angle 270^\circ$$

(2-2-5)

Nominal gerilimin 5 katı olduğunu farzederek denklem (2-2-5) nominal gerilimin ani değeri cinsinden denklem (2-2-6) da görüleceği gibi yazılabilir.

$$e_{z1} = \frac{5 \cdot E_m}{2} \angle 30^\circ$$

$$e_{z2} = \frac{5 \cdot E_m}{2} \angle 150^\circ$$

$$e_{z3} = \frac{5 \cdot E_m}{2} \angle 270^\circ$$

(2-2-6)

Bu incelemeyi basitleştirmek için denklem (2-2-6) dan ilk elemanı alarak henüz sönümlenmemiş bu gerilimin üzerine şebeke gerilimi eklediğimizde;

$$e_{\phi 1} = \frac{E_m}{\sqrt{2}} \cdot \sin \omega t = \frac{E_m}{\sqrt{2}} \sin \omega t \text{ dir.}$$

$$e_{z1} + e_{\phi 1} = \frac{5E_m \cos 30}{\sqrt{2}} + \frac{E_m}{\sqrt{2}} \sin 30 \text{ elde edilir.} \quad (2-2-7)$$

Denklemler (2-2-7) dik bileşenlere çevrilerek toplanırsa:

$$e_{\phi 1} = \frac{E_m}{\sqrt{2}} (\cos \theta + j \sin \theta) = \frac{E_m}{\sqrt{2}} + j0$$

$$e_{z1} = \frac{5E_m}{\sqrt{2}} (\cos 30 + j \sin 30) = \frac{5E_m}{\sqrt{2}} \cos 30 + j \frac{5E_m}{\sqrt{2}} \sin 30$$

$$e_{\phi 1} + e_{z1} = \frac{E_m}{\sqrt{2}} + \frac{5E_m \cos 30}{\sqrt{2}} + j \frac{5E_m \sin 30}{\sqrt{2}}$$

$$= \frac{E_m}{\sqrt{2}} (1 + 5 \cos 30) + j \frac{5E_m \sin 30}{\sqrt{2}}$$

$$= \frac{E_m}{\sqrt{2}} \left(1 + \frac{5 \cdot \sqrt{3}}{2} + j \frac{5E_m}{2 \sqrt{2}} \right)$$

$$3,77E_m + j 1,76 E_m$$

$$\sqrt{3,77^2 \cdot E_m^2 + 1,76^2 \cdot E_m^2}$$

$$\sqrt{E_m^2 (3,77^2 + 1,76^2)} = 4,16E_m \angle 25^\circ$$

$$5,9 E_n$$

Hesaplardan görüleceği gibi akım kesilmesini takiben oluşan zıt emk salınımının, nominal gerilimin beş katı olduğu halde şebeke gerilimi yeniden irtibatlandırıldığında nominal gerilimin 5,9 katı bir gerilim motor sargılarını ve diğer yalıtkanları zorlamaktadır. statorda depo edilen gücün azlığı nedeniyle dolaşan akımın değeri tehlike boyutlarında değildir. O halde doğabilecek tahribat yalıtkan delinmeleri şeklinde olabilir. Bu değer I akımının kesilmekteki değerine ve kesilme hızına bağlı olarak hesaplanandan çok fazla da olabilir. Büyük güçlü motorlara yol verilmemesinde yukarıda açıklanan nedenlerle kapalı devre geçişli yol vericiler bağlanması daha uygun olacaktır. Kapalı devre geçişli yol vericiler ileride açıklanacaktır.

AKIM KONTROLU AMACI İLE YOL VERMEK

3-1 Asenkron motorlara direkt yol vermek :

VDE ye göre 4 Kw kadar güçteki asenkron motorlar şebekeye direkt bağlanabilirler. 4 KW tan büyük A ve B sınıfı asenkron motorların devlerelerinde muhakkak bir yol verici bulunmaktadır. C ve D sınıfı asenkron motorlara ise bu güçten sonra yol verici bağlamamız momentini azaltacağından uygun olmaz bölüm 1 den hatırlanacağı üzere C sınıfı asenkron motorlar yük altında kalkınabilmeleri için rotorları çift sincap kafesli, D sınıfı asenkron motorlar ise yüksek rotor direncine sahip olarak yapılmışlardır. Asenkron motorlarda moment gerilimin karesi ile orantılı olduğundan yol verme metodları ile gerilim 1/2 oranında düşürüldüğünde moment 1/4 oranında düşer. Bu nedenle C ve D sınıfı asenkron motorlarda yol verici kullanmak uygun değildir.

Her hangi bir güçteki asenkron motor aşağıda belirtilen güvence-
lere sağlamak koşulu ile şebekeye direkt bağlanabilir.

Güvence koşulu :1 - 380 Volta kadar küçük gerilimli motorlar 400Kw güce kadar bağlanmalıdır.

6000 Volta kadar büyük gerilimli motorlar 20Mw güce kadar balan-
malıdır.

Güvence koşulu :2 - Aşağıdaki eşitliği sağlamalıdır. :

$$P_g = \frac{P_{tr} \cdot \Delta u}{U_k \cdot (1 - \Delta u)^2 \frac{I_d}{I_n}}$$

formülde:

P_g : direkt bağlanacak güvenceli motor gücüdür. (Kw)

Δu : Motorun şebekeye direkt bağlanmasında transformatorunda oluşan bağlı gerilim düşümü $u = \frac{u}{U_n}$ () Boyutsuzdur ve $u = 0,1$ () olarak alınır.

U_k : Transformatorun bağlı kısadevre gerilimidir. $U_k = \frac{U_k}{U_n}$ () boyutsuz olup 5000 KVA , 50 Kv ye kadar $U_k = (0,03-0,06) \cdot U_n$ alınır. 5000 KVA 50KV den yukarısı için $U_k = (0,08-0,12) \cdot U_n$ alınır.

$\frac{I_d}{I_n}$; Direkt yol alma akımının nominal akıma oranıdır. Boyutsuzdur ve (4 veya 7) $.I_n$ arasında değişir.

P_{tr} ; Besleme trafosu gücü (KVA)

Güvence koşulu ; 3- Transformator ile motor arasındaki iletim hattında meydana gelecek gerilim düşümünü ihmal edilir boyutlarda olması veya kısaca motorun trafoya mümkün olduğu kadar yakın olmasıdır.

Örnek ; 13500/400Volt ve 400KVA bir transformator ile beslenen şebekeye direkt yol alma akımının nominal akıma oranı 8 () olan 100 Kw lik bir asenkron motor direkt bağlanarak yol verilecektir. Güvenceli olarak bu motora belirtilen şebekede direkt yol verilebilir mi?

Verilenler :

İstenen :

Çözüm :

$$\frac{I_d}{I_n} = 8$$

$$P_g = ?$$

$$P_g = \frac{P_{tr} \cdot u}{U_k \cdot (1 - u)} \cdot \frac{I}{I_n}$$

$$P_{tr} = 400KVA$$

$$U_{tr} = 400V.$$

$$P_g = \frac{400 \cdot 0,1}{0,06 \cdot (0,9)} \cdot 8 = 103$$

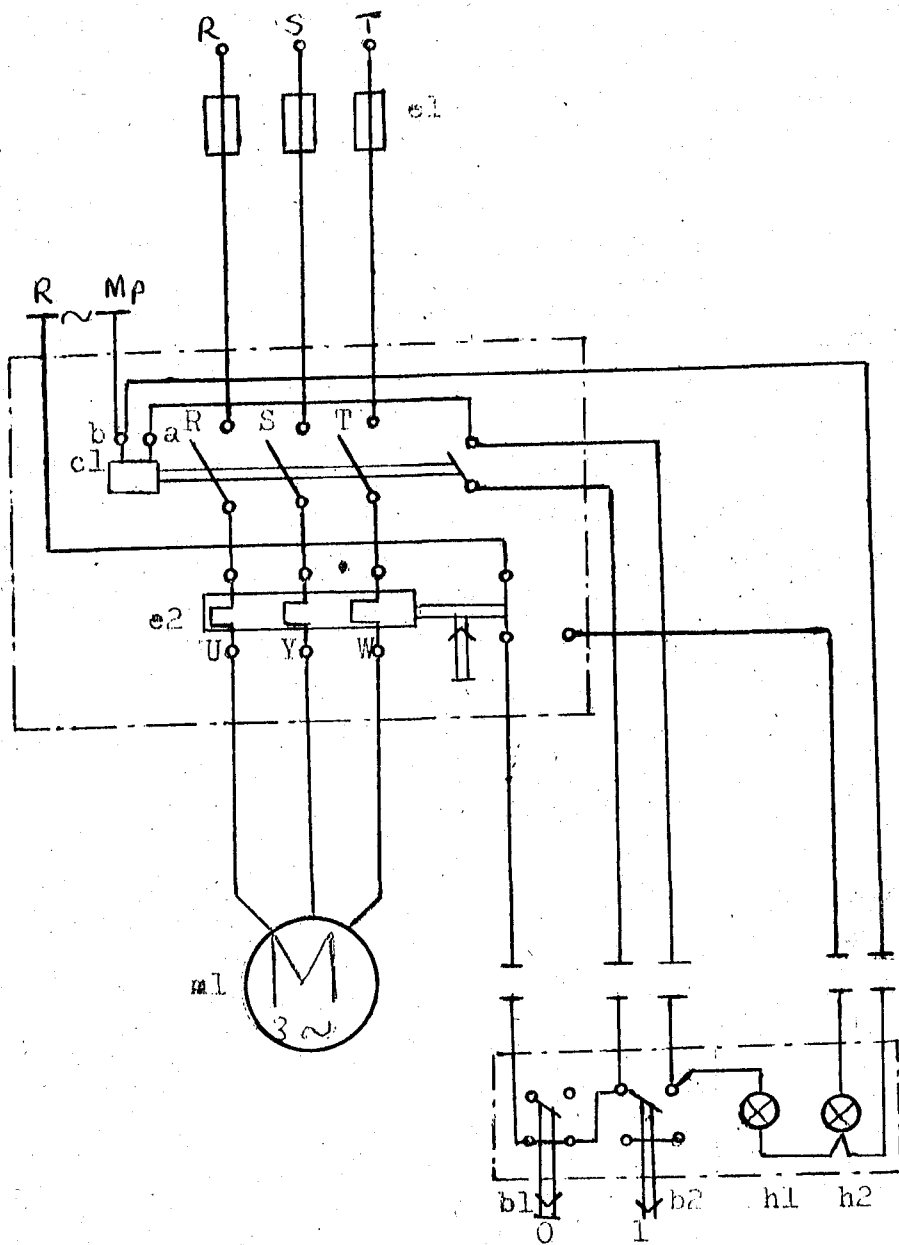
$$U_k = 0,06 U_n$$

$$\Delta u = 0,1$$

$P_g > P_{motor}$ olduğunda direkt yol verilebili

Şekil (3-1-1) termik manyetik bir şalter vasıtası ile asenkron motora direkt yol verme göstermektedir.

Kumanda devresine dikkat edilirse M_p ucu, C_1 bobini ve h_1, h_2 sinyal lambalarının birer ucu ile irtibatlıdır. R fazı ise e_2 termiğinin kapalı kontağından b_1 stop butonuna, oradan da b_2 start butonuna irtibatlanmıştır. b_2 start butonuna basıldığında akım bir taraftan h_1 sinyal lambasına diğer taraftan C_1 bobinine giderek her ikisini de devreye sokacaktır. C_1 bobinini çekiş R, S, T yazılı kontaklar vasıtası ile üç fazlı motora e_2 termiği üzerinden iletacaktır. Diğer taraftan C_1 bobininin dördüncü kontağı b_2 startını mühürleyerek hem C_1 kontaktörünün hem de h_1 sinyal lambasının sürekli çalışmaya geçmesini temin eder. Motorun ayarlanan termik akımı değerini geçen akım çekmesinde veya motor iki faza kaldığında e_2 termiğinin kapalı kontağı açılarak C_1 kontaktörünün akımını keser. Diğer taraftan açık olan kontağını kapatarak h_2 arıza sinyal lambasının çalışmasını temin eder. Bu arıza hali ortadan kaldırıldıktan sonra e_2 termiğinin reset butonuna basılarak sistem çalışmaya hazır hale getirilir. Ayrıca stop butonuna basılarak C_1 kontaktörünün akımını kesmek mümkündür.



Şekil (3-1-1)

3-2 YARDIMCI MOTOR İLE YOL VERMEK

1000 Kw üzerinde güce sahip asenkron motorlara yardımcı motor vasıtası ile yol verilir. Bu tip asenkron motorların nominal devir adedine ulaşmaları için geçen zaman daha uzundur. Elektrikle tahrikin temel denkleminde bilineceği üzere :

$$M_m - M_y = J \frac{dw}{dt} \text{ dir.} \quad (3-2-1)$$

Formülde : M_m : Motor Momenti (Nm)
 M_y : Yük Momenti (Nm)
 J : Atalet Momenti(Nm)

$\frac{dw}{dt}$: Açısal hızın zamana bağlı türevidir.

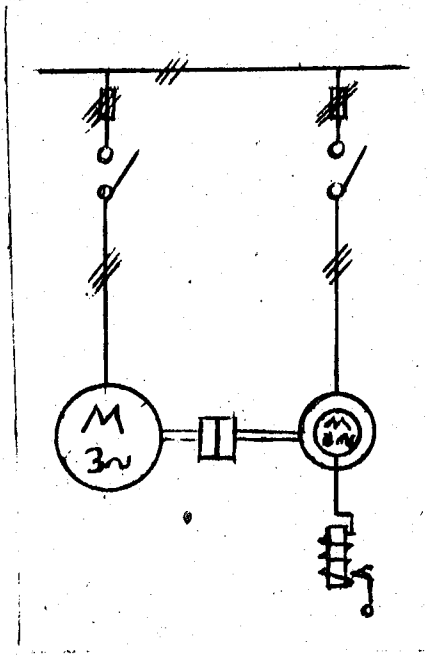
formül (3-2-1) de $J = m \cdot f \cdot \frac{GD^2}{4g}$ (3-2-2)

formülde

G : Atalet Çapı (m)
 f : " Yarıçapı(m)
 g : Yerçekimi ivmesi(9,81 m.s⁻²)
 GD^2 : Savurma momentidir

Motorun gücü büyüdükçe rotor çapı ve ağırlığı büyür. Formül (3-2-2) de görüleceği gibi atalet momentini rotor çapının karesi ile orantılıdır. bu yüzden bazı metalurji ve ağaç endüstrilerinde uzun rotorlu özel motorlar kullanılır. Böylelikle rotor ağırlığının artmasına rağmen yarı çapının küçülmesi savurma momentini azaltır. 1000 Kw tın ve daha büyük güçteki motorların atalet momentlerinin büyüklüğü nedeniyle yol alma zamanı ile yol almada kayıp güç çok büyür. Bu nedenle aşağıdaki şekil (3-2-1) de görüleceği gibi bir yardımcı motor vasıtası ile asenkron motorlara yol verilebilir. Sistemde ana motor nominal devrinin 1/4 e kadar döndürüldükten sonra S_1 şalteri kapatılarak ana motor şebekeye irtibatlanır. Bundan sonra yardımcı motor bir kavrama vasıtası ile ana motordan ayrılarak S_2 anahtarı açılır. Sonuç olarak Asenkron motor daha küçük yol alma akımı çeker ve daha az enerji harcıyarak yol alır.

Bu yol verme usulunun tesis maliyeti büyüktür. Fakat yol almada yaptığı tasarruf uzun vadede kendini amorte eder. Yardımcı motor olarak rotoru sargılı asenkron motorun seçilmesinin sebebi, bu motorun bölüm 1 de anlatılan özelliğidir.



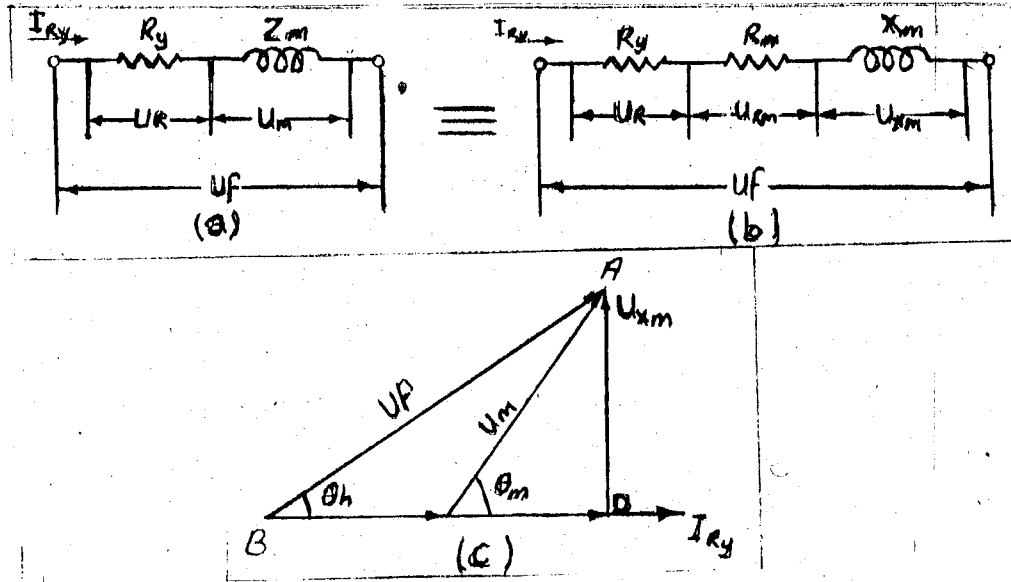
şekil (3-2-1)

3-3 Asenkron motorlara direnç ile yol vermek:

Dirençle yol vermek stator sargılarını eşit değerde dirençler ilave edilerek motora düşük gerilim uygulamak demektir. Yol verme esnasında dirençlerde $i^2 \cdot R$ değerinde bir güç kaybı meydana gelir. Bu nedenle küçük ve orta güçlü motorlara yol vermeye tercih edilir. Dirençle yol verme ilk kalkış anında düşük olan $\cos\theta$ nın yükselmesini de sağlar.

3-3-1 Yol verme direncinin hesaplanması

Yol verme direncinin hesaplanması için bir fazla ait devrenin incelenmesi yeterli olacaktır. Şekil (3-3-1) üç fazlı bir asenkron motorun bir fazına ait devreyi ve bu devreye ait fazör diyagramını göstermektedir.



Şekil (3-3-1)

Şekil (3-3-1)a) da :

R_y : hesabi yapılacak yol verme direnci (ohm/Faz)

Z_m : Stator sargısının empedansı (ohm/Faz)

I_{ry} : Dirençle yol verildiğinde geçmesin arzu edilen akım şiddeti (A)

U_f : Bir faza isabet eden şebeke gerilimidir. Motor çalışacağı şebekeye yıldız bağlanması gerekiyor ise $U_f = \frac{U_h}{3}$, üçgen bağlı ise $U_f = U_h$ alınacaktır.

U_{ry} : I_{ry} akımı geçtiğinde yol verme direnci uçlarındaki gerilim düşümüdür. U_m : I_{ry} akımı geçtiğinde motor empedansında düşen gerilimdir. Şekil (3-3-1b) de görüleceği gibi Z_m empedansı (R_m) omik ve (X_m) reaktif bileşenlerine ayrıldığı farzedilmiştir. Böylece (X_m) saf endüktif reaktans olarak düşünülebilir. (Stator bobininin kapasitif reaktansı ihmal edildi) Bu duruma göre U_{xm} motorun endüktif reaktansından dolayı gerilim düşümüdür. U_{rm} ise motorun omik direncinden dolayı düşen gerilimdir. Şekil (3-3-1-c) deki fazör diyagramında: θ_f dirençle yol verildiğinde ve ilk kalkışta faz gerilimi ile faz akımı arasındaki açıdır. Yukarıdaki tanıtmalardan sonraki fazör diyagramı seri bir devrenin fazör diyagramı olacağından referans vektörü olarak I_{ry} akımı alınır. Bu akım üzerine bu akımla faz farkı olmayan U_r ve U_{rm} omik gerilim düşümleri işaretlenir. U_{xm} gerilim düşümü I_{ry} akımı ile 90 derece faz farklı olarak çizilir. U_{rm} ve U_{xm} gerilim düşümlerini fazör toplamı U_m gerilimini verir. Ayrıca U_m ile U_r geriliminin fazör toplamları da U_f gerilimini verir. Bu çizimler sonucu θ_h ve θ_m açıları da meydana gelir. gereken hesaplamaları bu fazör diyagramından yapılması için bilinmesi gereken diğer hususlar şunlardır.

i) θ_m nin değeri : Bu değer deneysel olarak bulunur. Genellikle 0,3-0,25 arasındadır.

ii) (ü) akım dönüştürme oranı daha önce açıklandığı gibi nominal akımın 2-8 katı arasında değişir. Değeri hesap yoluyla bulunacağı gibi motora düşük gerilim verilip deneysel olarak ta bulunabilir. Düşük gerilimde elde edilen akım değeri nominal gerilimin uygulanan düşük gerilime oranından istifade edilerek motorun nominal gerilimde çekeceği akım hesaplanır. Bir asenkron motorun ilk kalkışta uçlarına nominal gerilime nazaran hangi oranda düşük gerilim uygulanmışsa, motor şebekeden aynı oranda düşük akım çeker. Bu orana akım dönüştürme oranı denir.
$$ü = U_m / U_n = \frac{I_n \cdot K_r}{I_n \cdot K_d}$$

formülü ile ifade edilir.

Formülde :

U_m : Dirençle yol vermede motor empedansı uçlarında düşen gerilimdir.

U_n : Nominal gerilim

I_n : Nominal akımdır.

K_d : Direkt yol alma akım katsayısı

$$K_d = \frac{I_d}{I_n}$$

$$K_r : \text{Dirençle yol alma akım katsayısı } K_r = \frac{I_{ry}}{I_n}$$

Bu hesaplamadan amaç R yi bulmaktır. Şekil (3-3-1-c) fazör diyagramından görüleceği gibi $R = \frac{U_r}{I_{ry}}$ dir. Dirençle yol almada geç-

mesi gereken akımın değerine biz kararlaştırırız. O halde aranan unsur U_r dir. U_n , I_n motor etiketinden bilinmektedir. Ayrıca deneysel yolla θ_m ve I_d elde edildiği takdirde :

$$K_d = \frac{I_d}{I_n} \quad \text{ve} \quad K_r = \frac{I_{ry}}{I_n} \quad \text{üç} \quad \frac{I_n \cdot K_r}{I_n \cdot K_d}$$

motor şebekeye yıldız bağlı ise $U_f = \frac{U_n}{\sqrt{3}}$, Üçgen bağlı ise $U_f = U_n$

alınarak hesaplamaya devam edilir.

$$U_m = U_f \cdot \cos \theta$$

$$U_{rm} = U_m \cdot \cos \theta$$

$$U_{xm} = U_m \cdot \sin \theta$$

Şekil (3-3-1-c) de ABD Dik üçgeninde:

$$U_f^2 = U_{xm}^2 + (U_r + U_{rm})^2 \quad \text{dir. Bu formülden :}$$

$$U_r = \sqrt{U_f^2 - U_{xm}^2} - U_{rm} \quad \text{olur. } U_r \text{ bulunduğuna göre } R = \frac{U_r}{I_{ry}} \quad \text{olur.}$$

Örnek : Etiketinde Δ/Y 220/380 Volt ve 173/100 Amper yazan bir asenkron motor fazlar arası 380 Voltluk bir şebekeye direkt bağlandığında nominal akımın 5 kati akım çekeceği ve yol alma anında $\cos \theta$ 0,3 olduğu deneysel yolla tesbit edilmiştir. Bu yol alma akımı değerini nominal akımın iki katına düşürecek yol verme direncinin değerini hesaplayınız.

Verilenler :

$$U_n = 380 \text{ Volt}$$

$$K_d = 5$$

$$I_n = 100 \text{ Amper (Bu motor belirtilen-}$$

$$\text{Cos}\theta = 0,3 \quad \text{şebekede yıldız bağlanabilir)}$$

$$K_r = 2$$

Çözüm :

$$I_{ry} = I_n \cdot K_r = 100 \cdot 2 = 200 \text{ Amper}$$

$$u = \frac{I_n \cdot K_r}{I_n \cdot K_d} = \frac{2}{5} = 0,4 \quad ()$$

$$U_f = \frac{U_n}{\sqrt{3}} = \frac{380}{\sqrt{3}} = 220 \text{ Volt}$$

$$U_m = U_f \cdot u = 220 \cdot 0,4 = 88 \text{ Volt}$$

$$\text{Sin}\theta = \sqrt{1 - \text{Cos}^2\theta} = \sqrt{1 - 0,3^2} = 0,95$$

$$U_{xm} = U_m \cdot \text{Sin}\theta = 88 \cdot 0,95 = 83,6 \text{ Volt}$$

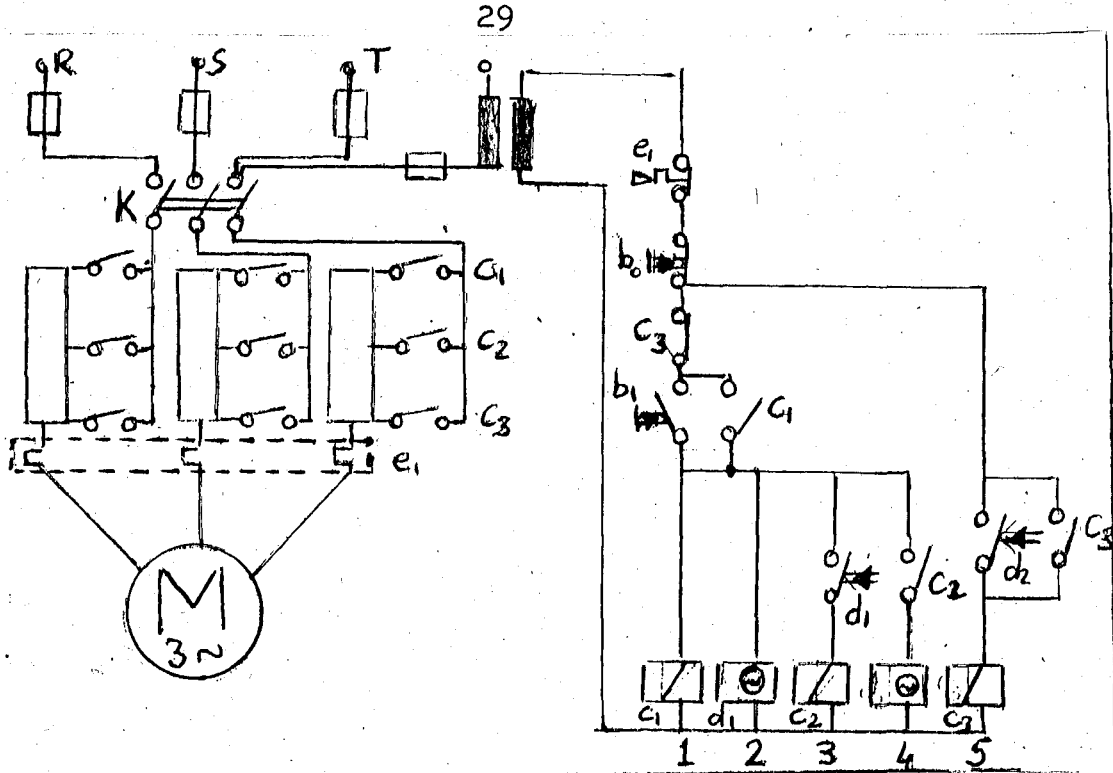
$$U_{rm} = U_m \cdot \text{Cos}\theta = 88 \cdot 0,3 = 26,4 \text{ Volt}$$

$$U_r = \sqrt{U_f^2 - U_{xm}^2} - U_{rm} = \sqrt{220^2 - 83,6^2} - 26,4 = 177,09 \text{ Volt}$$

$$R = \frac{U_r}{I_{ry}} = \frac{177,09}{200} = 0,885 \text{ ohm}$$

3-3-2 Dirençle yol verme devresi ve çalışması

Örnek problemde hesaplanan değerde ve tek kademeli olarak küçük güçlü motorlara yol verilir. Orta büyüklükteki motorlara tek kademe dirençle yol vermek motoru darbe halindeki gerilimlere maruz bırakır. Bu nedenle orta güçteki motorlar için en uygun yol verme 2-3 kademeli yol vermedir. Direnç kademeleri motora sırası ile %50 U_n , %65 U_n ve %80 U_n tatbik edecek şekilde ayarlanmalıdır. Yukarıda belirtilen % oranları ülkemizde pek kullanılmamaktadır. Fakat Amerikada standart hale getirilmiş oranlardır. Aşağıda iki kademeli dirençle yol alan bir asenkron motorun güç ve kumanda devresi prensip şemaları verilmektedir.



Şekil (3-3-2)

Devrenin çalışması; K şalteri kapatılır. Şekil (3-3-2)

Operasyon:1- b_1 start butonuna basılır. c_1 ve d_1 kontaktörleri enerjilenecek kontaklarını kapatır. c_1 start butonuna paralel kontağı vasıtasıyla kendine mühürlener ve güç devresinde c_1 kontaklarını kapatarak direncin tamamını devreye sokarak motora yol verir.

Operasyon:2- Operasyon 1 de devreye giren d_1 zaman rölesi gecikme ile 3. sütundaki d_1 kontağını kapatır. c_2 kontaktörü devreye girer. c_2 kendine ait kontakları kapatarak bir taraftan güç devresindeki direncin bir kademesini kısadevreye eder. Diğer taraftan dördüncü sütundaki kontağını kapatarak d_2 zaman rölesini devreye sokar

Operasyon:3- Operasyon 2 de devreye giren d_2 zaman rölesi gecikme ile 5. sütundaki d_2 zaman gecikmeli kontağını kapatarak c_3 kontaktörünü devreye sokar. c_3 kontaktörü 5. sütundaki kontağını kapatarak kendini mühürlener. Diğer taraftan c_3 kontaktörü 1. sütundaki c_3 kontağını açarak artık görevi biten röle ve kontaktörleri devre dışı eder. Bu durumda direncin tamamı devreden çıkarılmıştır. Ve motor nominal gerilimle çalışmaktadır. Sistemi durdurmak için b_0 stop butonuna basmak yeterlidir. Ayrıca motorun aşırı akım çekmesi halinde e_1 termik aşırı akım rölesi kumanda devresi akımını keserek koruma görevini yapmış olur.

3-4 Reaktansla yol vermek:

Dirençle yol vermede izah edildiği gibi reaktansla yol verme de de statora eşit reaktans bobinleri seri bağlanarak bir gerilim düşümü sağlanır. Böylece ilk anda motora düşük gerilim uygulanmış olur. Reaktansla yol vermek büyük güçlü, büyük gerilimli motorlarda tercih edilir. Örneğin 200 HP den büyük 6300 volt ve yukarı güç ve gerilimlerde kullanılır. Standart olarak (Amerikan) reaktanslar %50, %65, %80 U_n verecek şekilde imal edilirler. Büyük güçlü motorların savrulma momentleri (GD^2) büyük olduğundan yol alma müddetleri uzundur. Bu tip motorlara dirençle yol vermek güç kaybını arttırarak yol verme maliyetini büyültür. Reaktansla yol vermede kayıp güç azalmasına rağmen devre kosinus değeri düşer.

3-4-1 Yol verme reaktansının hesaplanması:

Bir faz üzerindeki durumu esas alarak şekil (3-4-1-a) çizilir. reaktansın omik değeri yok farz edilerek veya motor omik direnci içinde ifade edilerek şekil (3-4-1-b) çizilir. Referans olarak I_{XL} akımı alınarak sistemin fazör diyagramı çizilir. Bu yol verme çeşidinde kullanılan sembolik değerler dirençle yol vermede açıklandığı için burada sadece eksik kalanlar açıklanacaktır. Fazör diyagramında :

X_L : Yol verme reaktansını belirtmektedir. (ohm/faz)

I_{XL} : Reaktansla yol vermede şebekeden çekilmesinde sakınca olmayan akım.

K_{XL} : Reaktansla yol verme akım katsayısı

U_{XL} : Yol verme reaktansında düşen gerilimdir.

Şekil (3-4-1-c) deki fazör diyagramından :

$$U_f = \frac{U_n}{\sqrt{3}} \quad (\text{Motor şebekede yıldız bağlı olduğunda})$$

U_n (Motor şebekede üçgen bağlı olduğunda)

$$U_f = \frac{I_n \cdot K_{XL}}{I_n \cdot K_d} = \frac{K_{XL}}{K_d} \rightarrow I_{XL}$$

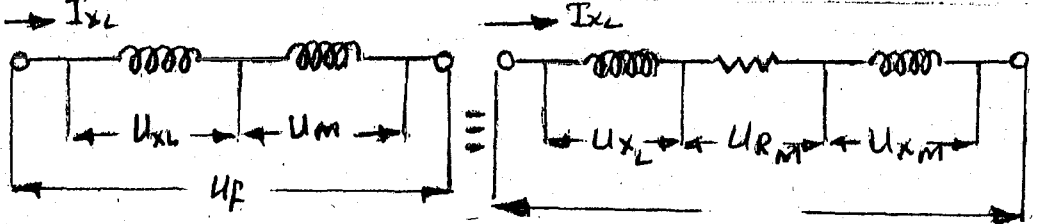
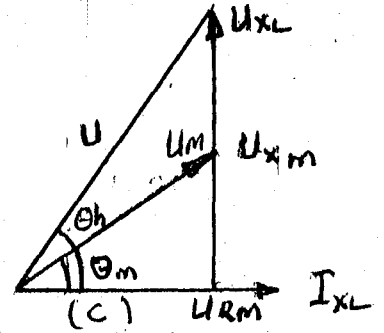
$$I_{XL} = I_n \cdot K_{XL}$$

$$U_m = U_f \cdot u$$

$$U_{xm} = U_m \cdot \sin \theta$$

$$U_{rm} = U_m \cdot \cos \theta$$

$$U_{XL} = \sqrt{U_f^2 - U_{rm}^2} - U_{xm}$$



(a)

(b)

Şekil (3-4-1)

$$X_L = \frac{U_{XL}}{I_{XL}}$$

Örnek : Etiketinde 600Kw, 6300V ve 69 Amper yazılı üç fazlı bir asenkron motor fazlar arası 6300 voltluk bir devreye direkt bağlandığında nominal akımının yedi katı akım çekmektedir. Yol alma anında $\cos\theta = 0,3$ olduğuna göre yol alma akımının nominal akımın iki katına düşüren yol verme reaktansının değerini hesaplayınız.

Verilenler :

$$U_n = 6300 \text{ Volt}$$

$$U_n = 6300 \text{ Volt}$$

$$I_n = 69 \text{ Amper}$$

$$K_d = 7$$

$$K_{XL} = 2$$

$$\cos\theta = 0,3$$

İstenenler

$$X_L \text{ ?}$$

Çözüm :

$$U_n = U_f \text{ (Motor belirtilen şebekede üçgen bağlanabilir)}$$

$$u = \frac{K_{XL}}{K_d} = \frac{2}{7} = 0,29$$

$$I_{XL} = I_n \cdot K_{XL} = 69 \cdot 2 = 138 \text{ Amper}$$

$$U_m = U_f \cdot u = 6300 \cdot 0,29 = 1827 \text{ volt}$$

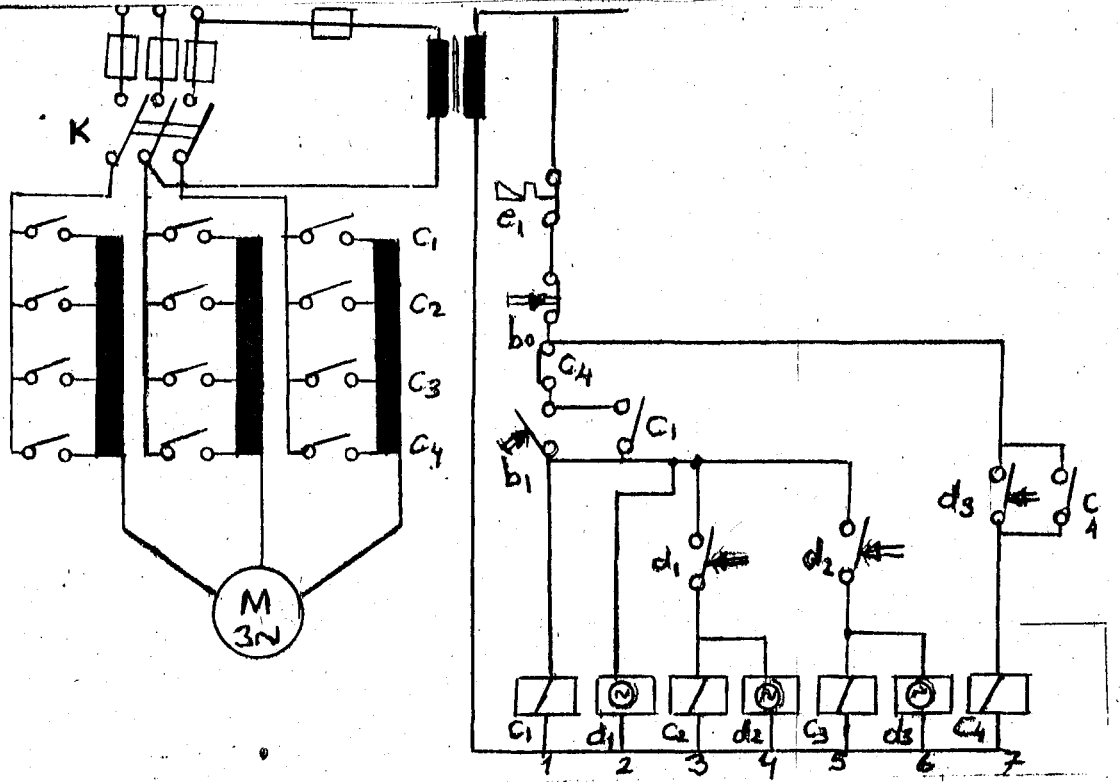
$$\sin\theta = \sqrt{1 - \cos^2\theta} = \sqrt{1 - 0,3^2} = 0,95$$

$$U_{xm} = U_m \cdot \sin\theta = 1827 \cdot 0,95 = 1735,7 \text{ Volt}$$

$$U_{rm} = U_m \cdot \cos\theta = 1827 \cdot 0,3 = 548 \text{ volt}$$

$$U_{XL} = \sqrt{U_f^2 - U_{xm}^2} - U_{xm} = \sqrt{6300^2 - 1735,7^2} - 1735,7 = 4541 \text{ Volt}$$

$$X_L = \frac{U_{XL}}{I_{XL}} = \frac{4541}{138} = 33,4 \text{ ohm}$$



Şekil(3-4-2)

3-4-2 Reaktansla yol verme devresi ve çalışması:

Devrenin çalışması : Şekil (3-4-2) deki K şalteri kapatılır.

Operasyon: 1- b_1 Startına basılır. c_1 Kontaktörü ve d_1 zaman rolesi devreye girer. c_1 Kontaktörü start butonuna paralel c_1 kontağını kapatarak kendini mühürler. Ayrıca güç devresindeki c_1 kontaklarını kapatarak motora $0,5 U_n$ uygulanmasını sağlar.

Operasyon: 2- Birinci operasyonda devreye giren d_1 zaman rolesi 3. sutundaki kontağını kapatarak c_2 kontaktörü güç devresindeki kontaklarını kapatarak motora $\%65 U_n$ uygulanmasını sağlar.

Operasyon : 3- İkinci operasyonda devreye giren d_2 zaman rolesinin 5. sutundaki gecikmeli kontağı kapanarak c_3 kontaktörünü ve d_3 zaman rolesini devreye sokar. c_3 kontaktörü güç devresindeki c_3 kontaklarını kapatarak motora $0,80 U_n$ uygulanmasını sağlar.

Operasyon: 4- Üçüncü operasyonda çeken d_3 zaman rolesi 7. sutundaki kontağını kapatarak c_4 kontaktörünü devreye sokar. c_4 Bir taraftan kumanda devresinde 7. sutundaki kontağını kapatarak kendini mühürler, güç devresindeki kontaklarını kapatarak motora nominal gerilimin uygulanmasını sağlar.

Ayrıca kumanda devresinin birinci sütunundaki kontağını açarak görevi biten kontaktör ve roleleri devreden çıkarır.

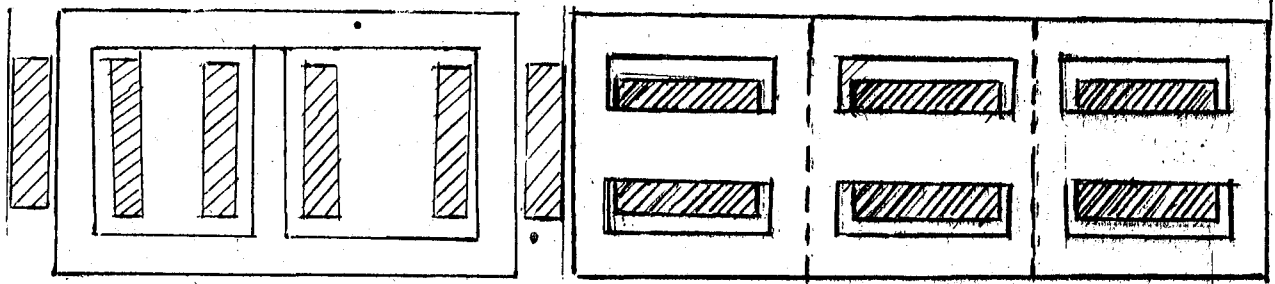
Sonuç olarak motora sırası ile %50, %65, %80 ve %100 oranında nominal gerilim uygulanarak ilk kalkışta aşırı akım çekmesini önler. Reaktansın önemli özelliklerinden birisi de darbe akımlarına karşı indüksiyon emi meydana getirerek karşı çıkmasıdır.

3-5 Oto transformatoru ile yol vermek:

3-5-1 Yol verme transformatoru olarak Oto transformatoru:

Bu yol verme tarzının anlatılması oto transformatorunun konuyu ilgilendiren yönlerini kısaca özetledikten sonra açıklanması uygun olacaktır.

Yol vermede mantel veya çekirdek tipi, üç bacaklı nüvelere sarılan üç fazlı oto transformatorları kullanılır. bir fazlı olarak üç ayrı transformatorda kullanılabilir. Şekil (3-5-1)



Çekirdek tip Şekil (3-5-1)

Mantel tip

Maliyetindeki pahalılığa rağmen servis kolaylığı sağlaması bakımından üç adet bir fazlı transformator kullanılması daha uygundur. Çünkü bir fazlı transformatorlar V bağlantıda kullanılacak özellikleri de taşıyacak şekilde yapıldıkları takdirde taraflardan biri arıza nedeniyle devre dışı edildiğinde bile motorun yol verme işi aksamadan devam edebilir.

Oto transformatoru ile yol vermede motor için gerekli akımın bir kısmı şebekeden diğer bir kısmı transformatorun transfer gücünden (tip gücü) elde edildiği için yol verme transformatoru gücü (tip) motorun yol almada çekeceği güçten küçüktür. Tip gücünden ilerde bahsedilecektir. Bir fazlı transformatorlardan oluşan yol verme transformatorunun gerekli olan büyüklüklerini şekil (3-4-2-a-b-c) den yararlanarak bulabiliriz. Şekil (3-4-2a) da transformator yüksüz iken I_0 akımı çekilmektedir. Bu durumda indüksiyon yoluyla $\dot{a}c$ sargılarında E_z zıt emk meydana gelir. Bu gerilim ile kaçak reaktanslardan ve omik dirençten dolayı düşen gerilimin toplamı:

$U_1 = E_z + I_0 (R_{ac} + jX_{ac})$ olur. Transformator yüklendiğinde I_0 akımına ilaveten I_1 akımı geçer. Bu durumda Şekil (3-4-2b) de görüleceği gibi I_{ab} değeri aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$I_{ab} = I_h = I_0 + I_1$$

(3-5-1)

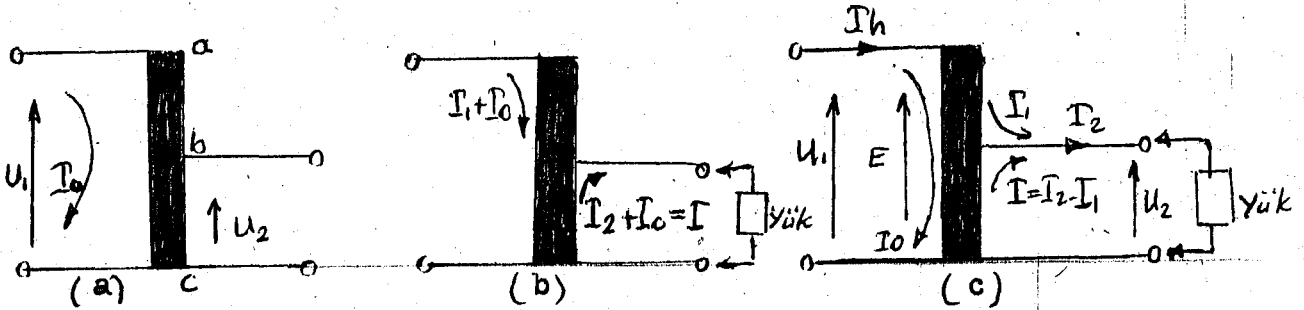
bc noktaları arasında indüksiyon emk değerinin geçirmek istediği akım $I - I_0 = I_2$ veya $I = I_2 + I_0$ olsun. Birbirine 180 derece zıt olan bu iki akımın farkı bc den geçen gerçek akım şiddeti olacaktır. Büyükten küçüğü çıkarıldığında:

$$I_2 + I_0 - (I_1 - I_0) = I_{bc} = I \quad (3-5-2)$$

$$I = I_2 - I_1 \text{ olur.} \quad (3-5-3)$$

Şekil (3-5-2b) deki durum şekil (3-5-2c) deki gibi düşünebiliriz. Ve boştaki çekilen akım ihmal edilerek:

$$\underline{U}_{ac} = \underline{U}_{ab} + \underline{U}_{bc} \text{ olur.} \quad (3-5-4)$$



Şekil (3-5-2)

ab noktaları arasında düşen gerilim, ab arasında oluşan zıt emk ile kaçak reaktansın ve direncten dolayı düşen gerilimlerin fazör toplamıdır.

$$\underline{U}_{ab} = \underline{E}_{ab} + \underline{I}_{ab} (R_{ab} + jX_{ab}) \text{ yazabiliriz} \quad (3-5-5)$$

bc arasındaki gerilimin yazılmasında ise \underline{E}_{bc} sekonderdeki emk olduğundan $\underline{E}_{bc} = \underline{U}_{bc} + \underline{I}_{bc} (R_{bc} + jX_{bc})$ olur $(3-5-6)$

$$\underline{U}_{bc} = \underline{E}_{bc} - \underline{I}_{bc} (R_{bc} + jX_{bc}) \text{ dir} \quad (3-5-7)$$

denklem (3-5-5) ile denklem (3-5-7) taraf tarafa toplandığında:

$$\underline{U}_{ab} + \underline{U}_{bc} = \underline{E}_{ab} + \underline{E}_{bc} + \underline{I}_{ab} \cdot R_{ab} + \underline{I}_{ab} \cdot jX_{ab} - \underline{I}_{bc} \cdot R_{bc} - \underline{I}_{bc} \cdot jX_{bc} \quad (3-5-8)$$

Şekil (3-5-2c) den yararlanarak :

$$\underline{U}_{ab} + \underline{U}_{bc} = \underline{U}_1$$

$$\underline{E}_{ab} + \underline{E}_{bc} = -\underline{E}_1$$

$$\underline{I}_{ab} = \underline{I}_1$$

$$\underline{I}_{bc} = \underline{I} = \underline{I}_2 - \underline{I}_1$$

$$R_{ab} = R_1$$

$$R_{bc} = R_2$$

$$jX_{ab} = X_1$$

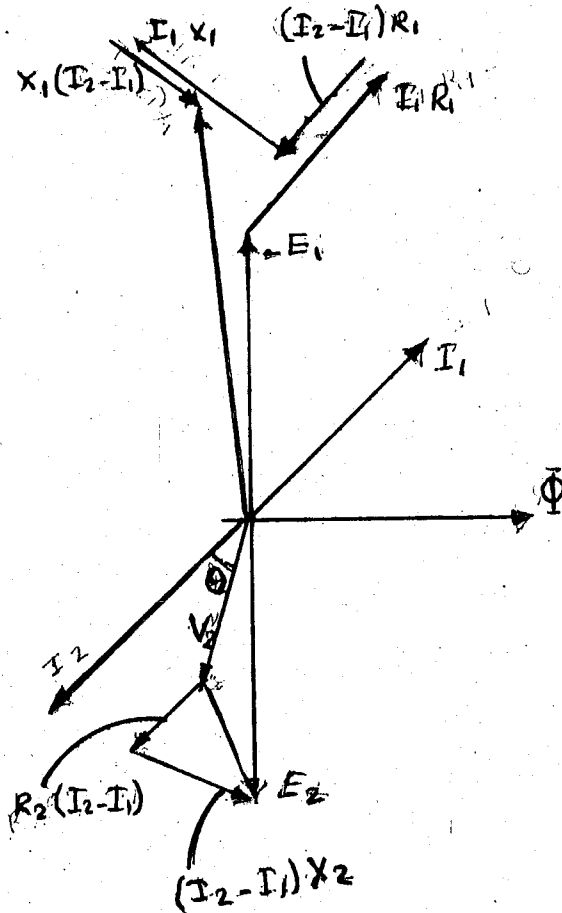
$$jX_{bc} = X_2 \text{ yazabiliriz.}$$

Deneklem (3-5-7) ve (3-5-8) yeni değerleri ile yazıldığında :

$$\underline{U}_1 = -\underline{E}_1 + \underline{I}_1 \cdot R_1 + \underline{I}_1 \cdot jX_1 - (\underline{I}_2 - \underline{I}_1) R_2 - (\underline{I}_2 - \underline{I}_1) jX_2 \quad (3-5-9)$$

$$\underline{U}_2 = \underline{E}_2 - \underline{I}_2 \cdot R_2 - \underline{I}_2 \cdot jX_2 \text{ elde edilir.} \quad (3-5-10)$$

elde edilen bu değerlere fazör diyagramını çizebiliriz Şekil (3-5-3)



Şekil (3-5-3)

3-5-2 Oto transformatorunda akım;

Oto transformatoru ile yol vermede kullanılan transformator bağlantısı yıldız veya V bağlantı olsa da hat akımı iki defa azaltılmış olur. Bunlardan birinci azaltma motora düşük gerilim uygulandığında kalkınma akımı uygulanan düşük gerilimin nominal gerilimi oranı ile orantılı olarak azalır. Bu durumu $I_m = I_2 = \frac{U_2}{U_1} \cdot I_n \cdot k_d = u \cdot I_n \cdot k_d$ (3-5-11)

formülü ile ifade edebiliriz. Formülde :

I_m : Motorun düşük gerilimde çektiği akım

I_n : Motorun nominal akımı

k_d : Direk yol alma akım katsayısı ($k_d = I_d / I_n$)

Diğer azaltma ise transformatorun dönüştürme oranından dolayı meydana gelir. Transformatorunda kayıplar ihmal edildiğinde giriş gücü çıkış gücüne eşittir. Bunun ifadesi $U_1 \cdot I_1 = U_2 \cdot I_2$ ve buradan $I_1 = u \cdot I_2$ olur. (3-5-12)

denklem (3-5-11) de elde edilen $I_1 = u \cdot I_2$ ifadesinde yerine konursa :

$I_1 = u \cdot u \cdot I_n \cdot k_d = (u)^2 \cdot I_n \cdot k_d$ elde edilir.

$I_h = I_1 + I_0$ olduğundan şebekeden çekilen akım :

$I_h = (u)^2 \cdot I_n \cdot k_d + I_0$ olur (3-5-13)

Sonuç olarak oto trafosu ile yol vermede hattın çekilen akım dönüştürme oranının karesi ile doğru orantılıdır. Aşağıdaki cetvel ototrafosu ile yol alan bir asankron motorun çeşitli dönüştürme oranlarında şebekeden çekilen ve tip gücünden temin edilen akımların yüzdesini vermektedir.

Dönüştürme oranı (u)	Motorun yol alma akımı (I_2) (%olarak)	Şebekeden çekilen akım ($I_0=0$) (%olarak)	tip gücünden çekilen akım (%olarak)
0,5	% 100	% 50	% 50
0,65	% 100	% 65	% 35
0,8	% 100	% 80	% 20

Her gerilim kademesinde I_2 ile I_h karşılaştırtığımızda $I_2 > I_h$ olduğu görülmektedir. diğer bir deyimle ototransformatoru ile yol vermede şebekeden çekilen akım motorun çektiği akımdan küçüktür.

Oto transformatoru ile yol vermenin diğer yol verme yöntemlerine nazaran üstün tarafı yukarıda açıklanan durumdur.

3-5-3 Oto transformatoru ile yol vermede güç:

Konunun başında kısmen bahsedildiği gibi oto transformatoru ile motorun çektiği gücün bir kısmı direk şebekede diğer kısmı ise yine şebekeden fakat elektromanyetik yolla ikinci devreye geçen güçtür. Elektromanyetik yol ile yükü aktarılan bu güce tip gücü denir. tip gücünü çeşitli şekillerde hesaplayabiliriz. Kolaylık olması bakımından kayıplar ihmal edilerek aşağıdaki gibi yazabiliriz. Sekonder sargıdan dolaşan akım I ve sekonder gerilimin U_2 olduğuna göre:

$$P_T = U_2 \cdot I = U_2 (I_2 - I_1) \text{ yazılabilir.} \quad (3-5-14)$$

diğer taraftan $P_2 = U_2 \cdot I_2$ ve $P_T = U_2 \cdot I$ olduğundan,

$$\frac{P_T}{P_2} = \frac{U_2 \cdot I}{U_2 \cdot I_2} \quad \frac{P_T}{P_2} = \frac{I_2 - I_1}{I_2} \quad \frac{P_T}{P_2} = \frac{(I_2 - I_1)}{I_2} \cdot P_2 \quad P_T = P_2 \cdot \left(1 - \frac{I_1}{I_2}\right) \quad (3-5-15)$$

Kayıplar ihmal edildiğine göre şekil (3-5-2a) daki ab noktaları arasına verilen güç elektromanyetik yolla tip gücüne dönüşmektedir. Bu duruma göre aşağıdaki eşitlikler yazılabilir.

$$P_T = I_1 (U_1 - U_2)$$

$$P_1 = P_2 = U_1 \cdot I_1 \text{ eşitliğinden,}$$

$$\frac{P_T}{P_2} = \frac{I_1 (U_1 - U_2)}{I_1 \cdot U_1} \Rightarrow \frac{P_T}{P_2} = \frac{P_2 (U_1 - U_2)}{U_1} \Rightarrow P_T = P_2 \left(1 - \frac{U_2}{U_1}\right) \quad (3-5-16)$$

Denklemler (3-5-15) ve (3-5-16) dan $I_1/I_2 = u$ ve $U_2/U_1 = u$ olduğundan $P_T = P_2 \cdot (1-u)$ elde edilir. Bu durum yol vermede kullanılacak trafonun tip gücünün dönüştürme oranı ile ilgisini gösterir. Standart yol verme gerilimlerinde şebekeden direkt alınan güç ile elektromanyetik yol ile alınan gücün değişimi aşağıdadır.

u	Tip gücü (P_T)	Şebekeden direkt çekilen güç
0,50	$P_T = P_2 (1-0,5) = 0,5P_2$	$P_2 - P_T = P_2 - 0,5P_2$
0,65	$P_T = P_2 \cdot (1-0,65) = 0,35P_2$	$P_2 - P_T = P_2 - 0,35P_2 = 0,65P_2$
0,80	$P_T = P_2 \cdot (1-0,80) = 0,20P_2$	$P_2 - P_T = P_2 - 0,20P_2 = 0,80P_2$

Sonuç olarak gerilim yükseldikçe şebekeden çekilen direkt güç artmaktadır $U_1 \cong U_2$ veya $I_1 \cong I_2$ olduğunda $P_T = 0$ olur.

Diğer Özellikler :

Bir fazlı Oto transformatoru ile ilgili şimdiye kadar bahsettiğimiz özellikler üç fazlı yıldız bağlı mantel veya çekirdek tipi nüveye sahip olanlar için de geçerlidir. Fakat şekil (3-5-4) de görülen V bağlı oto transformatorunun güç yönünden diğerlerine nazaran farklı bir durumu vardır. Şekil (3-5-4) den görüleceği gibi V bağlı transformator-
dan sargılar birbirine 60° bağlanırlar. Bunu teğmin etmek gayet basittir. ac ve bc bobinlerinin birer uçları rastgele bağlanır, ve şekil (3-5-4) de görüldüğü gibi şebeke fazları ile irtibatlanır. de uçlarından gerilim ölçülür. İç empedanstaki gerilim düşümü ihmal edilirse bu değer $U_1 = U_2$ değerini veriyorsa bağlantı dorudur.

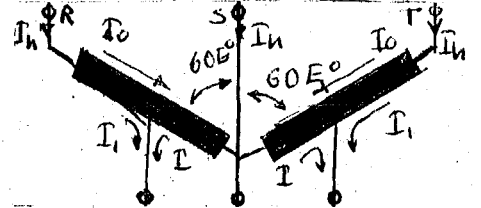
Diğer farklılık V bağlı transformatorun her bir bobini fazlar arası gerilime göre sarılır. Yıldız bağlı taransfor motorda ise her bir bobin $U_n / \sqrt{3}$ voltajına göre sarılır. V bağlı taransfor motorlar iki adet sargıdan meydana gelirler. Bominin sarıldığı nüve kesiti diğer taransfor motorlara nazaran daha büyük alınmalıdır. Bu bağlantıda transformator sargılarından geçen akım hat akımına eşittir. Fakat bu akım güç faktörü 1 olduğu zaman bile voltajdan 30 farklı fazdadır. Bu yüzden yükün güç faktörü 1 olsa bile Transformator kendi kendine $\cos \theta = \sqrt{3}/2 = 0,866$ değerinde bir güç faktörü meydana getirir. Buna göre üçgen bağlı bir trafo-
nun gücü 100 kabul edilirse V bağlı bir trafo-
nun gücü $100 \cdot 2/3 \cdot \sqrt{3}/2 = 56,18$ olur. Her faz için ayrı trafo yapımında bu durum göz önünde bulundurulmalıdır.

Örnek problem :

40 kw 380 Volt 76 Amper bir asenkron motor direkt yol aldığı anda nominal akımının 5 katı akım çekiyor. V bağlantılı bir oto transformatoru ile %65 gerilim kademesinde yol verilecektir. Miknatıslama akımı 10 Amper olduğuna göre her bir faz için: $U_n = 380$ Volt

- Motorun çektiği akımı,
- Hat akımını,
- Tip gücünün sağladığı akımı,
- I_1 akımını,

- Tip gücünü hesaplayarak yukarıda bulunan değerleri V bağlı bir trafo şemasında gösteriniz.



Şekil(3-5-4)

Verilenler :

- $P_m = 40 \text{ Kw}$ (Motor gücü)
 $U_h = 380 \text{ Volt}$ (Fazlar arası gerilim)
 $I_{mn} = 76$ (Motorun nominal akımı)
 $K_d = 5$ (direk yol alma akım kat sayısı)
 $I_o = 10 \text{ Amper}$ (Transformator mıknatıslama akımı)

İstenenler :

- $I_2 = ?$ (365 gerilimde motorun çektiği akım)
 $I_h = ?$ (Hattan çekilen akım)
 $I_1 = ?$
 $I = ?$
 $P_T = ?$

Çözüm :

- a) $I_2 = u \cdot I_n \cdot k_d = 0,65 \cdot 76 \cdot 5 = 247 \text{ Amper}$
 b) $I_h = (u^2) \cdot I_n \cdot k_d + I_b = 0,65^2 \cdot 76 \cdot 5 + 10 = 170,55 \text{ Amper}$
 c) $I_1 = I_h - I_b = 170,55 - 10 = 160,55 \text{ Amper}$
 d) $I = I_2 - I_1 = 247 - 160,55 = 86,45 \text{ Amper}$
 e) $P_T = U_2 \cdot I = 247 \cdot 86,45 = 21353,15 \text{ VA}$

V bağlantılı oto transormotorunda hesaplanan güç V bağlı sargılardan birine ait güçtür.

3-5-4 Oto transormotoru ile yol vermek:

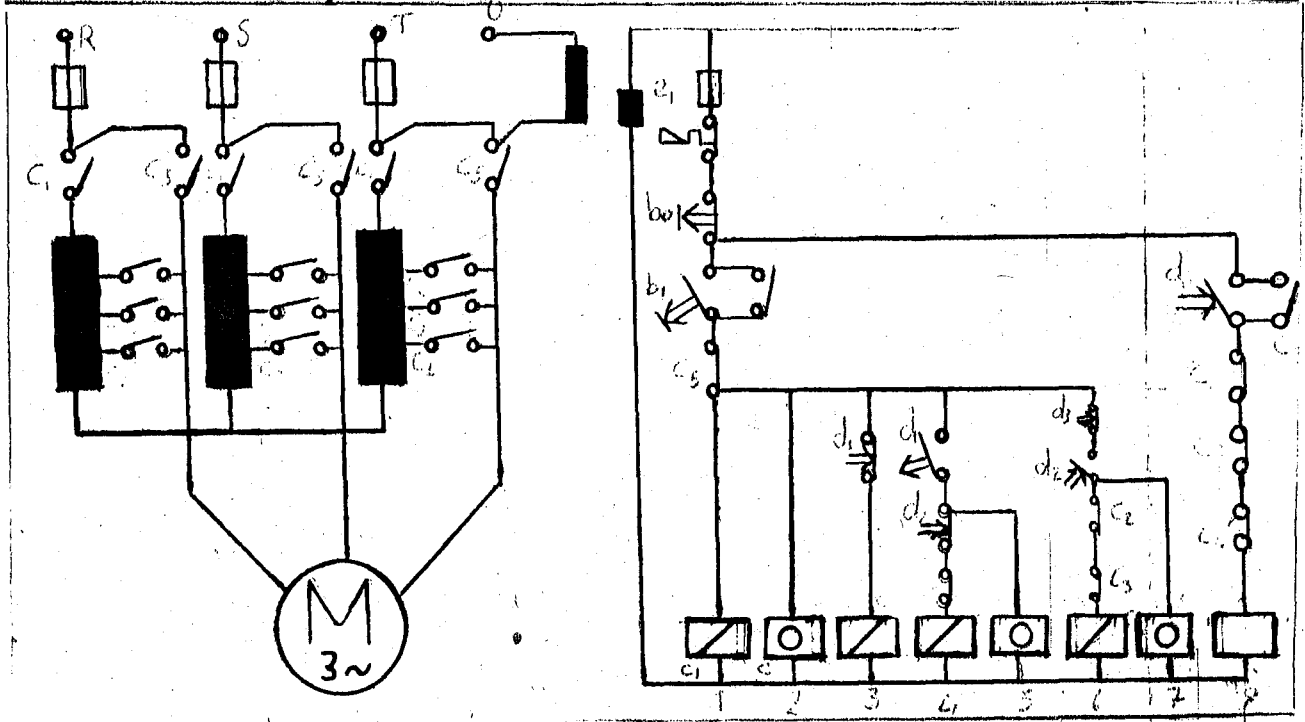
Oto transformatoru ile yol vermek diğerlerine nazaran ilk maliyeti fazla fakat verimliliği ve servis kolaylığı bakımından en iyisidir. Ayrıca şebekeden çekilen akımın motorun çektiği akımın daima küçük olması bu yol vermenin diğerlerine nazaran üstün tarafıdır. Bu yol verme çeşidinde motora kademeli olarak %50, %65, %80 ve %100 gerilimler uygulanarak yol verilir. Sadece büyük güçlü kısadevre asenkron motorlara yol verilmesinde bu kademeleme farklıdır. Oto transformatoru ile yol verme çeşitleri aşağıda belirtilmiştir.

- a) Açık devre geçişli yol vermek
 b) Kapalı devre geçişli yol vermek

3-5-4-1 Açıkdevre geçişli yol vermek:

Küçük ve orta güçte motorlara açık devre geçişli sistem uygulanır. Bu yol verme sisteminde bir gerilim kademesinden diğer gerilim kademesine geçişte kısa bir an için motorun akımı kesildikten sonra diğer kademe gerilim uygulanır. Akımın kesilmesi ile verilmesi esnasında motorun bobininde meydana gelen indüksiyon elektro motor kuvvetinin meydana getireceği zarar ihmal edilebilir.

Şekil (3-5-5) de oto transformatoru ile açık devre geçişli ve %50, %65 %80,%100 gerilim kademeli yol verme şeması görülmektedir.



Şekil(3-5-5)

Çalışması:

Operasyon:1:- (%50 gerilimle çalışmak) b_1 startına basıldığında C_1, d_1, C_2 röle ve kontaktörleri devreye girer. C_1 kontaktörü kendini kilitleyerek (1. sütündeki kontağı vasıtası ile) kumanda devresine besler. Güç devresindeki kontaklarını kapatarak ototransformatörünü şebekeye irtibatlar. C_2 kontaktörü transformatoru %50 gerilim uçlarını motor uçları ile irtibatlayarak motorun %50 gerilim ile yol almasını sağlar.

Operasyon:2:- 1. Operasyonda devreye giren d_1 zaman rölesi zaman gecikmesi ile 3. sütündeki d_1 kontağını açarak 4. sütündeki d_1 kontağını kapatır. Böylece C_2 kontaktörü devreden çıkar C_3 kontaktörü ve d_2 zaman rölesi devreye girer. Motorun %50 gerilimle olan irtibatı kesilir. C_3 kontaktörü vasıtası ile %65 gerilimle irtibatlanır.

Operasyon:3:- 2. operasyonda devreye giren d_2 zaman rölesi 4. sütündeki kontağını açarak C_3 kontaktörünü devreden çıkarır altıncı sütündeki kontağını kapatarak C_4 kontaktörü ve d_3 zaman rölesini devreye girmesini sağlar. C_4 kontaktörü motoru %80 gerilimle irtibatlanır.

Operasyon 4 - 3. Operasyonda devreye giren d_3 zaman rolesi 6. sütündeki d_3 kontağını açarak sekizinci sütündeki kontağını kapatır C_5 kontaktörünün devreye girmesini sağlar. C_5 kontaktörü birtaraftan sekizinci sütündeki kontağını kapatarak kendini mühürlür. Diğer taraftan birinci sütündeki kontağını açarak görevi biten role ve kontaktörleri devreden çıkarır. Güç devresindeki kontağını kontağını kapatarak motoru şebekeye irtibatlar. C_1 açılması ile ototransformatoru devre dışı olduğundan motor normal gerilimde çalışmasına devam eder.

3-5-4-2 Kapalı devre geçişli yol vermek:

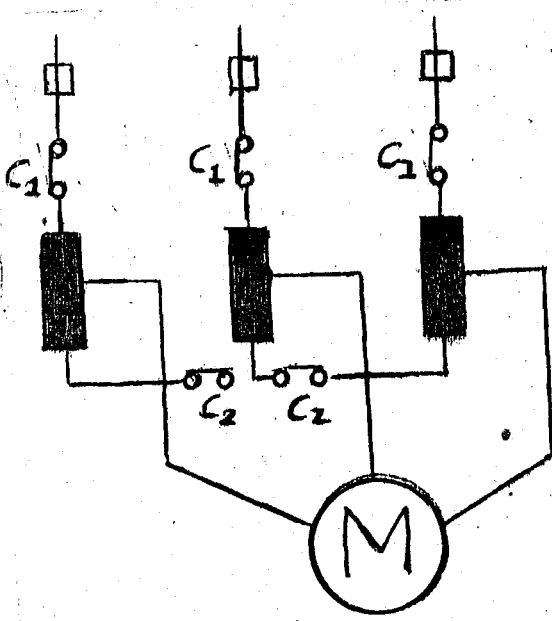
BölümII de (2-2-2) kısımda belirtildiği gibi büyük güçlü motorların akımlarının kesilip verilmesi halinde büyük bir akım şiddeti çok kısa bir zamanda sıfır olduğundan meydana gelen zıt elektromotor kuvvet ile yeniden devreye tatbik edilen şebeke geriliminin biri biri ile vektöryel olarak toplandığında, gerek motor ve şebekede bulunan cihazların izolasyonu yönünden problemler çıkarabileceği anlatılmıştır. Ayrıca belirlenen değerlerde bir gerilim motorda yeniden bir akım tepmesi (aşırı akım çekmek) meydana getirir. Yukarıda bahsedilen bu olay küçük güçlü motorlarda da aynı meydana gelmektedir. Fakat tesirleri ihmal edilecek düzeydedir. Bu nedenle büyük güçlü motorlara oto transformatoru ile yol vermede akımın kesilmesine izin vermeden motora değişik kademelerde gerilim uygulayan sistemler geliştirilmiştir. Geliştirilen bu yol verme şekline kapalı devre geçişli yol vermek denir.

Kapalı devre geçişli olarak oto transformatoru ile yol vermek üç operasyondan meydana gelir.

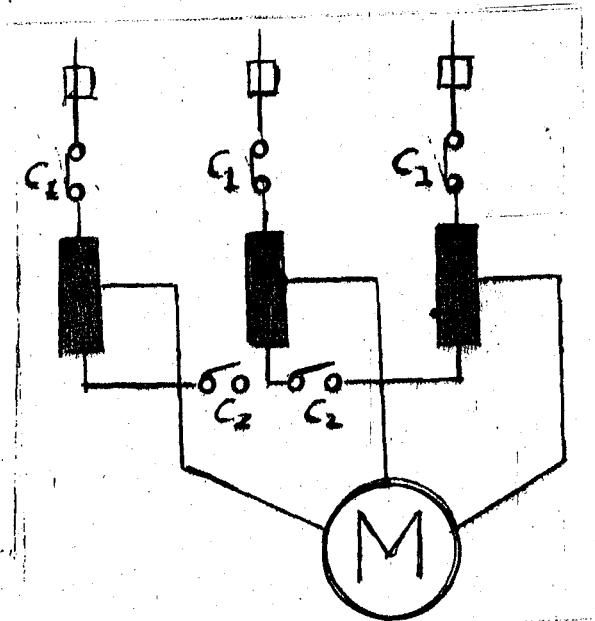
Operasyon:1- Şekil (3-5-6) da görüleceği gibi oto transformatoru ile yol vermek gerçekleştirilerek nominal gerilimin %50,%65 veya %80'i motora ilk anda uygulanır. Bu durumda C_1 ve C_2 kontakları kapalıdır.

Operasyon:2- Şekil (3-5-7) de görüleceği gibi oto transformatorunun yıldız köprüsü açılarak taransformator sargılarının bir kısmı seri reaktans şeklinde devreye girer. Bu durumda şebekeden çekilen akım motorun nominal akı değerine yaklaşmıştır. (2. Operasyon motor nominal devir adedinin %80 değerine ulaştığında başlatılır.)

Motora seri reaktans halinde bağlı bulunan transformator sargıları bir faz sargısının %50 sini teşkil etse bile yol alma akımının düşmüş olması bu sarımlarda düşen gerilimi azaltacağından motora %50 nin üzerinde bir gerilim uygulanmış olur. Bu operasyonda C_1 kapalı C_2 açıktır.

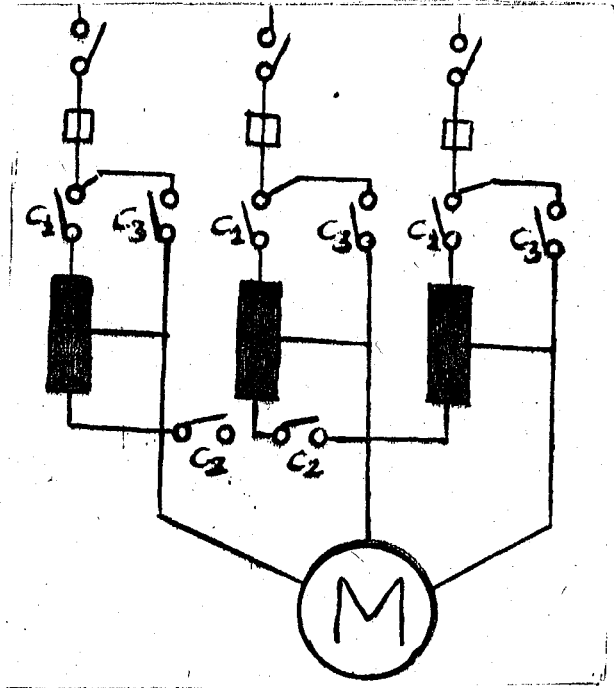


Şekil (3-5-6)

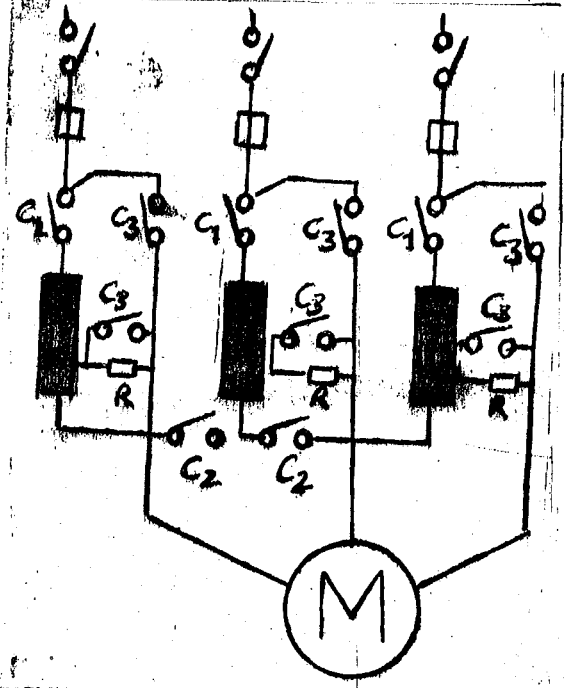


Şekil (3-5-7)

Operasyon : 3- Bu operasyonda seri reaktans halindeki sargılar kısadevre edilerek artık görevi biten transformator devreden çıkarılır. Böylece motor şebeke ile irtibatlanmış olur. Bu görevin yapılmasında önce C_3 kontaktörü sargıları hem kısadevre edip hem de motoru şebekeye irtibatlar. C_3 kontaktörünün çekişinden kısa bir zaman sonra açılan C_1 kontakları transformatoru devreden çıkarır. Şekil (3-5-8) de kısa devre edilen sargılarda biriken enerjinin doluşturacağı sirkülasyon akımı veya oluşturacağı indüksiyon gerilimi bir zarar meydana getirmesi ihtimaline karşılık şekil (3-5-9) da gösterildiği gibi akım sınırlama direnci konabilir.



Şekil (3-5-8)

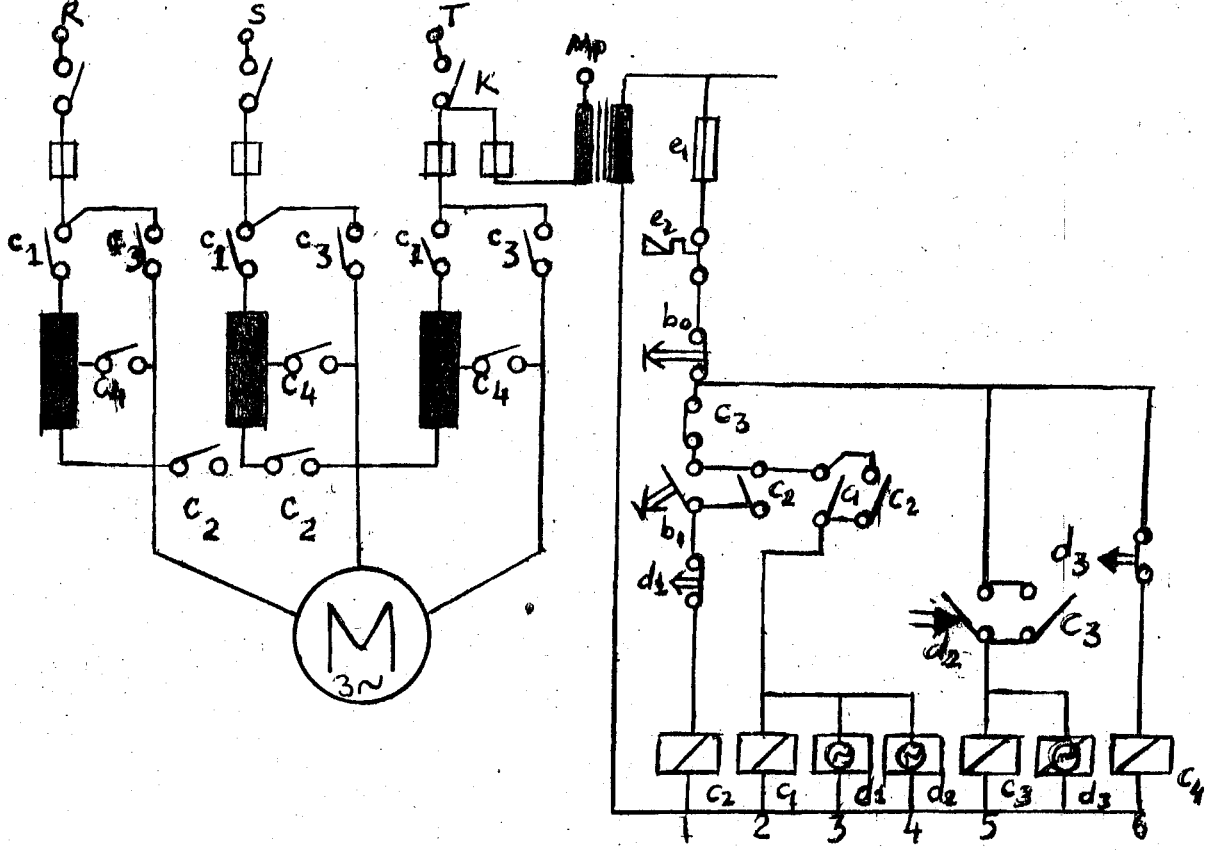


Şekil 3-5-9

Ototransformatoru ile kapalı devre geçişli yol verilen bir asenkron motorun güç ve kumanda devresinin çalışmasını açıklanması aşağıdaki gibi olabilir. Şekil (3-5-10) böyle bir devreyi göstermektedir.

Operasyon :1- K şalteri kapatıldığında kumanda devresinin altındaki sütundaki C_4 kontaktörü direkt devreye girer. b_1 startına basıldığında C_2 kontaktörü çekerek birinci sütundaki b_1 butonuna paralel kontağını kapatarak kendini mühürler. Ayrıca ikinci sütundaki C_2 kontağını kapatarak C_1 kontaktörü ve d_1, d_2 zaman rolelerini de devreye sokar. C_1 kontaktörü ikinci sütundaki kontağını kapatarak kendini mühürler. C_2 sonradan C_1 kontaktörlerinin devreye girmesi güç devresinde bunlara ait açık kontakları kapatarak önce ototransformatorunu yıldız köprüsünü temin edilir. Sonra transformator C_1 kontakları vasıtası ile şebekeye irtibatlanır. C_4 ün ilk andan itibaren kapalı olması sonucu ototransformatorunun % 50 değerindeki gerilimin motora uygulanmasını sağlar.

Operasyon :2- Birinci operasyonda devreye giren d_1 ve d_2 zaman rolelerinden d_1 in zaman ayarı, Nominal devir adedinin % 80 değerine ulaşma müddetine göre yapılmalıdır. d_2 zaman rolesinin ayarı ise motorun % 100 değerinde nominal devir adedine ulaşma müddetine göre ayarlanmalıdır.



Şekil (3-5-10)

Bu duruma göre birinci operasyonda devreye giren d_1 zaman rölesi motorun hızı nominal devir adedinin % 80 değerine yaklaşıp olarak ulaştığında birinci sütundaki zaman geçikmeli açılan kontaklarını açarak C_2 kontaktörünü devreden çıkarır. C_2 kontaktörünün devden çıkması transformatorun yıldız köprüsünü açacağından sekonder sarımları devre dışı kalacaktır, ancak diğer % 50 sargı gurubunun motora seri reaktans olarak seri bağlı kalacağı şekil (3-5-10) da görülmektedir. böylece motor akımı kesilmeden daha önce açıklandığı gibi % 50 den daha büyük bir gerilim uygulanmış olur.

Operasyon 3 - Operasyon 2 deki şartta nominal devir adedine kadar çalıştırılan asenkron motor d_2 zaman rölesinin 5. sütundaki zaman geçikmeli kontaklarını kapaması sonucu C_3 kontaktörü ve d_3 zaman rölesi devreye girer.

C_3 kontaktörü bir taraftan kendini mühürler diğer taraftan kumanda devresindeki birinci sütundaki kontağını açarak bir taraftan görevi biten roleleri devreden çıkarır diğer taraftan güç devresindeki kontaklarını kapatarak seri reaktans kargısını kısadevre eder. Bu durumda motor şebeke gerilimine bağlanmış olur.

Operasyon :4 - Üçüncü operasyonda C_3 kontaktörü ile birlikte devreye giren d_3 zaman rolesi kısa bir gecikme ile C_4 kontaktörü devresindeki d_3 zaman gecikmeli kontağını açarak C_4 kontaktörünü devre dışı eder. Böylece transformatorun şebeke ile hiç bir irtibatı kalmaz. b_0 stop butonuna basmak devreyi başlangıç koşullarına döndürmek için yeterlidir.

3-6 Yıldız-Üçgen yol verici ile yol vermek:

Bölüm I de açıklandığı üzere 4 Kv ve üzerindeki A ve B sınıfı asenkron motorlara yıldız üçgen yol verici ile yol verilebilir. Bu yol verme çeşidinde hat ve faz gerilimleri arasındaki özelliklerden yararlanarak yol verilebilmektedir. Diğer yol vermelerde olduğu gibi yıldız-üçgen bağlantı özelliklerinden faydalanarak motora düşük gerilim uygulanmaktadır. Böylece kalkış akımı azaltılmaktadır. Uygulamada en çok kullanılan yol verme çeşididir. Küçük ve orta güçlü motorlarda en basit ve en ekonomik yol verme budur.

3-6-1 Yıldız-Üçgen yol verilen motorlar.

4 Kilovattın üzerindeki her motora yıldız-üçgen yolverici bağlanamaz. Bir motorun Yıldız-Üçgen yol verici ile yol almasında dikkat edilecek husus, motorun bobin geriliminin şebekedeki fazlar arası gerilime eş olmasıdır. Bu kurala bulunduğu şebekede uymayan motora yıldız-üçgen yol verilemez. Bunun nedeni bir örnekle aşağıda açıklanmaktadır.

Örnek :1

Verilen :

Δ ∇
220/380 Volt

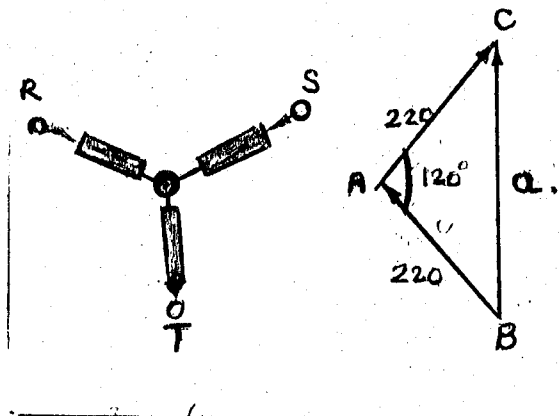
Δ ∇
17,3/10 Amper (Motor etiketinden alınan değerler)

$U_h = 380$ Volt

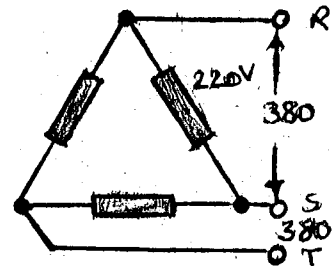
İstenen :

Etiket değeri ve şebeke fazlar arası gerilimi verilen bu motora Yıldız-Üçgen şalterle yol verilebilirmi?

Cözüm : Bir asenkron motorun bobininin nominal gerilimi üçgen gerilimdir. Yukarıda belirtilen motor için bu gerilim 220 voltur. Normal şartlarda bu gerilimle çalışan bobinler 120° de (Elektirik derece) ile bağlandığında Şekil(3-6-1) de görüleceği gibi fazör diyagramı çizilir ve kosinüs teoreminden yararlanılarak gerekli hesaplama yapılır.



Şekil (3-6-1)



Şekil (3-6-2)

Cos teoreminden :

$$\cos A = \frac{b^2 + c^2 - a^2}{2bc} \text{ den } a = \sqrt{b^2 + c^2 - 2bc \cdot \cos A}$$

$$a = \sqrt{220^2 + 220^2 - 2 \cdot 220 \cdot 220 \cdot \cos 120} \text{ buradanda}$$

$$a = 220 \sqrt{2 \cdot (1 - (-0,5))}$$

$$a = 220 \cdot \sqrt{3} = 380$$

yapılan hesaplamadan görülüyor ki, iki adet 220 voltluk bobin 120° açılı ile bağlandığında 380 Volt'a irtibatlanabilir. diğer fazları da göz önüne alarak bu motorun bobinleri 120° de bağlanarak (yıldız) uçlarına 380 volt tatbik edildiğinde her bir bobinde düşen gerilim 220 volt olur. bu değer bobinin nominal gerilimidir.

Aynı motor bobinleri 60° ile (Üçgen) bağlandığında Şekil (3-6-2) den görüleceği gibi nominal çalışma gerilimi 220 volt olan bir bobine 380 volt tatbik edilmiş olur. Bu değerde gerilimin motor sargılarından geçireceği akım motor için zararlı boyutlardadır. Sonuç olarak bu motora fazlar arası 380 volt olan şebekede Yıldız-Üçgen şalterle yol verilmez.

Örnek :2

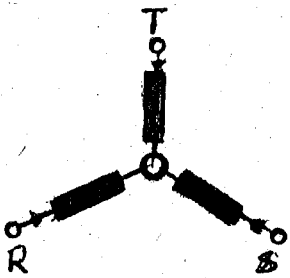
Verilen :

380/660 Volt (Motor etiketinden
17,3/10 Amper alınan değerler)
 $U_h = 380$ Volt

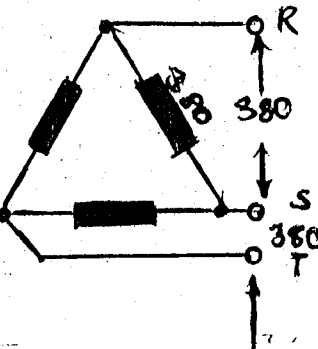
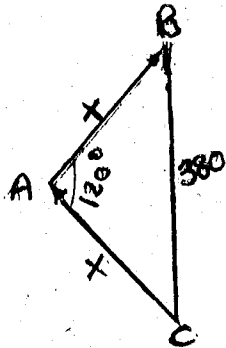
İstenen _____

Etiket değeri ve şebeke fazlar arası gerilimi verilen bu motor Yıldız-Üçgen şalterle yol alabilir mi?

Çözüm : Bu motorun etiketinden anlaşıldığına göre her bir bobinin nominal çalışma gerilimi 380 voltur. 380 voltluk iki bobinin Yıldız-Üçgen şalterle ilk kalkış anında yıldız bağlayarak (120°) fazlar arası 380 Volt tatbik ettiğimizde her bir bobinde düşecek gerilim şekil (3-6-3) ve aşağıdaki hesaplamada belirtilmiştir.



Şekil (3-6-3)



Şekil (3-6-4)

Kosinüs teoreminden :

$$\cos A = \frac{b^2 + c^2 - a^2}{2bc} \text{ den } \cos 120 = \frac{x^2 + x^2 - 380^2}{2x^2}$$

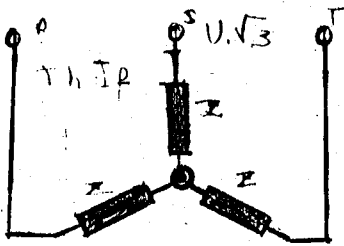
$$2x^2 \cdot \cos 120 = 2x^2 - 380^2 \Rightarrow 2x^2 \cdot \cos 120 = 2x^2 - 380^2$$

$$380^2 = 2x^2 - 2x^2 \cos 120 \Rightarrow 380 = 2x^2 (1 - \cos 120)$$

$$x = \frac{\sqrt{380^2}}{\sqrt{2(1 - (-0,5))}} = \frac{380}{\sqrt{3}} = 220$$

Hesaplama da görüleceği gibi motora önce yıldız bağlamak, 380 Volta tahvil eden bobine 220 volt uygulamak demektir. Kısaca $\sqrt{3}$ oranında düşük gerilim uygulamaktır. Düşük gerilim uygulanan motorun düşük akımla yol alacağı bilinmektedir. İkinci merhalede bobin uçları üçgen 60° de bağlandığında şekil (3-6-4) de görüleceği gibi 380 voltluk bobinlerin 380 volt bağlanarak nominal gerilim ile irtibatlanmış olacaktır.

Sonuç olarak bir motorun Yıldız - Üçgen şalterle yol alabilmesi için motorun bobin (veya üçgen) geriliminin şebekenin fazlar arası gerilimine eşit olması gerekmektedir. Bu kurala bağlı olarak yol verilen motorlar yukarıda açıklandığı üzere yıldız bağlı pozisyonda bağlantı özelliği dolayısıyla $\sqrt{3}$ oranında düşük gerilimle yol almaktadır.

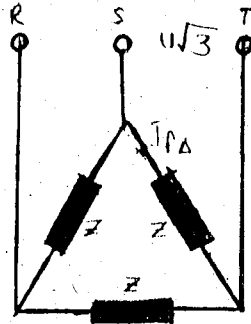


3-6-5

Şekil (3-6-5)

3-6-2 Yıldız - Üçgen yol vermede akım :

Şekil (3-6-5) te fazlar arası gerilim $U \cdot \sqrt{3}$ volt olsun bir faz bobininin uçlarındaki gerilim düşümü $U_f = \frac{U_h}{\sqrt{3}} = \frac{U \cdot \sqrt{3}}{\sqrt{3}} = U_f = U$ elde edilir.



3-6-6

Şekil (3-6-6)

Bir faz bobininin empedansı Z olduğuna göre yıldız bağlantıda hattan çekilen akım $I_h = I_f = U/Z$ olur. Diğer taraftan üçgen bağlantıdaki durumu şekil (3-6-6) da incelediğimizde karşılaştığımız sonuç şudur. Motor değişmediğine göre yıldızda ve üçgende empedans Z dir. Faz bobinlerinden geçen akım değeri, $I_{f\Delta} = U \cdot \sqrt{3}/Z$ olur. Üçgen bağlantıda $I_{f\Delta} = I_{h\Delta}/\sqrt{3}$ ve buradan $I_{h\Delta} = I_{f\Delta} \cdot \sqrt{3}$ olur. Bulduğumuz bu iki hat akımı değerlerini birbirine oranlandığında:

$$\frac{I_{hY}}{I_{h\Delta}} = \frac{U/Z}{I_{f\Delta} \cdot \sqrt{3}} = \frac{U/Z}{U \cdot \sqrt{3}/Z \cdot \sqrt{3}} = \frac{U/Z}{3U/Z} = \frac{U}{Z} \cdot \frac{Z}{3U} = \frac{1}{3} \text{ olur.}$$

Sonuç olarak yıldız-üçgen şalterle yol verilen bir motor direkt üçgen yol vermeye nazaran $1/3$ oranında akım çekecektir. $1/3$ oranı teorik bir değer olup gerçek değer motorun yapım özelliklerine ve yol vericiye bağlı olarak $1/1,7 - 1/2,4$ arasında değişir. Bu durumu daha önce yapılmış deneyin sonuçları daha iyi açıklayacaktır. Aşağıda aynı etiket değerlerine sahip Siemens marka iki ayrı motorun etiket değerleri görülmektedir.

1. Motorun etiketi:

3 Mot 1 LA3107 - 4AA4DZK16
ICE 100L Nr E 862747016014
B3 IP 00 Rot KL 16
380 V 7,1A
3Kw ICL B
Cos 0,8 50Hz
1420 1/min VDE0530

2. Motorun etiketi:

Nr E yi izleyen rakamlar hariç diğer bütün değerler birinci motorda verildiği gibidir.

Yapılan ölçme sonuçları ve gerekli hesaplamalar aşağıdadır.

1. Motor :

Yıldız bağlantıda kalkış akımı $I_{kY1} = 5A$
Üçgen bağlantıda kalkış akımı $I_{k\Delta1} = 11A$

2. Motor :

Yıldız bağlantıda kalkış akımı $I_{kY2} = 5A$
Üçgen bağlantıda kalkış akımı $I_{k\Delta2} = 10,5 A$

$$\text{Birinci motorda } \frac{I_{ky1} \cdot 11}{I_{k\Delta 1} \cdot 5} = 2,2$$

$$\text{ikinci motorda : } \frac{I_{ky2} \cdot 10,5}{I_{k\Delta 2} \cdot 5} = 2,1$$

$$2,2 \neq 2,1$$

Görülüyor ki aynı etiket değerlerine sahip iki farklı siemens marka motorun yıldız ve üçgen akımlarının birbirine oranı aynı değildir. Motorun yıldızdan üçgene geçişi nominal devir adedinin % 80 değerine ulaşmasından sonra yapılmalıdır. Aksi halde yol vermeden beklenen fayda azalır.

3-6-3 Yıldız-Üçgen yolvermede güç :

Bir fazlı devrede aktif güç, $P = U \cdot I \cdot \cos\theta$ formülü ile hesaplanır. Üç fazlı devrede ise bu değer $P = 3 \cdot U_f \cdot I_f \cdot \cos\theta$ olur. Yıldız-Üçgen yol vermede motorun sabit olan Z empedanslarına yıldız bağlantıda hat gerilimi $1/\sqrt{3}$ oranında düşürülerek verilmektedir. Bunun sonucu faz akımı da aynı oranda düşmektedir. Yıldız bağlantıda her bir faz bobininden geçen akımı I_y her bir faz bobinine uygulanan gerilime U_y diyerek yıldızda çalışan motorun çekeceği gücü: $P_y = 3 \cdot U_y \cdot I_y \cdot \cos\theta$ şeklinde ifade edebiliriz. Aynı görüşle üçgen bağlanan aynı asenkron motorun Z empedanslarına uygulanan gerilim hat gerilimidir. Bu gerilime U_Δ diyelim faz bobinlerinden geçen akımı ise hat akımından $1/\sqrt{3}$ oranından küçük olacaktır. Bu akıma da $I_{f\Delta} = U_h / Z = U_\Delta / Z$ diyelim. Üçgende çalışan motorun çektiği gücü $P = 3 \cdot U_\Delta \cdot I_\Delta \cdot \cos\theta$ şeklinde ifade edebiliriz. Yıldız ve üçgende çekilen güçleri birbirine oranlarsak;

$$\frac{P_y}{P_\Delta} = \frac{3 U_y \cdot I_y \cdot \cos\theta}{3 U_\Delta \cdot I_\Delta \cdot \cos\theta} = \frac{U_y \cdot I_y}{U_\Delta \cdot I_\Delta} \quad \text{elde edilir.} \quad (3-6-1)$$

$$\text{Yıldızda ve üçgende aynı empedans devrede olduğuna göre } I_y = \frac{U_h}{\sqrt{3} \cdot Z} = \frac{U}{\sqrt{3}}$$

Olacaktır. Yıldız bağlantıda $U_y = U_h / \sqrt{3} = U_\Delta / \sqrt{3}$ olduğundan denklem (3-6-1) de bu değerleri yerine koyalım.

$$\frac{P_y}{P_\Delta} = \frac{\frac{U_\Delta}{\sqrt{3}} \cdot \frac{U_\Delta}{\sqrt{3}} / Z}{U_\Delta \frac{U_\Delta}{Z}} = \frac{\frac{(U_\Delta)^2}{3Z}}{\frac{U_\Delta^2}{Z}} = \frac{1}{3}$$

Bu sonuç yıldız-Üçken şalterle yol alan bir asenkron motorun Yıldız çalışırken gücünün 1/3nü sargıları için zararlı olmayacak akımlar çekerek çalışabileceği anlamındadır. Aksi halde Yıldız pozisyonunda unutulmuş üçken pozisyonu daki yük ile yüklendiğinde asenkron motorun devir adedi düşerek bu yükü de kaldırmaya çalışacağı bir gerçektir. Fakat bu son durumda görevini, sargıları için tehlikeli akımlar çekerek yerine getirmeye çalışacaktır. Bu çalışma tarzında bilgisizlik veya dalgınlık nedeni ile ısrarlı olmak motorun yanmasına sebep olur. 1/3 değerinde teorik olup gerçek değer akım oranlarında belirtilen sınırlar arasındadır.

3-6-4 Yıldız-Üçken yol vermede momenti:

Bir asenkron motorda moment motorun bobinlerine uygulanan gerilimi karesi ile orantılıdır. bu durumu $M_d = U^2$ şeklinde ifade edebiliriz. Yıldız çalışma pozisyonunda bir faz bobinine uygulanan gerilim $\frac{U_H}{\sqrt{3}} = \frac{U}{\sqrt{3}}$

olacağından :

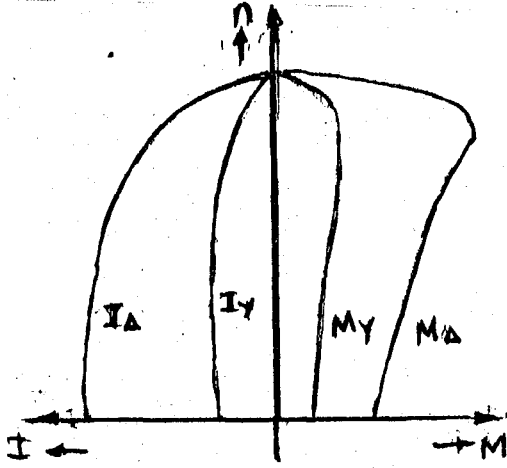
$$M_{dy} = (U_\Delta / \sqrt{3})^2 \quad M_{dy} = U_\Delta^2 / 3 \quad \text{olur} \quad (3-6-2)$$

aynı görüşle üçken çalışma pozisyonunda $M_{d\Delta} = (U_H)^2 \Rightarrow M_d = U_\Delta^2$ olur. (3-6-3)

(3-6-2) eşitliği ile (3-6-3) eşitliğini birbirine oranlarsak :

$$\frac{M_{dy}}{M_{d\Delta}} = \frac{(U_\Delta)^2}{3} \Rightarrow \frac{M_{dy}}{M_{d\Delta}} = \frac{1}{3} \quad (3-6-4)$$

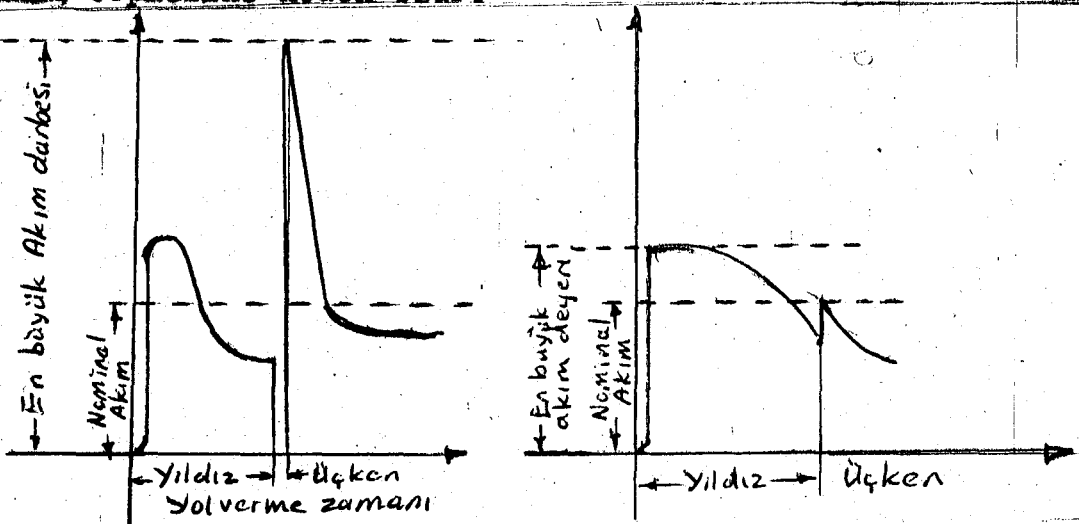
(3-6-4) eşitliğinde elde edilen sonuç teorik değildir. Şekil (3-6-7) de yıldız üçken yol verilen bir asenkron motorda moment akım değişimlerini göstermektedir. Elde edilen moment değeri bir asenkron motorun yol alma problemi varsa yük altında kalkınamayacağını ifade etmektedir. Uygulamada bu durum gözetilmeden yapılan işlerde hem gerektiğinden büyük güçte motor kullanılarak verimi düşük sistemler oluşturulmakta hemde sık sık arıza ve kontaktör masrafı ödenmektedir.



Şekil (3-6-7)

3-6-5 Yıldız üçken yol vermek. :

Yıldız üçken yol verici ile çalıştırılan bir asenkron motor düşük gerilim uygulaması sonucu düşük akımla yol alır. Bu yol verme tarzı ile küçük, orta ve büyük güçlü motorlarda da yol verme imkanı vardır. Bu yol verme aracı üzerinde dirençle yol vermede olduğu gibi bir güç sarfı yoktur. Küçük ve orta güçlerde yıldız bağlantı pozisyonundan üçken bağlantı pozisyonuna geçişte kısa bir müddet için motorun akımı kesilir, ve tekrar verilir. Bölüm (2-2-2) de açıklandığı gibi bu durum yeniden akım tepmesine neden olur.



Şekil (3-6-8)

Şekil (3-6-9)

Şekil (3-6-8) bu durumu göstermektedir. Görüleceği gibi motor üçken pozisyonuna geçişte yeniden nominal akımın üç katı değerinde bir akım

çekmektedir. Büyük güçlü asenkron motorlarda buna mücadele edilemez. Bu nedenle büyük güçlü asenkron motorlarda yıldız pozisyonundan üçken pozisyonuna geçerken akımın kesilmesine engel olan montajlar kullanılır. Yıldız-Üçken yol verme yıldızdan üçken pozisyonuna geçişte akımın kesilmesi veya kesilmemesi yönünden iki montaj kullanılır. Bunlar

1- Açık devre geçişli Yıldız-Üçken yol vericiler

2- Kapalı devre geçişli yol vericiler.

olmak üzere iki tiptir.

Şekil (3-6-9) Kapalı geçişli Yıldız-Üçken yol verici ile yol verilen bir asenkron motorda akımın değişimini göstermektedir.

(3-6-5-1) Açık devre geçişli yıldız-üçken yolvericiler ve çeşitleri:

Çok çeşitli yıldız-üçken yol vericiler olmasına rağmen bunların hepsini temsil edecek 3 tanesi aşağıdadır.

i. Pako yıldız üçken yolvericiler

ii. Buton ve kontaktörle yapılan zaman rolesiz yol vericiler

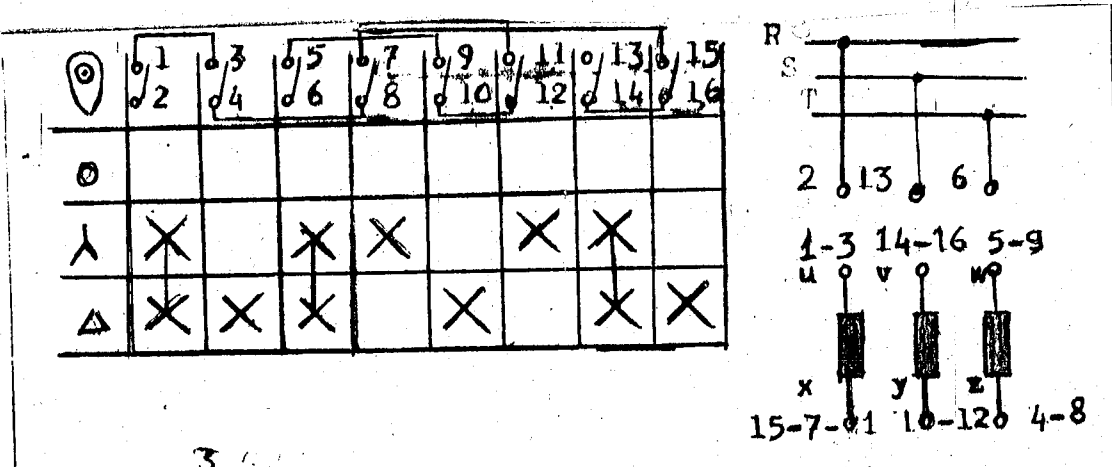
iii. Zaman roleli otomatik yol vericiler.

a) Çift zaman kontaklı tip

b) Tek zaman kontaklı tip

c) Termik zaman roleli yağlı tip

İ- Pako yol vericiler:



Şekil (3-6-10)

Şekil (3-6-10) da fako yıldız- uçken yol verici görülmektedir. Bu tip şalterle mil üzerinde de bir döner kam tertibi vardır. Bu kam tertibi şalter kolu vasıtası ile çevrilerek çeşitli kontakların açılıp veya kapanmasını sağlar. Kontakların açık veya kapalı olduğunu kontakların düşey çizilen kutucuklarına bakarak anlaşılır. Her hangibir operasyonda bir kontağın açık mı? veya kapalı mı? olduğunu anlamak için operasyon satırı ile kontak sütunu karelerinin kestiği kareye bakılır. Bu karelerde (x) işareti varsa daha önceki pozisyonu ne olursa olsun bu kontağın kapalı olduğu sonucuna varırız. Kontaklar arası (x-x) irtibat o kontağın bir operasyondan diğer operasyona durumunu değiştirmeden geçtiği anlamındadır. Numaralı uçları birleştiren $\left(\begin{array}{c} 1 \\ \diagdown \\ 2 \end{array} \overline{\quad} \begin{array}{c} 3 \\ \diagup \\ 4 \end{array} \right)$ irtibatlar şalterin yapımı esnasında konmuş irtibat iletkenleridir. Bu açıklamadan sonra çalışması aşağıdaki operasyonlarla açıklanır.

Operasyon:1- Şalter kolu sıfır pozisyonundadır. Şekil (3-6-10) da kontak kutucukları bu pozisyonda boş olduğundan bütün kontaklar açıktır bu durumda şalter iletim görevini yapamadığından motor durmaktadır.

Operasyon :2- Şekil (3-6-10-b) de görüleceği gibi RST fazları 2,13,6 nolu kontaklara bağlanmıştır. Şalter kolu bu operasyonda yıldız pozisyonundadır. Şekil (3-6-10-b) de (2-1), (6-5), (13-14) kontaklarının kapalı olması(RST)fazlarının(U,V,W) uçlarına irtibatlar. Çünkü şekil (3-6-10-b) de motorun (U,V,W) uçlarının sırasıyla (1-3),(14-16),(5-9) kontakları bağlıdır.

Ayrıca bu pozisyonda (7-8),(11-12) kontaklarının kapalı olması irtibat köprülerinin yardımı ile (z,x,y) uçlarını birbiri ile irtibatlar. çünkü şekil (3-6-10-b) de görüldüğü gibi (z,x,y) uçları sırasıyla (15-7-11),(10-12),(4-8) kontaklarına bağlıdır. Böylece Pako şalter vasıtası ile motor yıldız bağlıdır.

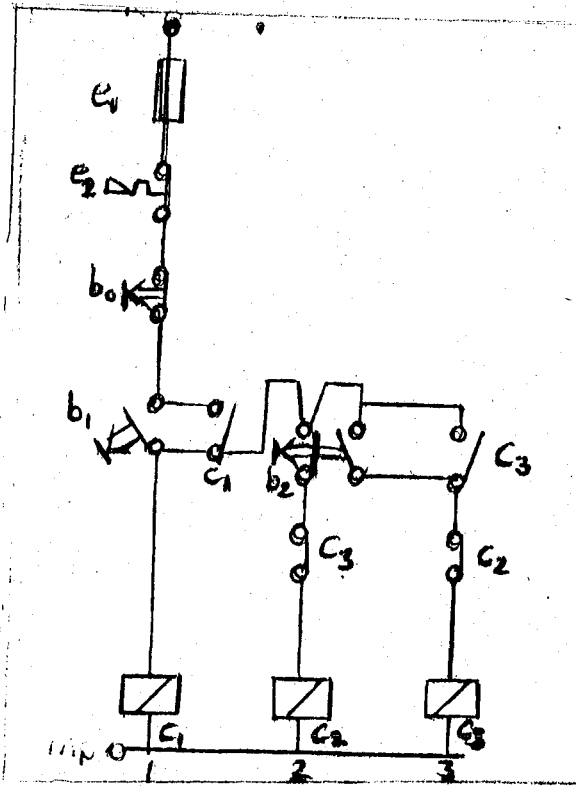
Operasyon:3- Şalter kolu (uçken) pozisyonuna geldiğinde şekil (3-6-10-a) da görüldüğü gibi sırasıyla (2-1), (6-5), (13-14) kontakları kapalı kalmaya devam ederek (RST) fazlarını sırası ile (u,v,w) uçlarına irtibatlamaya devam etmektedir. Ayrıca bu pozisyonda sırası ile (3-4), (9-10), (15-16) kontakları da kapalıdır. Ve sırası ile aşağıdaki görevleri yaparlar.

(3-4) Kontaklarının şekil (3-6-10-b) den de görüleceği gibi U ile Z ucunu irtibatlar. Böylece R fazı U ve Z ile irtibatlanmış olur.

(9-10) kontaklarının kapalı oluşu şekil (3-6-10-b) den görüleceği gibi W ile Y ucunu irtibatlar. Böylece (T) fazı W ve Y ucu ile irtibatlanmış olur.

(15-16) kontaklarının kapalı oluşu şekil (3-6-10-b) de görüleceği gibi V ile X ucunu irtibatlar. Böylece (S) fazı, V ve X ucu ile irtibatlanmış olur. fazların sıralı olarak bir faz bobinin girişine diğer faz bobininin çıkışına irtibatlanması sonucu bobinler üçgen bağlanmış olur.

ii- Buton ve kontaktör ile zaman rolesiz yol vericiler:



Şekil(3-6-11)

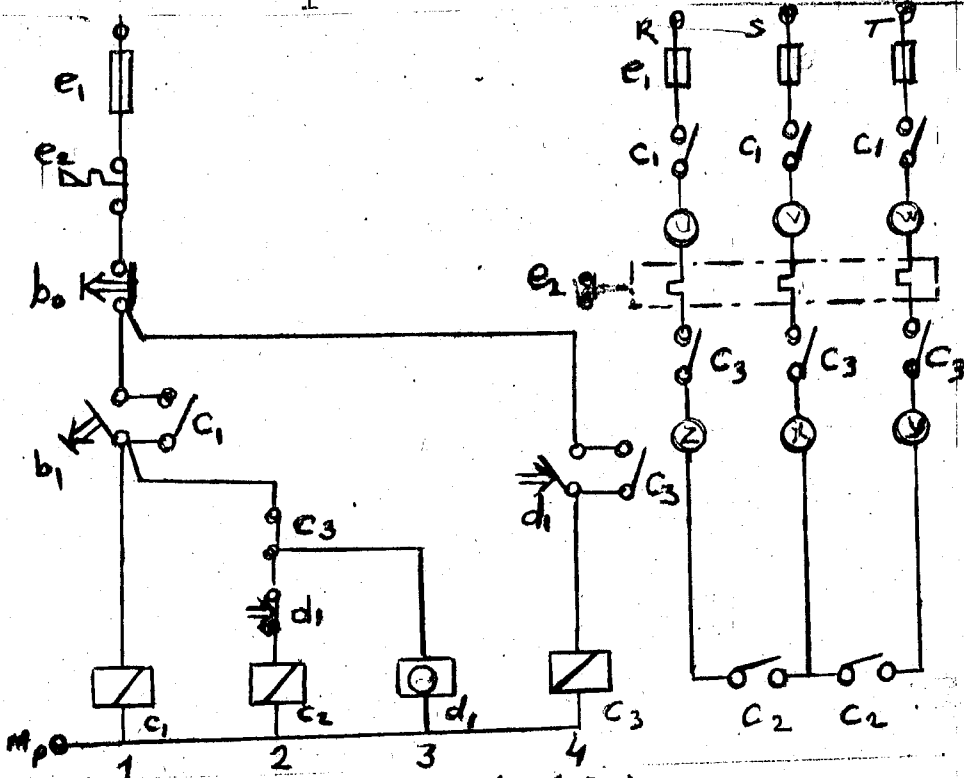
Şekil (3-6-11) den görüleceği gibi (b_1) startına bastığımızda C_1 ve C_2 kontaktörleri birlikte çekerler. C_1 kontaktörü bir taraftan mühürleme kontağını kapatarak kendisini mühürler diğer taraftan güç devresindeki kontaklarını kapatarak (R,S,T) fazlarını (U,V,W) uçları ile irtibatlar. C_2 kontaktörünü çekmesi bir taraftan üçüncü sütundaki kontağı açarak C_2 çalışırken C_3 kontaktörünün çekmesini engeller. Diğer taraftan güç devresindeki kontaklarını kapatarak (Z,X,Y) uçlarını birbiri ile irtibatlayarak motorünyıldız bağlantılı olarak çalışmasını temin eder. Motor yıldız da çalışıp nominal devir adedinin % 80 değerine ulaştığında b_2 startına basılır. b_2 startı bir taraftan C_2 kontaktörünü devreden çıkarır. Diğer taraftan C_3 kontaktörünü devreye sokar. C_3 kontaktörü hem üçüncü sütundaki kontağı kapatarak kendini mühürler, hem de ikinci sütundaki kontağını açarak C_2 'nin devreye girmesine engel olur. C_3 kontaktörü ayrıca güç devresindeki kontaklarını kapatarak motorun üçken bağlanmasını sağlar.

Şekilde dikkat edilirse b_1 butonuna basılmadan b_2 butonuna basılması durumu da kumanda devresi çalışmayacaktır.

iii- Zaman roleli otomatik yol vericiler:

a-) Çift zaman kontaklı tip

Operasyon :1- Şekil (3-6-12) den görüleceği gibi b_1 startına basıldığında C_1, C_2 kontaktörleri ve d_1 zaman rölesi aynı anda çalışır. C_1 kontaktörü birinci sütundaki C_1 kontağını kapatır. Kendini mühürler.

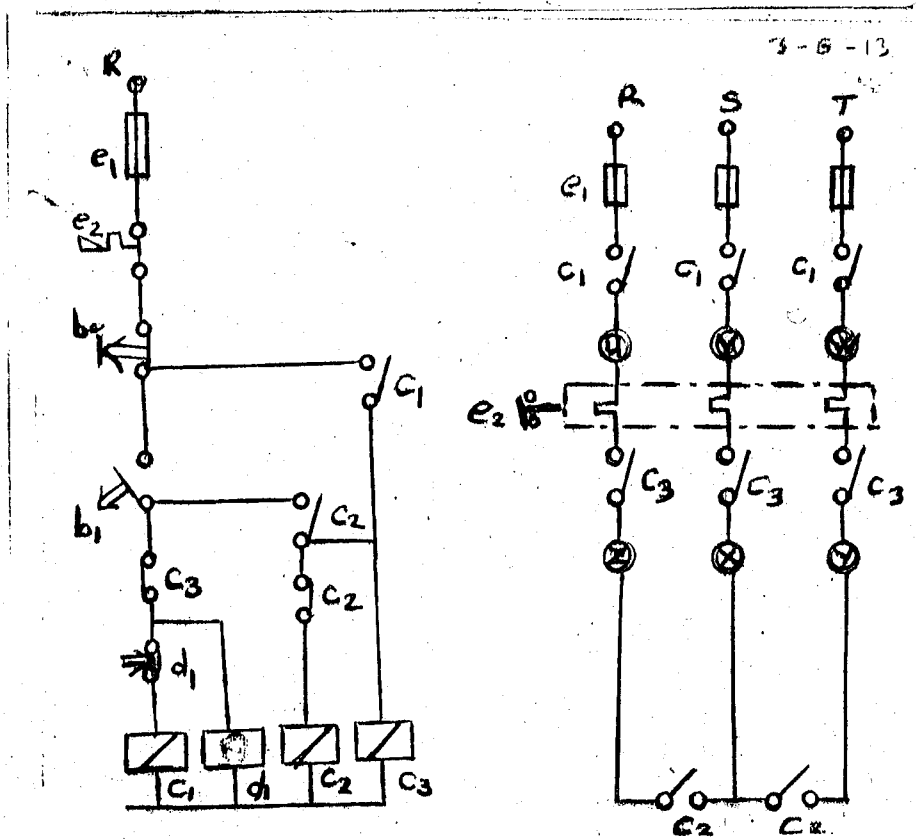


Şekil (3-6-12)

Diğer taraftan güç devresindeki kontaklarını kapatarak (R,S,T) fazlarını (U,V,W) uçları ile irtibatlar. C_2 kontaktörü bir taraftan üçüncü sütundaki C_2 kontağını açarak kendisi çalışırken C_3 kontaktörünün çalışmasını engeller. Diğer taraftan da güç devresindeki kontaklarını kapatarak (X,Y,Z) uçlarını irtibatlar. Böylece motor yıldız çalışmış olur.

Operasyon :2- Operasyon birde C_1 ve C_2 ile birlikte devreye giren d_1 zaman rolesi önce ikinci satırdaki zaman gecikmeli açılan kontağı açarak C_2 'yi devreden çıkarır. Böylece üçüncü sütundaki C_2 kapanmış olur. d_1 zaman rolesi bu işlemde sonra üçüncü sütundaki zaman gecikmeli kapanan kontağını kapatarak C_3 kontaktörünü devreye sokar. C_3 kontaktörü bir taraftan üçüncü sütundaki C_3 kontağı ile kendisini mühürlür. diğer taraftan ikinci sütundaki C_3 kontağını açarak artık görevini bitirmiş olan C_2 kontaktörü ve d_1 zaman rolesini devreden çıkarır. diğer taraftan güç devresindeki kontaklarını kapatarak motoru üçken bağlanmasını sağlar.

b-) Tek zaman kontaklı tip°:



Şekil(3-6-13)

Operasyon:1- Şekil(3-6-13) de b_1 startına basıldığında C_2 kontaktörü ve d_1 zaman rolesi devreye girer. C_2 kontaktörü ikinci sütundaki C_2 kontağın-
dan açık olana kapar. Kapalı olana açar. Böylece C_3 devresi açılırken
 C_1 devresi kapanarak C_1 devreye sokulmuş olur. C_1 üçüncü sütundaki mühürle-
me kontağını kapatarak kendini ve C_3 hariç devreyi mühürler. Böylece C_1 ,
 C_2 kontaktörleri güç devresindeki kontaklarını kapatarak motoru yıldız
çalıştırırlar.

Operasyon :2- Operasyon 1 de devreye giren d_1 zaman rolesi birinci sütun-
daki zaman gecikmeli olarak açılan zaman kontağını açarak C_2 yi devreden
çıkartır. Böylece ikinci sütundaki C_2 kontakları başlangıçtaki pozisyonla-
rına geri döner. C_3 kontaktörü devreye girer. C_3 kontaktörü bir ta-
raftan birinci sütundaki kontağını açarak görevi bitmiş olan C_2 kontaktörü
ve d_1 zaman rolesini devreden çıkartır. Diğer taraftan güç devresindeki kon-
taklarını kapatarak motoru üçken bağlar.

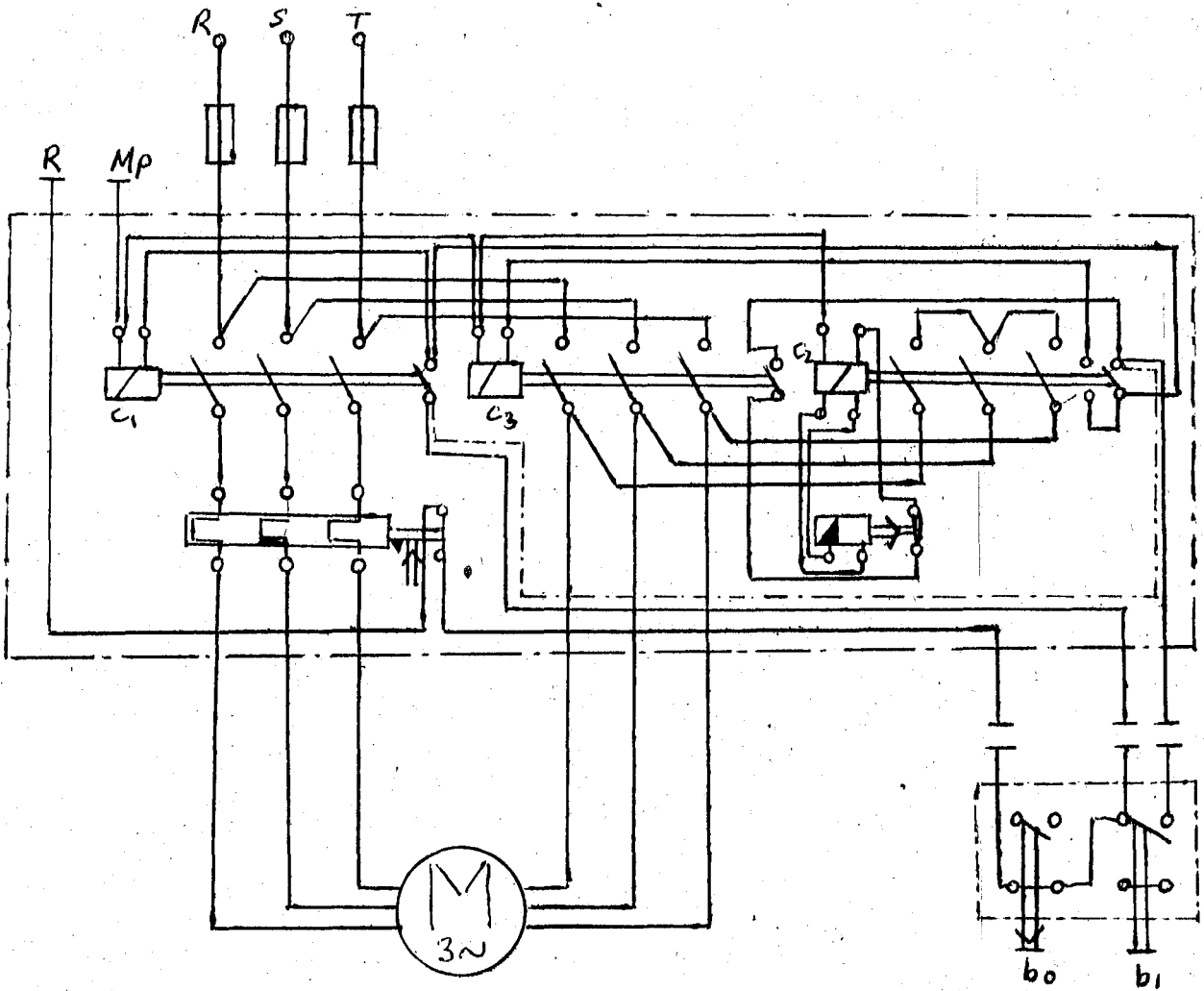
c-) Termik zaman roleli yağlı tip:

Bu tip yol vericinin kontakları yağ içersindedirler. Bazılarında
bobinlerin çekme kuvvetleri öğle ayarlanmıştır ki yağ haznesinde yağın
kaldırma kuvveti yardımcı olmadıkça kontaklar kapanmaz. Böylece şalter
yağsızken hiç çalışmaz.

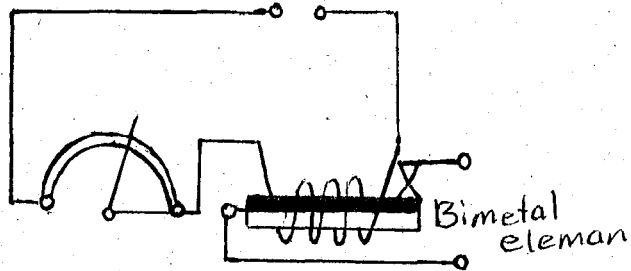
Termik zaman rolesi kullanılmasının sebebi şalterin maliyetini dü-
şürmek içindir. Termik rolenin soğuması zaman alacağından motora yol ver-
dikten hemen sonra durdurup tekrar yol verilirse bu hıza zaman rolesinin
bimetal levhası uyum sağlayamayacağından motoru direk üçken olarak devreye
sokar. Bu durum sigortaların atmasına sebep olarak arıza görüntüsünü verir.

Çalışma şekli:

"Tek zaman kontaklı tip olarak anlatılanın aynıdır. Belirli müddet-
lerde yağının değiştirme mecburiyeti maliyetini artırır. Kontaktör tekno-
lojisindeki gelişmeler artık bu tip şalterlerin yapılmasına gerek bırakma-
maktadır. Eskiden kopulmuş tesislerde çok bulunduğu için burada konu edil-
di. Şekil (3-6-14) de termik zaman roleli yağlı tip bir şalterin güç ve
kumande devresi birlikte görülmektedir. Şekil (3-6-15) termik zaman role-
sini göstermektedir.



Sekil (3-6-14)

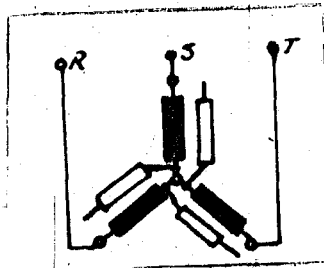
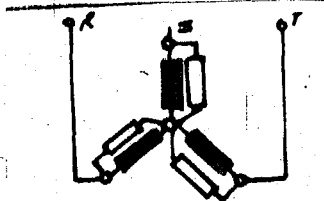
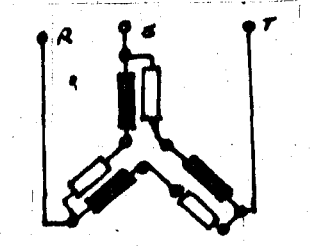
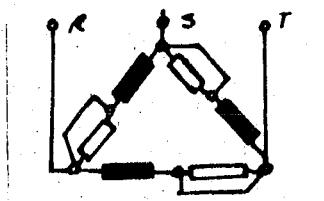


Sekil (3-6-15)

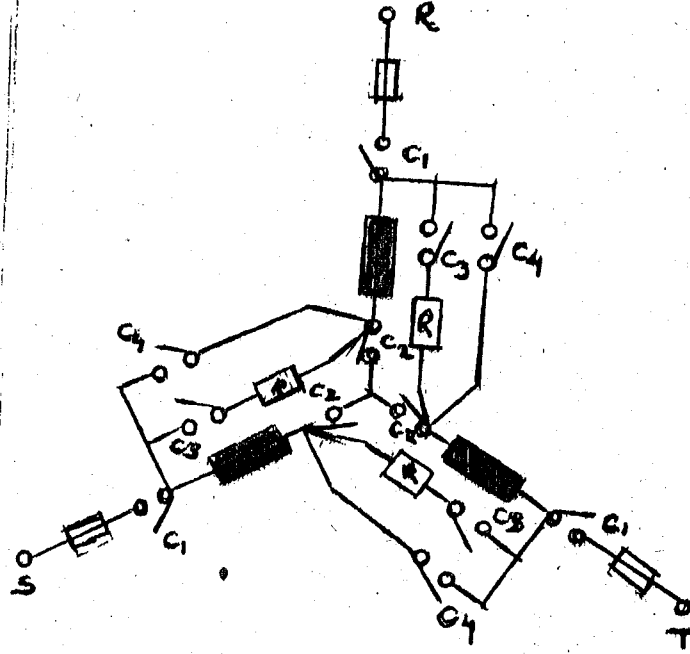
3-6-5-2- Kapalı devre geçişli yıldız uçken yol vermek.:

Kapalı devre geçişli yıldız uçken yol vermenin nedenleri daha önce açıklandı. Bu yol verme şeklinin operasyonlarını ve her operasyonda kontaktların ve sargıların bağlantı durumunun değişimini şekil(3-6-16) veriler güç devresinde ve geçiş operasyonlar cetvelinde verilmektedir.

GEÇİŞ OPERASYON CETVELİ

Operasyon No	Operasyon Adı	Güç devresinde kontaktörün durumu		Güç devresinin pozisyonu
		Kapalı	Açık	
1	Yıldız	$C_1 C_2$	$C_3 C_4$	
2	Dirençle Paralel yıldız	$C_1 C_2 C_3 C_4$		
3	Dirençle seri Uçken	$C_1 C_3$	$C_2 C_4$	
4	Uçken	$C_1 C_3 C_4$	C_2	

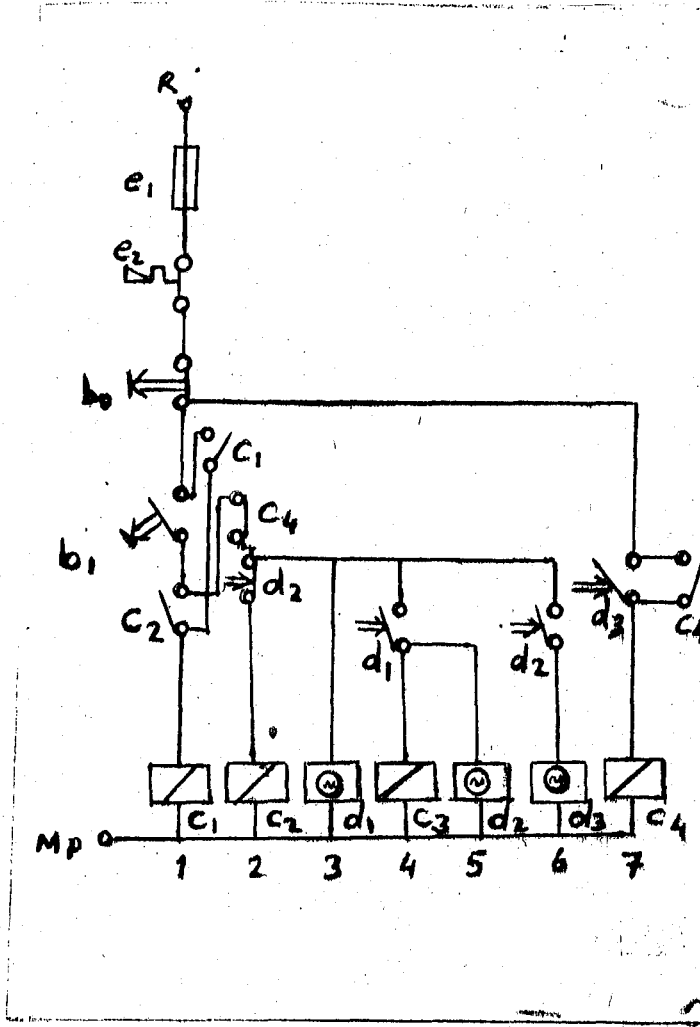
Şekil(3-6-16)



Şekil (3-6-16)

Şekil (3-6-15) daki kumanda devresi Şekil (3-6-16) daki operasyonları aşağıdaki gibi gerçekleştirir.

Operasyon 1- b_1 sınıtartına basıldığında önce C_2 kontaktörü d_1 zaman rolesi ve C_2 yi takiben kapanan birinci sütuncaki C_2 kontağının kapanması ile C_1 kontaktörü devreye girer ve kendini mühürler. C_1, C_2 kontaktörlerinin çekilmesi güç devresindeki C_1, C_2 kontaklarını kapatarak motoru yıldız bağlar.



Şekil (3-6-17)

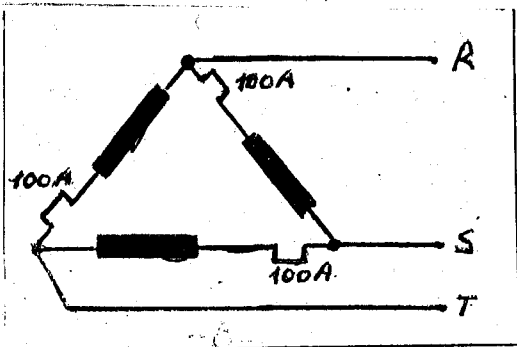
Operasyon:2- Birinci operasyonda devreye girmiş olan d_1 zaman rölesi dördüncü sütündeki zaman gecikmeli kapanan kontaklarını kapatarak C_3 kontaktörü ve d_2 zaman rölesini devreye sokar. Bu durumda C_1, C_2, C_3 kontaktörleri ve d_1, d_2 zaman röleleri devrededir. Güç devresindeki C_1, C_2 kontakları birinci operasyondan kapalı olarak devam ederken C_3 kontaklarının da kapanması geçiş dirençleri ile sargıları paralel bağlar. Geçiş dirençlerinin değerleri en az bobin empedanslarının ohm değerine eşit olmalıdır. İkinci operasyon dirençle paralel yıldız çalışma operasyonudur.

Operasyon:3- Operasyon ikide devreye giren d_2 zaman rolesi ikinci sütundaki kontağını açarak C_2 kontaktörünü devreden çıkarır. Ayrıca altıncı sütundaki kontağını kapatarak d_3 zaman rolesini devreye sokar. C_2 'nin devreden çıkması güç devresindeki C_2 kontaklarını açar. Bu durumda motor bobinleri dirençle seri bağlı üçken pozisyonuna girer.

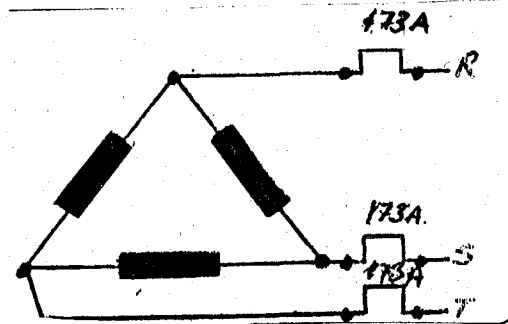
Operasyon:4- Üçüncü operasyonda devreye giren d_3 zaman rolesi yedinci sütundaki zaman gecikmeli kapanan kontağını kapatarak C_4 kontaktörünü devreye sokar. C_4 kontaktörü yedinci sütundaki kontağını kapatarak kendini mühürler. İkinci sütundaki kontağını açarak kumanda devresindeki görevi biten role ve kontaktörleri ve zaman rolelerini devreden çıkarır. Bu durumda devrede sadece C_1 ve C_4 kontaktörleri kalmıştır. C_1 kontaktörü fazların bobin girişine irtibatlanmasına devam ederken C_4 kontaktörü bir taraftan dirençli kısadevre eder. Diğer taraftan üçken bağlantıyı tamamlar. Faz bobinlerinde akım kesilmeden motorun yıldızdan üçkene geçilmesi sağlanmaktadır.

3-6-6 Yıldız üçken yol vermede termiğin yeri:

Yıldız üçken yol verilen bir motorda termik hat üzerine veya faz üzerine bağlanabilir. Fakat faz üzerine konması en uygun olanıdır. Şekil (3-6-18) de görüldüğü gibi yıldız üçken yol verici devresinde termiğin faz üzerine konması hat üzerine konmasına nazaran daha ekonomiktir. Çünkü hat akımı faz akımının $\sqrt{3}$ katı olduğundan büyük güçlerde fiyat farkı sağlar. Diğer önemli tarafı ise hat üzerine bağlanmış termiğe sahip bir motorun yıldız pozisyonunda herhangi bir sıkışmaya maruz kaldığını veya yıldız pozisyonunda unutulmuş olarak üçken pozisyonuna geçirilmeden nominal yükü ile yüklendiğini farzedelim.



Şekil (3-6-18)



Şekil (3-6-19)

Bu durumda şekil (3-6-18) de görüldüğü gibi hat akımına göre seçilmiş ve hat ile bağlanmış termikler motoru koruyamaz. Çünkü bir motoru sargılarının nominal akımı yıldız akımıdır. Halbuki yıldızda unutulup nominal yük ile yüklenen motorun devri azaltılarak şebekeden yıldız akımının üzerinde bir akım çeker. Çekilen bu akımın değeri yıldız akımının $\sqrt{3}$ katını geçmedikçe termikler devreyi doğal olarak açmayacaktır. Bu akım geçişi devam ettiğinde ise motor yanar. Belirtilen nedenlerden dolayı termikler faz akımına göre seçilip şekil (3-6-19) de görüldüğü gibi faz akımına bağlanmalıdır.

3-7 SİLİKON KONTROLLÜ DOĞRULTUCULARLA ASENKRON MOTORA YOL VERMEK

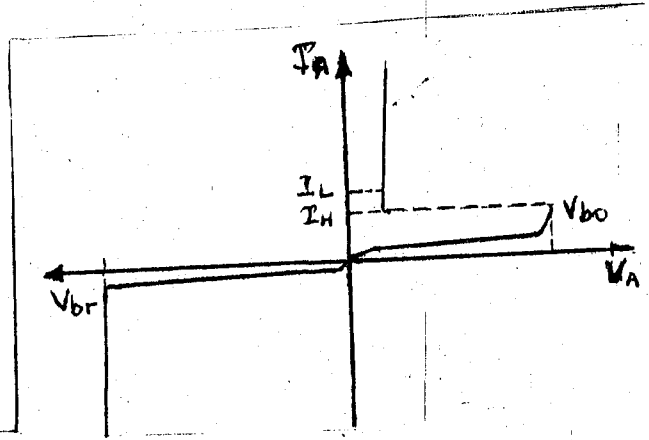
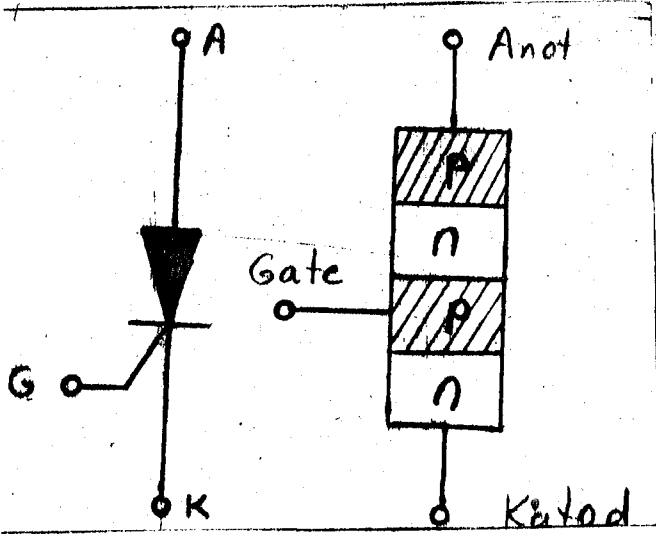
3-7-1 Giriş

Tiristör ailesi içinde SCR, Triac, Diac birer eleman olmasına rağmen bizdeki uygulamalarda SCR ye (Silico Controlled Rectifier) Tristör denmektedir. İlerideki açıklamalarda bu alışkanlığa uyum göstererek tristör ifadesinden SCR yi kastedeceğiz.

Elektronik kontrol elemanları ile asenkron motora düşük gerilim uygulayıp yol alma esnasında düşük akım çektirmek mümkündür. Bu kısımda elektronik elemanlardan tristör kullanılarak yol vermenin nasıl yapılabileceğinin açıklanmasına çalışılacaktır. AC de tiristör yerine triac kullanılması daha uygun düşse de triac elemanının akım değeri tristöre nazaran sınırlıdır. Buna karşılık tristör elemanı 960 A sürekli akım ve 2,6 KV kapama gerilimine kadar yapılabilmektedir. Görüldüğü gibi tiristör büyük bir salt gücüne sahiptir. Tristörlerin ters paralel bağlanması ile Triac elemanının özelliğinde eleman elde ederek AC de kullanılması daha uygundur. Çok geniş kapsamı olan bu konu ve konuya ait elemanların incelenmesi asgari ölçüde yaklaşım yapılarak özetlenecektir.

3-7-2 (SCR) tristörün yapısı ve UI karakteristliği:

Dört dilimli üç elektrotlu bir elemandır. Şekil (3-7-1) de görüleceği gibi elektrotlar (1) anot, (2) katot, (3) gate (geçit) olarak adlandırılır. SCR tek yönlü akım ileten dengesiz (bistable) bir elemandır. Pozitif puls ile açık devre halinden kapalı devre haline geçebilir. Tetik pulsü, gate elektroduna uygulanır. Anot'una katot'una göre pozitif bir voltaj verilerek bu voltaj (0) dan başlamak üzere artırıldığında SCR yalnızca çok küçük bir akım almasına müsaade edebilecek kadar küçük, büyük bir direnç gösterir. Bu durumda SCR yalıtımda farzedilir. Uygulanan gerilim kademeler halinde yükseltildiğinde şekil (3-7-2) de belirtilen V_{bo} noktasına kadar akımda artış çok azdır. V_{bo} noktasından sonra çok büyük iletkenlik göstererek büyük bir anot akımı geçmesine sebep olur. Bu durumda anot akımını dış devre elemanları sınırlar.



Şekil (3-7-1)

Şekil (3-7-2)

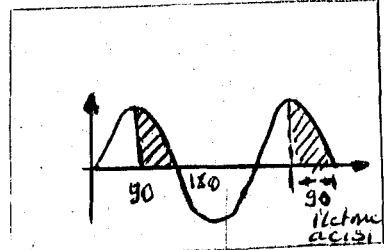
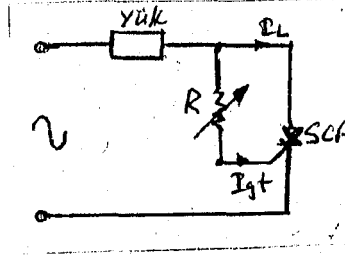
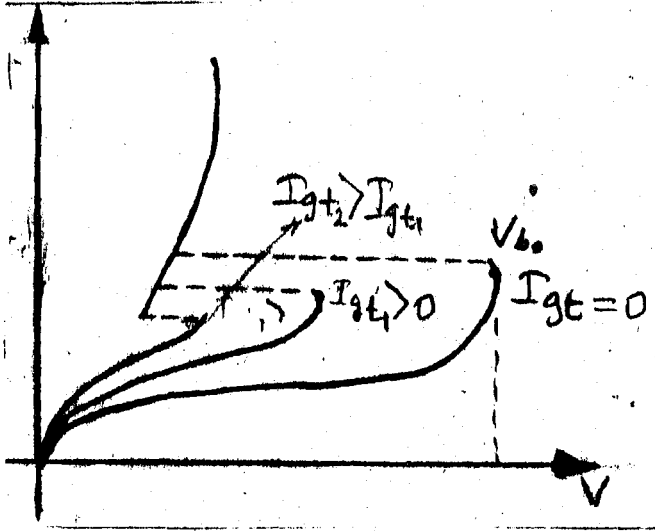
Gate elektroduna bir akım palsı uygulandığında V_{bo} gerilimi değiştirilebilir yada ilettime daha düşük gerilimde (katot gerilimide) geçebilir. Gate elektroduna uygulanan palsının genliği kademeli olarak artırıldığında V_{bo} noktası karakteristliğinde normal bir diyot eğrisine benzeyinceye kadar orjine doğru hareket ettirilebilir. Normal olarak SCR elemanı V_{bo} değerinin çok altında çalışır. Ve yeterli gate sinyalleri ile yalıtımdan ilettime geçebilir.

SCR elemanı iletim durumuna getirildiğinde iletimde kalmaya devam edebilmesi için minimum anot akımı geçmektedir. Bu akıma I_h (holding current) ilettime başlama (dahil olma) akımı denir. I_h akımında düşük değerler için SCR yalıtımdadır. İletimde kalması için de bu akım da yetersizdir. İletimin kilitlemesini I_L (Latching current) kilitleme akımı temin eder. SCR lerin çoğunda $I_L \approx 2I_h$ değerindedir. Anot katoda nazaran negatif olacaktır. Pratikte de bir gerilim uygulandığında SCR çok yüksek bir enpedans gösterir. Şekil (3-7-2) de orjinden V_{br} noktasına kadar kalan bölgeye ters blok lama bölgesi (Reverse blocking region) denir SCR ye uygulanan gerilim V_{br} noktasına gelinceye kadar ihmal edilecek bir akım geçer. V_{br} noktasını

geçişte SCR den büyük bir ters akım geçer.

3-7-3- Tristör (SCR) ile Faz açısı kontrolü:

AC güç kontrolünde çoğunlukla SCR nin bir role gibi çalışması istenir. Bu durumda SCR çok büyük bir yük akımı taşır. SCR yi iletim durumuna getirmek için çok küçük bir gate akımı gerekir. Şekil (3-7-3) gate akımının artırılmasına karşılık V_{bo} (ileri kırılma) geriliminin azaldığı görülmektedir.

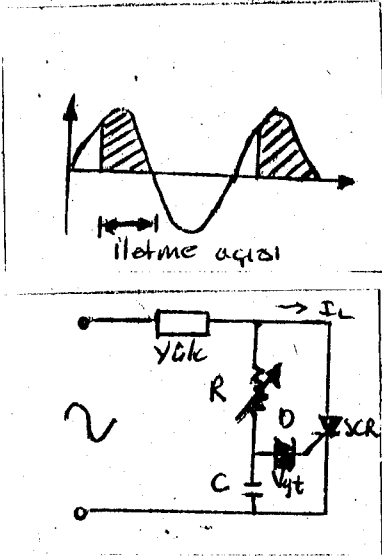


Şekil (3-7-3) /

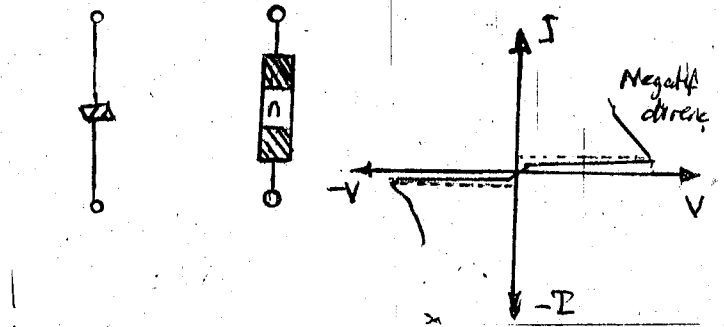
Şekil (3-7-4)

Şekil (3-7-4) de SCR tetikleyecek (Yahtımdan ilettime geçirecek) dirençli tetikleyici görülmektedir. Şekilde gate devresindeki R direnci ile SCR elemanı tetikleyecek büyüklükte akımı geçirmektedir. R direncinin değeri belirli oranda azaltıldığından örneğin giriş geriliminin tepe değerinde (R) den geçen akım SCR yi tetikleyecek büyüklükte bir akım olacak şekilde düzenlendiğinde bu noktada SCR tetiklenerek ilettime geçer. Ve akım geçişi gerilim sıfır oluncaya kadar devam eder.

Bu durumu şekil (3-7-4-a) de görüldüğü gibi 90° - 180° arasında tristör iletimdedir. 90° büyük bir iletim açısı ile kontrol yapabilmek için şekil (3-7-5) de görülen devre kullanılır. Bu devrede yukarıda anlatılan dirençli tetikleme montajından farklı olarak diyaç ve kondansatör vardır. Diyaç elemanı karakterislik yapısı bakımından tristör ailesinin elemanlarından biridir şekil (3-7-6) da görüleceği gibi iki yönlü olarak V_{bo} geriliminin geçen gerilim değeri için iletime geçer.

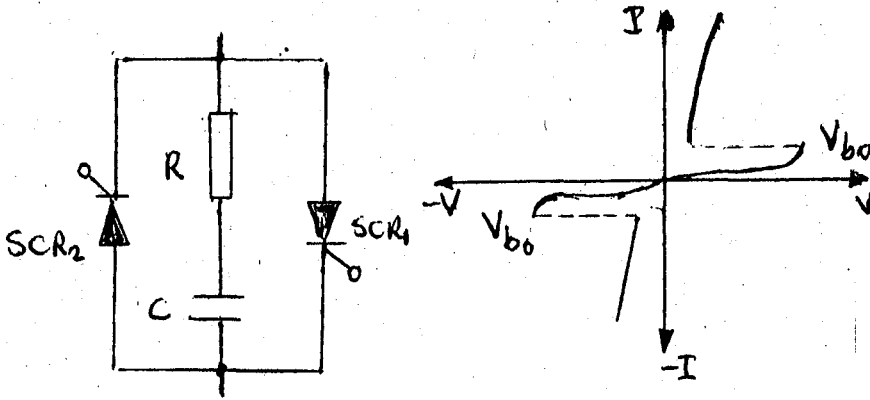


Şekil (3-7-5)



Şekil (3-7-6)

Şekil (3-7-5) devresinde her pozitif saykılın başlangıcında SCR yalıtım durumundadır. (Anot akımı=0) girişteki gerilim yükseldikçe R direnci üzerinden C kondansistörü şarj olur. Bu şarj gerilimi D di ac elemanının V_{bo} gerilim değerini aştığında kondansistör Di ac ve tristörün gate devresi üzerindendeşarj olur. Di ac elemanının iletim voltaja SCR yi tetikleyecek gerilim değerinde seçildiğinden SCR tetiklenerek iletime geçer. R elemanının değeri değiştirilerek şarj müddeti uzatılır. Veya kısaltılır. Şarj müddetinin kısaltılması şekil (3-7-5-a) da görüleceği gibi iletimin 0° - 90° arasında başlatmaya yarar. SCR elemanı gerilim sıfır oluncaya kadariletimde kalacağı için ortalama değer bakımından daha büyük akım geçirilmiş olur. Böylece tetikleme açısına büyütür veya küçülterek tek yönlü akım kontrolu sağlanmış olur. Akım kontrolünün çift yönlü olabilmesi için Şekil (3-7-5) devresinden iki tane kullanılması gerekir.



Şekil (3-7-7)

Şekil (3-7-7) tetikleme devresi gösterilmeden iki SCR elemanının ters paralel bağlantısı ve bu devrenin her iki yöndeki V-I karakteristiğini göstermektedir. Şekildeki devrede pozitif yarım periyoda SCR₁, negatif yarım periyoda SCR₂ elemanını ilettime geçerek her iki periyotta da iletim ve akımının kontrolü yapılabilir. Bu devrede R-Çelemanları iki SCR nin sönmesinde ortaya çıkan aşırı gerilimleri zararsız hale getirmek için kullanılmıştır. Yük akımının sinüs soydal olması halinde her tristörden geçen akımın ortalama değeri

$$I_{\text{ort}} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} I_m \cdot \sin x \cdot dx = \frac{I_m}{\pi} \quad (3-7-1)$$

efektif değeri:

$$I_{\text{tef}} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} I_m^2 \cdot \sin^2 x \cdot dx} = \frac{I_m}{2} \quad (3-7-2)$$

olur, burada $X = \omega t$ dir

Tristör akımının efektif değerinin devre akımının efektif değerine oranı

$$\frac{I_{\text{tef}}}{I_{\text{ef}}} = \frac{I_m/2}{I_m/\sqrt{2}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \quad \text{olur.} \quad (3-7-3)$$

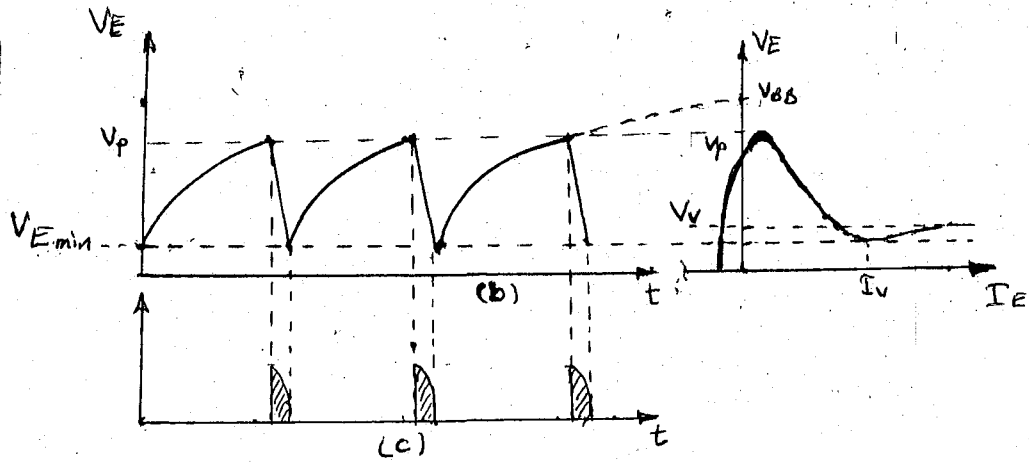
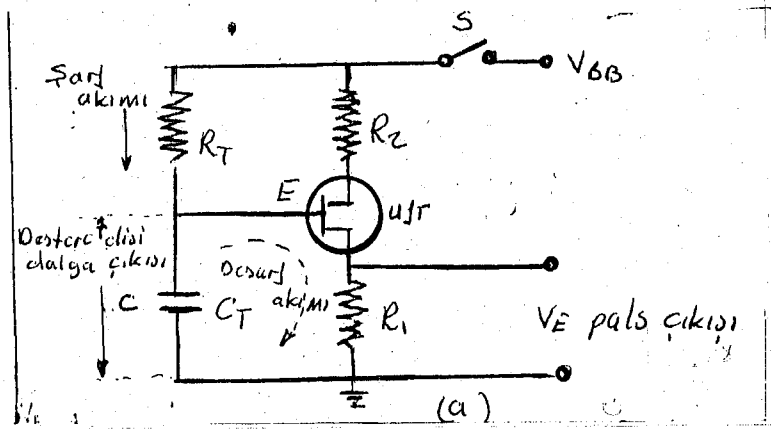
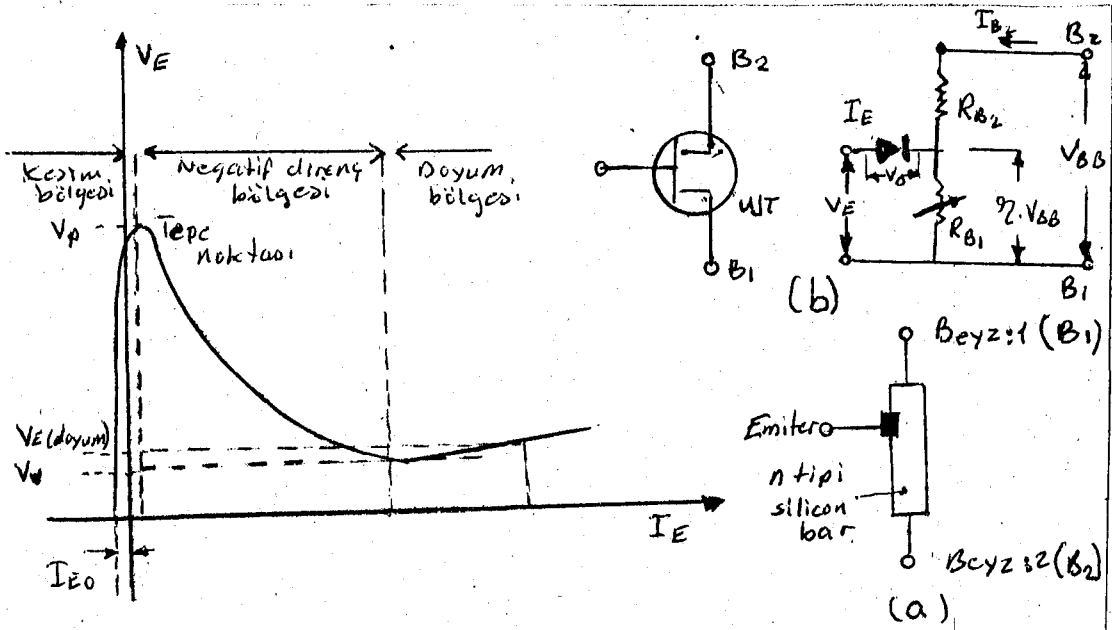
görüldüğü ki $I_{\text{tef}} = I_{\text{ef}} \cdot 0,707$ dir. Bundan önce anlatılan tetikleme devrelerinde güç ve kumanda devreleri birbiri ile direkt irtibatlıdır. Büyük değerdeki güç devresi akım ve gerilimleri ile küçük değerdeki tetikleme akım ve gerilimleri birbirinden izole edilmemiştir. Bu çalışma emniyeti yönünden sakıncalıdır. Daha hassas kontrol ve daha iyi yalıtım bakımından endüktif devrelerde aşağıdaki tetikleme devreleri kullanılır.

- a) UJT transistörlü tetikleme ile faz açısı kontrollü
b) Transistorlt tetikleme devreleri ile faz açısı kontrolü

3-7-3-1- UJT transistörlü tetikleme ile faz açısı kontrolü

Bu konu anlatılmadan önce UJT transistörü konusunda özet bir açıklama uygun olacaktır. UJT transistörü şekil (3-7-8-a) da görüleceği gibi n tipi silikon bir çubuk (bar) ve bu n tipi silikon çubuğun bir tarafından bir PN bağlantıdan oluşur. Uç terminaller B_1 (Base) ve B_2 (Base) ve PN bileşimi ise (emiter) (E) olarak adlandırılır.

Şekil (3-7-8-b) de bu elemanın şematik görünüşü ve eşdeğer devresi verilmektedir. Şekilden görüleceği gibi n tipi silikon çubuk (bar) bir potansiyometre durumundadır. Bu potansiyometrede E, B_2 elektrodu arasındaki gerilime V_E , B_1, B_2 elektrodu arasındaki gerilime V_{BB} denir. V_E / V_{BB} oranı 0,4-0,7 arasındadır. Bu orana (Özstandoff) oranı denir. η harfi ile gösterilir. O halde $V_E = \eta V_{BB}$ yazılabilir. Şekil (3-7-8-b) den $R_{BB} = R_{B_1} + R_{B_2}$ olduğu görülmektedir. Bu değer 5-10 K arasında değişir. Bu hali ile UJT transistör, emiter elemanı R_{B_1} ile R_{B_2} dirençlerinin bağlantı noktasına irtibatlanmış diyot gibi görülebilir. Normal olarak V_{BB} kaynağının pozitif uc B_2 terminaline bağlanır. Eğer $V_E < V_{BB}$ olursa emiter diyodu ters polarite uygulanmış diyot özelliği göstererek bağlantı üzerinden çok küçük bir akım geçer. Şayet $V_E > V_{BB}$ olursa emiter diyoduna düz polarite uygulanmış olur. E terminalinden B_1 terminaline doğru bir akım geçer. Bu akım elektronların E ye doğru ayukların ise B_1 terminaline doğru hareketini sağlayacağından B terminalinde B_2 nin pozitifliğine eklenen bir pozitiflik özelliği göstererek V_{BB} kaynağından şarj dengeleyici elektronlar çeker. Böylece R_{B_1}, R_{B_2} dirençlerinin birleşim noktası ile B_2 terminali arasında akımın artması ilâtkenliğin artması, diğer bir deyimle dirençin azalması demektir. Bu durum R_{B_1} direncinin negatif direnç özelliği göstermesi demektir. Şekil (3-7-8) de UJT transistörün $V_E - I_E$ karakteristiği görülmektedir. Grafikten görüleceği gibi $V_E < V_{BB}$ emiter diyodu ters polaritededir. Bu durumda çok küçük bir ters akım E ile B_2 arasında geçmektedir. $V_E > V_{BB}$ nin ilk anlarında I_E çok az akım geçmektedir fakat V_E biraz daha artırılarak V_p değerine geldiğinde yukarıda açıklanan dengeleyici şarj akımları geçmeye başlayacaktır.

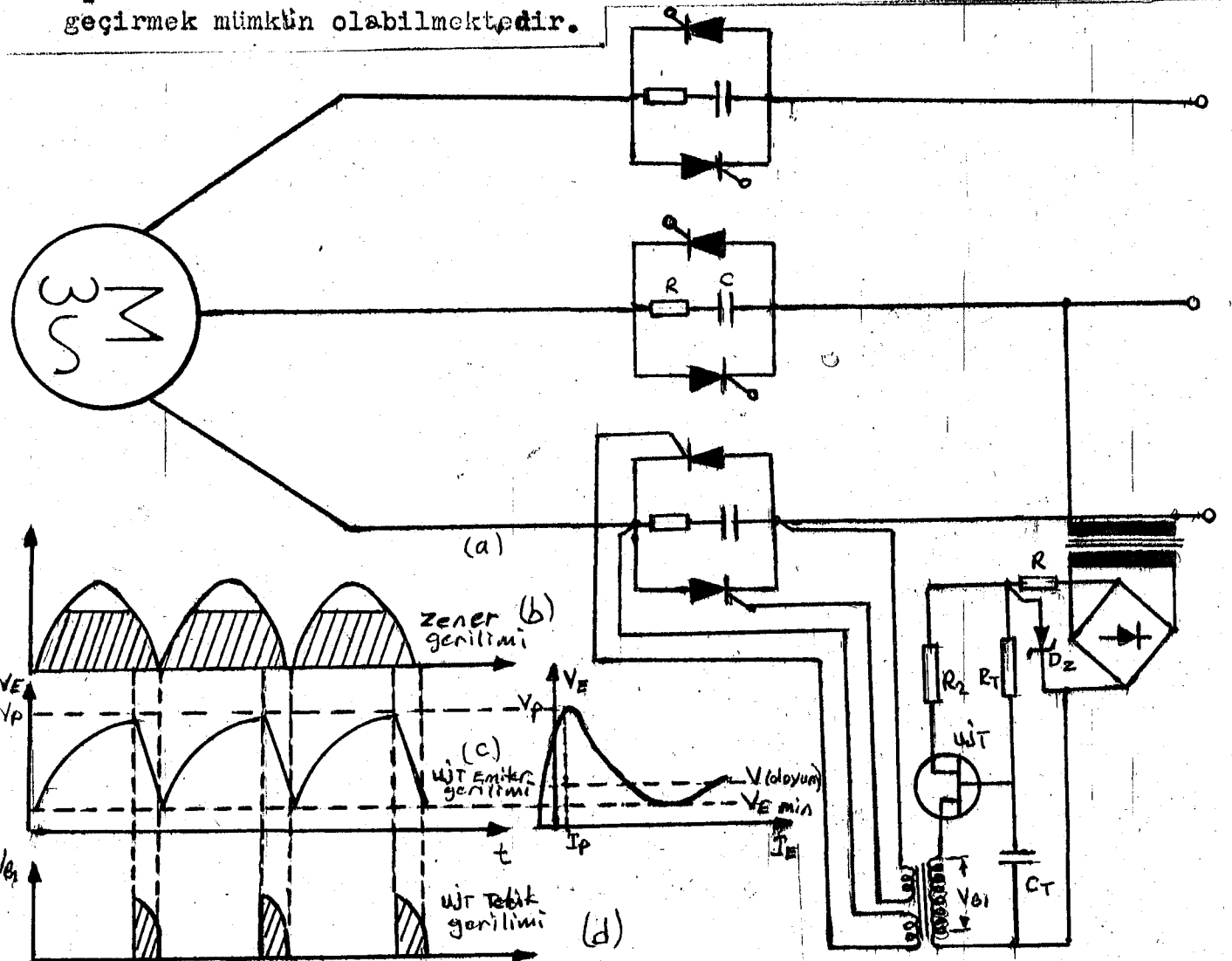


dan emiter akımı süratle büyür. Yukarıda anlatılanlar özet olarak UJT elemanının emiteri düz polaritede ve belli V_p gerilimine ulaşınca kadar devreden geçireceği akım çok küçüktür. V_p noktası aşıldığında negatif direnç göstererek I_V akımı değerine kadar büyük bir artış gösterdiği görülmektedir. I_V akım değerinden sonra doyum bölgesinde normal diyot karakteristiği gösterir. Böylece V_p değerini aşan emiter gerilimi V_E bu noktadan sonra V_V değerinden aşağı düşünceye kadar akım eğrisini devam ettirir. Emiter gerilimi V_V değerinden aşağı düştüğünde transistör karakteristiği başlangıç noktasına geri döner. Bu özellikten yararlanarak Şekil (3-7-9) da belirtilen devreden SCR tetikleme için yararlanabiliriz. Şekil (3-7-9) da Relaksion (Relaxation) osilatörü adı verilen bu sistemin çalışması aşağıda açıklanmaktadır. Devrede S anahtarı kapatıldığında C_T kondansistörü R_T direnci üzerinden şarj olmaya başlar C_T kondansistörü emiter devresine düz polaritede irtibatlı olduğundan şekil (3-7-9-b) de görüleceği gibi C_T gerilimi ve V_p değerini bulduğunda UJT iletme geçerek şekil (3-7-9-a) da noktalı okla belirtilen devrede bir deşarj akımı dolayacaktır. C_T deşarj olacağından V_E gerilimi V_V geriliminden de aşağı düşeceğinden (yaklaşık V_E $0,5 V_V$ değerinde) iletim kesilir. Şarj deşarj saykılı böylece devam eder. Devrede osilasyon frekansı zamanlama direnci R_T zamanlama kondansistörü C_T , UJT nin tepe noktası V_p gerilimi tarafından belirlenir. R_1 ve R_2 nin küçük değerleri için $F = \frac{1}{R_T \cdot C_T \cdot L_n \left(\frac{1}{1-\alpha} \right)}$

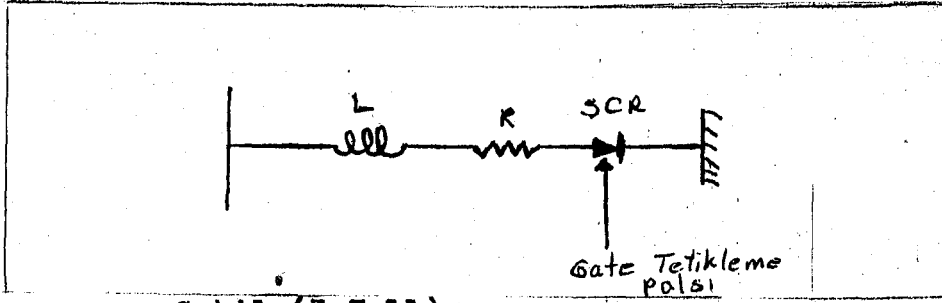
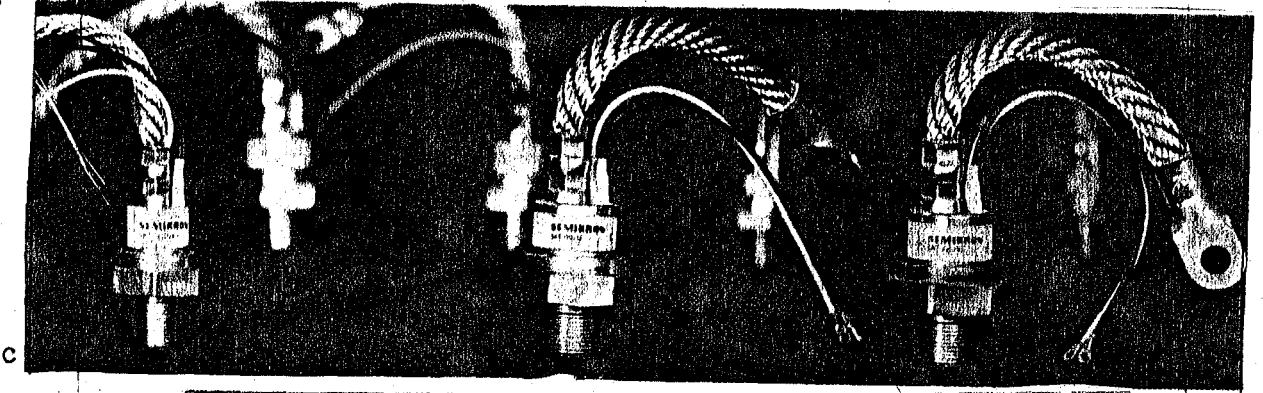
eşitliği ile hesaplanabilir. Şekil (3-7-9) de R_1 direnci üzerinde oluşan tetik pals gerilimleri görülmektedir. R_T belirli sınırlar arasında azalıp çoğalarak palslerin arasındaki zamanı kısaltıp uzatmak imkanı vardır. Böyle bir tetikleme devresi her faz için bir tane olmak üzere SCR tetikleme mesinde kullanılabilir.

Senkron motorlara yol vermede kullanılacak bir devre Şekil (3-7-10) da görülmektedir. Böyle bir yol vericide tetikleme palsleri hat frekansının senkronize olmalıdır. Aksi halde her yarım periyotta farklı ani değerlerdeki akım motor sargılarına doluşur, ve kontrol imkanı kalmaz Senkronizasyonu için Şekil (3-7-10) da görüldüğü gibi UJT besliyen gerilim aynı hattan alınarak tam dalga doğrultulur. Doğrultulduktan sonra D_Z zener diyotu vasıtası ile kırılarak tetik devresine regüle edilmiş bir gerilim olarak iletilir. Bu regüle gerilimin max değeri UJT transistörünün V_p gerilimi değerindedir. Şekil (3-7-10-b) de bu durum görülmektedir.

Ustel olarak değişen kondansistörün şarj geriliminin V_p değerine ulaşması R_T direncinin değerine bağlıdır. Bu durum Şekil (3-7-10-c) de görülmektedir. Kondansistörün şarj gerilimi V_p değerine ulaştında UJT transistörünü tetikleyecektir. Bu durumda tetikleme gerilimi sıfıra indiğinde deşarj akımı da sıfır olacaktır. Çünkü UJT transistörü V_E gerilimi, V_V geriliminin altına düştüğünde kesime geçer. Şekil (3-7-10-d) UJT transistörünün çıkışında oluşan V_{B_1} geriliminin değişimini göstermektedir. Şekil (3-7-10-a) dan görüleceği gibi elde edilen bu tetik palslara 1/1 oranında bir tetikleme transformatoru yardımı ile SCR lerin gate devreleri beslenmektedir. Şekillerden SCR lerin her iki alternansta da pozitif tetik gerilimi aldığı gözlenirse de bir yarım periyotta SCR_1 diğer yarım periyotta da SCR_2 şebeke tarafından ilettime geçecek şekilde polarize edileceğinden herhangi bir sakınca ortaya çıkmaz. Tetikleme palsı zamanını R_T ile uyarlanarak arzu edilen ortalama değerde akımı faz sargularından geçirmek mümkün olabilmektedir.



Şekil (3-7-10)



Şekil (3-7-11) x

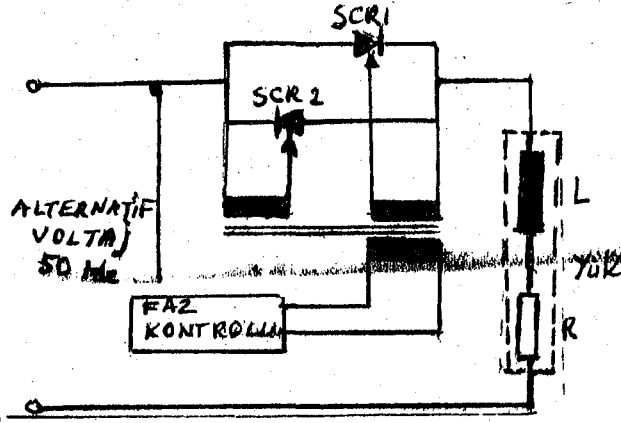
3-7-3-2 Transistör ile tetikleme ve faz açısı kontrolü

Şekil (3-7-11) (E) gerilimi uygulanan ve endüktif yükli besleyen bir SCR ya göstermektedir. Şayet SCR nin gatesi ile katodu arasında SCR yi ilettime geçirecek kadar yeterli gerilim palsı uygulanırsa SCR de geçecek I akımı aşağıdaki formüle göre yükselecektir.

$$i = \frac{E}{R} \left(1 - e^{-\frac{tR}{L}}\right) \quad (3-7-14)$$

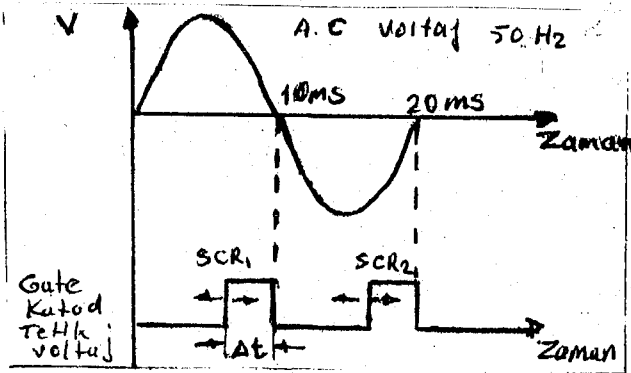
Formül (3-7-14)e göre t zamanın sonunda (bu zaman $\left(\frac{L}{R}\right)$ zaman sabitine kıyasla oldukça küçüktür.) i akımının değeri $i = \frac{E \cdot t}{L}$ (3-7-5) formülü gereğince bir değer alacaktır. SCR den geçen akım i_L akımı değerine ulaştığı zaman SCR ilettime geçecektir. $I_A \approx 2 \cdot I_h$ olduğu kabul edilir. Bu noktada gate-katot pals voltajı SCR kapalı duruma geçmeksizin kesilebilir. Bu pals voltajının bekleme süresi $\frac{I_A \cdot L}{E}$ daha büyük olmalıdır.

Şekil (3-7-12) de endüktif özellikli bir yüke AC güç kontrolü uygulaması gösteren bir sistem vermektedir.



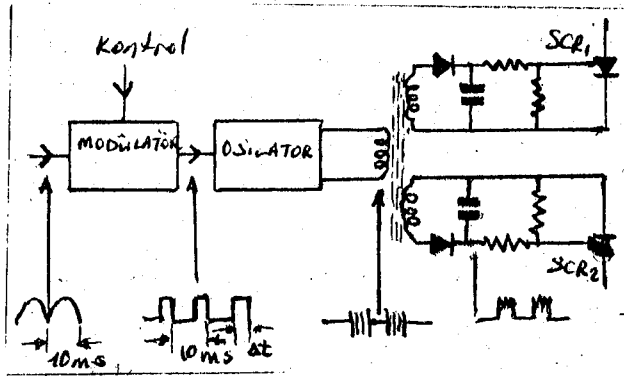
Şekil (3-7-12)

Yukarıda ifade edildiği gibi güç kontrolü tetikleme palsinin bekleme zamanını ayarlamakla sağlanır. Bu tetikleme palsi kaynak frekansının yarım saykılının (yarım periyot) sonunda kesilecek şekilde ayarlanır. Bu durum Şekil (3-7-13) de görülmektedir.



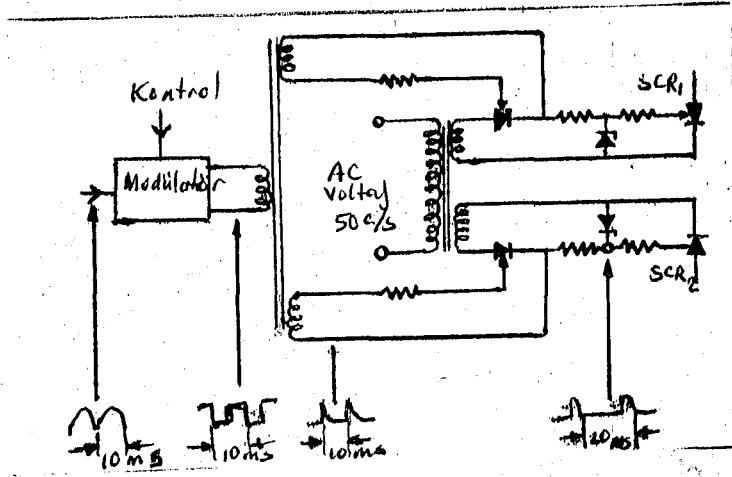
Şekil (3-7-13)

Bu tip bir kontrol sistemi bir trafo üzerinden bağı olan SCR nin gate-katot uçlarına tetikleme-palsları uygulanmasını gerektirir. Yük tarafından istenen güce bağı olarak değişen değişken bir Δt ve 100 saykıl/ sn lik titreşim frekansına sahip bu tetikleme palslarının direkt uygulanması oldukça komplike olup ayrıca iyi bir karakteristiğe sahip bir darbe trafosu gerektirmektedir. Ayrıca sekonder sargılarda DC restorasyon (düzenleme) için bir önlem gerektirmektedir. Ancak bunun doğuracağı sonuçlar ihmal edilmelidir. Doyumlu reaktörler kullanılmadıkça diğer iki tetikleme metodları geçerlidir. Birincisinde birkaç K saykılı (10 K Hz-90 KHz) frekansla çalışan bir osilatör girişine gelen modüle edilmiş tetik palslarının çift sekonder sargılı ferit nüveli tetikleme transformatoru vasıtasıyla doğrultup ve filitre ederek SCR ye uygular.



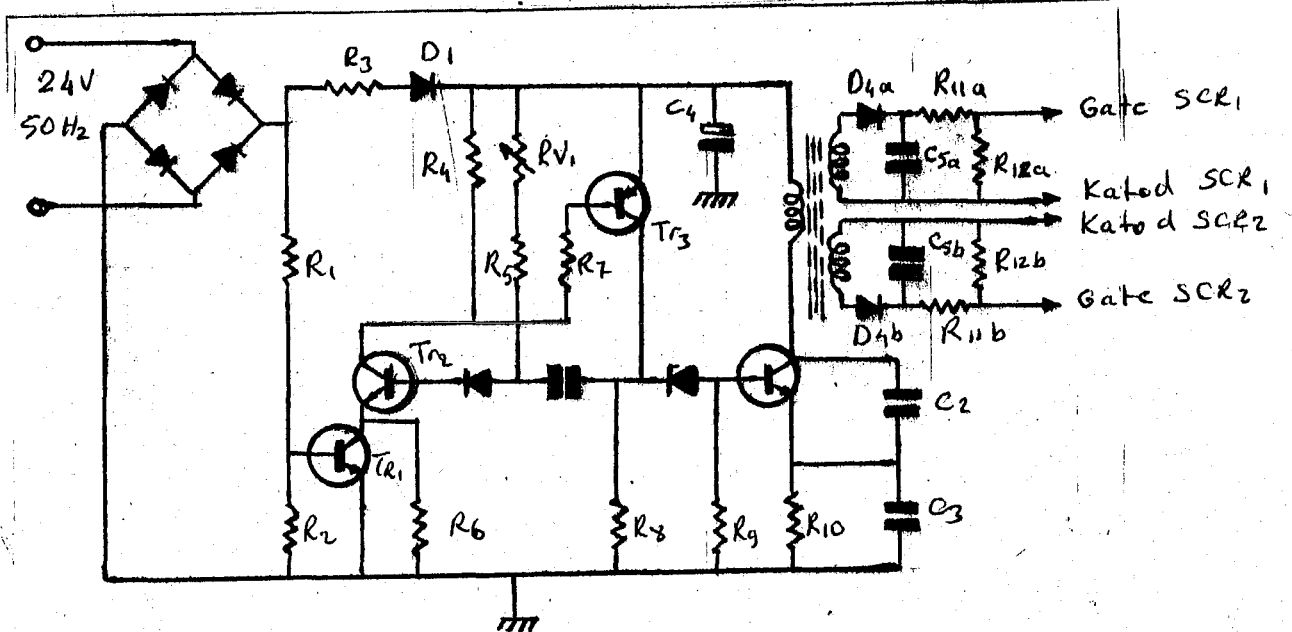
Şekil (3-7-14)

Şekil (3-7-14) bu tetikleme şeklini göstermektedir. Bu şekilden görüleceği üzere bir yarım saykılıda SCR_1 eğer yarım saykılıda ise SCR_2 tetiklenmektedir. ikincisinde ise iki adet yardımcı olarak, düşük güçlü iki SCR elemanı kullanılır. (SCR_1, SCR_2) nin gate-katodu arasındaki iki sekonder sargı hatta bağı olarak hat frekansında çalışırlar.

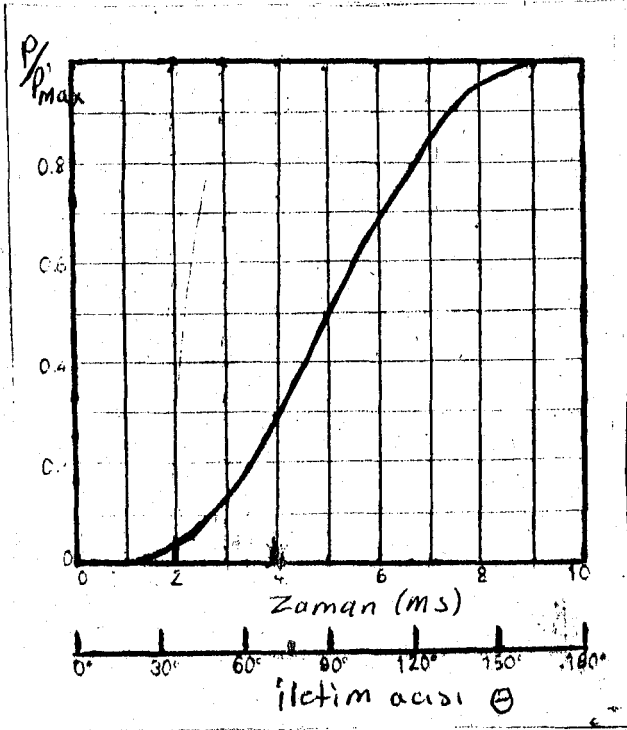


Şekil (3-7-15)

Şekil (3-7-15) de görüleceği gibi modilatörden gelen tetikleme pulsü ferit nüveli küçük güçlü transformator vasıtası ile her iki yardımcı SCR yi de tetikler. O anda iletimde olabilecek polariteye sahip olan yardımcı SCR iletime geçer. Bu iletime geçiş konu ile ilgili yarım periyodu sonuna kadar devam ederek SCR_1 yada SCR_2 yi iletimde tutar.



Şekil (3-7-16)



Şekil (3-7-18)

Minimum kontrol süresi $t = 1,5ms$ dir. Maksimum $\Delta t_{max} = 9ms$ dir. Bu süreler SCR de 27° ve 172° iletim açılarına karşılık gelir. Bu açılar R yükünde 0,02 ve 0,99 bağıl güçlere karşılık gelir, maksimum ^{um güçte} $V_m^2/2R$ değeri ve gücün değişimi Şekil (3-7-18) de elde edilmiştir. Tetikleme palslarındaki titreşim geriliminin ihmal edersek maksimum 1 voltluk V_{GF} (ateşleme gerilimi) voltajı gerekir. Devre her bir SCR ye 6mA'lık kapı akımı vermeye müsait olur V_{GF} ve I_{GF} nin bu değerleri BTX50-55, BRY23-26, SC50-51 tiristörlerinin ve kapı-katot arasındaki R_1 direnci olmaksızın BTX57-60, BRY28-31, SC60-61 tiristörlerinin $-20C^\circ$ ile $80C^\circ$ arasındaki sıcaklıkta açılması için yeterli olur.

II. Devrenin performansı ve tanımı:

Şekil (3-7-19) da gösterilen bu devre esas olarak güç SCR lerinde ki (SCR_1, SCR_2) yardımcı SCRler ($SCR(a), SCR(b)$) e T_2 trafosu yoluyla 100 lik ateşleme palsları gönderen senkronize bir osilatörden oluşur.

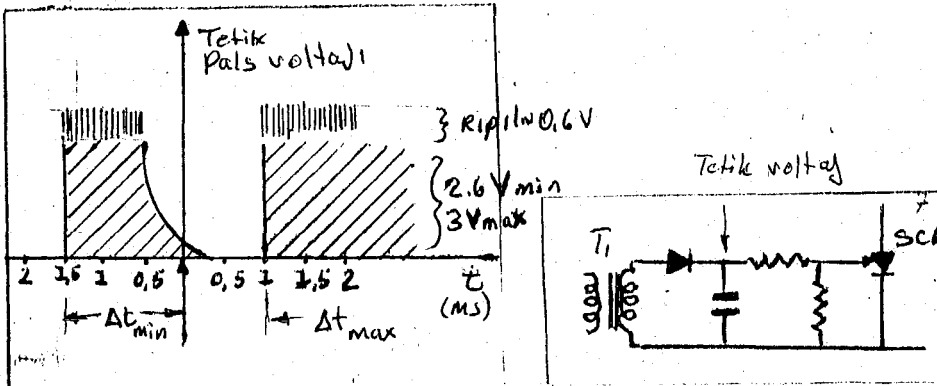
Ateşleme palslarındaki süre ve $SCR(a), SCR(b)$ nin iletim açısı RV değişken direnci tarafından kontrol edilir.

Şekil (3-7-16) nin tanımı ve çalışması :

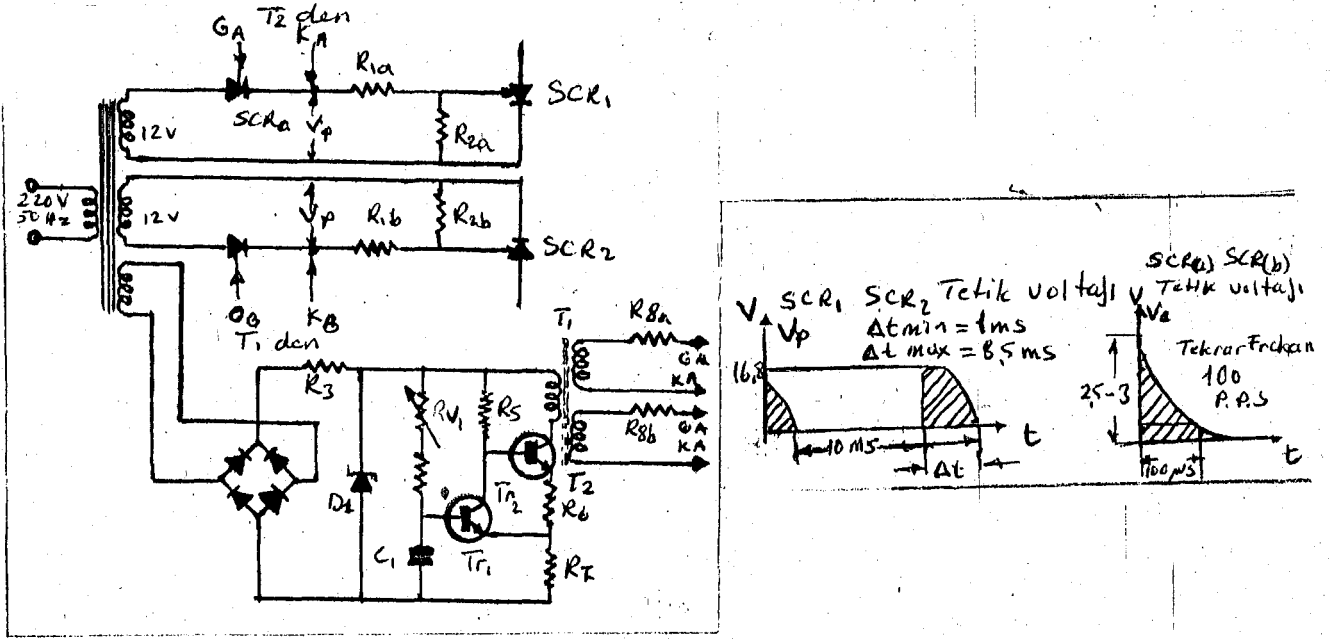
Şekil (3-7-16) yaklaşık olarak 30 KHz. lik bir osilatör ve 100 Hz. ye senkronize olmuş bir monostabel multivibratörden oluşmuştur. Multivibratör T_{r1} , T_{r2} ve T_{r3} tamamlayıcı transistörlerini kapsar. Bu tipin seçilmesinin nedeni çok düşük gerilim değerlerine kadar, zamanının kontrolüne müsaade eden düşük kalkınma zamanlarınına sahip olmasıdır.

T_{r1} transistörünün bazına tam dalga doğrultulmuş hat gerilimi uygulanır her 10 ms de T_{r2} ve T_{r3} transistörlerini kesime sürerek kendisi de bir milisaniyelik kesimde kalır. C_1 ve RV_1 , R_5 değerine bağlı olarak değişen bir süreden sonra T_{r2} ve T_{r3} transistörleri tam iletime (do-yuma) giderler. 30 KHz lik osilatörü T_{r4} bir parçası olan T_{r4} beyzindeki D_3 zener diyodu ve iletimdeki T_{r3} transistörü yoluyla **hiyaslandırığında** çalışır. Böylece osilatör RV_1 varyabil direncinin değerine ve 100 Hz lik tekrarlama hızıyla çalışır. T_1 trafosunun sekonderindeki D_4 ve D_4 b diyotları taşıyıcı dalgayı doğrultur. Ve dalga C_5a , C_5b , R_{11a} , R_{11b} ve R_{12a} , R_{12b} filitre elemanlarından geçer.

Devrenin DC gücü aynı zamanda R_3 , D_1 ve C_4 yoluyla multivibratörün senkronizasyonu sağlayan doğrultucu köprüsü tarafından sağlanır. Devrenin işleyişi doğrultulan ve filitrelenen dalga şekilleriyle birlikte Şekil (3-7-17) de gösterilmiştir.



Şekil (3-7-17)



Şekil (3-7-19) x

Bu devrede SCR(a ve b) nin kapı-katodunda zener diyotlar kullanılmı. Bu tetikleme geriliminin genliğinin sabit olmadığını gösterir. Ve bir minimum değere sabittir. (Δt_{min} karşılık gelen) Bu değer elde edilecek minimum kapı akımını tespit eder. Güç SCR lerinin kapı kayıp gücü maksimum gücü hesaplarla göz önüne alınmak zorundadır. $R_{1a,b}$ ve $R_{2a,b}$ dirençlerinin değerleri güç SCR lerinin tetikleme şartlarına bağlı olarak her durumda ayrı ayrı tespit edilir.

Yardımcı SCR lerin performansı bugün hemen hemen tüm güç SCR lerin tetiklenmesine uygun değerlere sahiptir (olmalıdır)

Sonuç:

Sincap kafesli asenkron motorlar ilk kalkış anında sekonderi kısa devre edilmiş bir transformatora benzedikleri için aşırı akım çekmektedir. Motor ve enerji alınan gerilim düşümü ve güç kaybı yönünden sakıncalı olan bu durumun yaratacağı sakıncaları azaltabilmek için çeşitli yol verme metotları kullanılmaktadır. D

Direkt yol vermek şebeke imkanları izin verdiğinde ve mecbur kaldığında kullanılabilen bir yol verme tarzıdır. Yardımcı motorla yol vermek motoru sekonderi kısadevre transformator özelliğinden kurtardıktan sonra şebekeye irtibatlamak demektir.

Direncle reaktansla yıldız üçgen yol verici ve oto transformatoru ile yol vermek motora önce düşük gerilim uygulayıp sonra normal gerilime irtibatlamak esasına dayanır.

Tristör elemanları ile yol vermek ise motorun çekeceği akımın ortalama değerini kontrol ederek yol vermedir. Bu yol verme yöntemi pahalı fakat motor akımını kontrol etme bakımından daha geniş imkanlara sahiptirler. Yol vermede daha az güç sarfına neden olur. Devre açıp kapamada meydana gelen harmoniklerin motorda ve şebekede meydana getireceği mahsurlar önlendikçe bu metotla yol vermenin ileride çok kullanılacağı kanısındayım.

FAYDALANILAN KAYNAKLAR

I Kitaplar

- 1- Prof.Dr. İlhami Çetin : Transformator 1. Kısım
- 2- Doç.Dr. Nesrin Tarkan: Elektrik iletim şebekelerinin işleme ve korunması
- 3- Prof.Dr. M. Kemal Sarıoğlu; Elektrik Makinalarının Temelleri III
- 4- Prof.Dr. Emin Unalan Elektrikle enerji nakli (I)
(motorlar ve konvertisörler)
- 5- Prof.Dr. Emin Unalan Elektronikte otomatik ayar
- 6- Prof.Dr. Emin Unalan Elektrik kontrol sistemleri
- 7- Prof.Dr. Turgut Boduroğlu Elektrik makinaları dersleri Cilt 1 2.Kısım
- 8- Prof.Dr. Charles S. Siskind Electrical Machines Direct and Alternating Current
- 9- Prof.Dr. Charles S. Siskind Electrical Control Systems in Industry
- 10- Prof.Dr. Chester.L. Dawes Electrical Engineering Volume I Volum II
- 11- Prof.John H Kuhl'mann Elektrik makinalarının hesabı
(Ceviri Yük.Müh. Ali N. Berkol)
- 12- Prof.Dr. Kemal Halıcı Elektrik motoru ile tahrik
- 13- Prof.Yük.Müh. Remzi Gulgun Güç Elektronığına giriş
- 14- Yük.Müh. Bnb. Osman Unlü Temel Elektronik I-II

II Ders Notları

- 1-Prof Dr. Atıf Jural Güç elektroniği ve Elektrığın Endüstride uygulanması
Ders notları
- 2-Prof.Dr İlhami Çetin İTÜ Elektrik Makinaları Kürsüsü Ders Notları
Kısım I

III Katologlar

- 1- GAMAK Motor Katologları
- 2- WAT Motor Katologları

IV MAKALELER

- A. Evalcngelisti: Fase Controlled SCRs Feedinsan
Inductive load (Appliciation Report 167SGSFAIRCHILA)