

**BİR ATIKSU ARITMA TESİSİNİN VE KULLANILAN
YÜKSEK GERİLİMLİ ELEKTRİK MOTORLARINA
YOLVERME YÖNTEMLERİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Elk. Müh. Mehmet İslam İPEK**

Anabilim Dalı : ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ

Programı : ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ

ARALIK 2002

**BİR ATIKSU ARITMA TESİSİNİN VE KULLANILAN
YÜKSEK GERİLİMLİ ELEKTRİK MOTORLARINA
YOLVERME YÖNTEMLERİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Elk. Müh. Mehmet İslam İPEK
504981011**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 24 Aralık 2002
Tezin Savunulduğu Tarih : 31 Ocak 2003**

**Tez Danışmanı : Prof.Dr. Faik MERGEN
Diğer Jüri Üyeleri : Prof.Dr. Oktay AYBAR (Y.T.Ü.)
Doç.Dr. Metin GÖKAŞAN**

ARALIK 2002

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın hazırlanmasında değerli fikirleri ve katkılarıyla bana kılavuzluk eden sayın hocam Prof. Dr. Faik Mergen'e ve yardımlarını esirgemeyen **Elk. Yük. Müh.** Benan Öğüt ve **Elk. Yük. Müh.** Serkan Soyaslan'a teşekkürü bir borç bilirim.

Hayatım boyunca her konuda desteklerini gördüğüm anneme, babama ve kardeşlerime, tezimin hazırlandığı süre zarfında göstermiş oldukları sabır, ilgi ve hoşgörü için teşekkür ederim.

Aralık 2002

Mehmet İslam İPEK

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	vi
TABLO LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ	viii
SEMBOL LİSTESİ	x
ÖZET	xii
SUMMARY	xiii
1. GİRİŞ	1
2. AKTİF ÇAMUR PROSESİ	4
2.1 Biyolojik Fosfor Giderme Prosesi	5
2.2 Nitrifikasyon Prosesi	5
2.3 Denitrifikasyon Prosesi	5
3. AKTİF ÇAMUR PROSESİNİN KULLANILDIĞI ATIKSU ARITMA TESİSİNİN YAPISI VE ÇALIŞMASI	7
3.1 Ön Arıtma Ünitesi	9
3.1.1 Mekanik Yapı	9
3.1.2 Çalışma İlkesi	9
3.2 Biyolojik Fosfor Giderme Ünitesi	11
3.2.1 Mekanik Yapı	11
3.2.2 Çalışma İlkesi	12
3.3 Havalandırma Havuzları	12
3.3.1 Mekanik Yapı	13
3.3.2 Çalışma İlkesi	13
3.4 Son Çöktürme Havuzları	14
3.4.1 Mekanik Yapı	14
3.4.2 Çalışma İlkesi	15
3.5 Geri Devir Terfi Ünitesi	16
3.5.1 Mekanik Yapı	16
3.5.2 Çalışma İlkesi	16
3.6 Fazla Çamur Terfi Ünitesi	16
3.6.1 Mekanik Yapı	16
3.6.2 Çalışma İlkesi	16
3.7 Çözülmüş Hava İle Yüzdürme Üniteleri	17
3.7.1 Mekanik Yapı	17
3.7.2 Çalışma İlkesi	17
3.8 Çamur Depolama Ünitesi	18
3.8.1 Mekanik Yapı	18
3.8.2 Çalışma İlkesi	19

3.9 Çamur Kurutma Ünitesi	19
3.9.1 Mekanik Yapı	19
3.9.2 Çalışma İlkesi	20
3.10 Süzüntü Suyu Terfi Ünitesi	20
3.10.1 Mekanik Yapı	21
3.10.2 Çalışma İlkesi	21
4. TESİSTE KULLANILAN EKİPMANLAR	22
4.1 Mekanik Izgara	22
4.1.1 Yapısı	22
4.2 Bantlı Konveyör	23
4.2.1 Yapısı	23
4.3 Izgara Presi	23
4.4 Doğrusal Sıyırıcı Köprü	24
4.4.1 Yapısı	24
4.5 Döner Köprülü Sıyırıcı	25
4.5.1 Yapısı	25
4.6 Kum Ayırıcı	26
4.6.1 Yapısı	26
4.6.2 Kum Ayırıcı Motor Gücü Hesabı	27
4.7 Blowerler	28
4.7.1 Yapısı	28
4.7.2 Blower Motor Gücü Hesabı	28
4.8 Karıştırıcılar	29
4.8.1 Yapısı	29
4.9 Pompalar	29
4.9.1 Santrifüj Pompalar	29
4.9.2 Deplasman Pompalar	31
4.10 Santrifüjler	32
4.10.1 Yapısı	32
5. KULLANILAN EKİPMANLARIN MEKANİK GÜÇLERİNİN HESAPLANMASI	34
5.1 Kum Ayırıcının Motor Gücünün Hesaplanması	34
5.2 Blower Motor Güçlerinin Hesaplanması	35
5.3 Pompa Motor Güçlerinin Hesaplanması	37
6. TESİSİN ENERJİ İHTİYACININ KARŞILANMASI	42
7. TESİSTE KULLANILAN MOTORLAR VE YOLVERME YÖNTEMLERİ	49
7.1 Tesiste Doğrudan Yolverilebilecek En Büyük Motor Gücü Hesabı	49
8. YÜKSEK GERİLİMLİ KAFESLİ ASENKRON MOTORLARA YOLVERME YÖNTEMLERİ	53
8.1 Yüksek Gerilimli Kafesli Asenkron Motorlara Doğrudan Yolverme	55
8.2 Yüksek Gerilimli Kafesli Asenkron Motorlara Güç Yarı İletkenli Statik Anahtarla Doğrudan Yolverme	58
8.2.1 Statik Anahtardaki Tristörlerin Ateşleme Açılarının Belirlenmesi	61
8.2.2 Statik Anahtarın Yapısı, Avantaj Ve Dezavantajları	68
8.3 Yüksek Gerilimli Kafesli Asenkron Motorlara Seri Bobin İle Yolverme	69

8.4 Yüksek Gerilimli Kafesli Asenkron Motorlara Transformatör İle Yolverme	72
8.5 Yüksek Gerilimli Kafesli Asenkron Motorlara Yumuşak Yolvericiler İle Yolverme	76
8.5.1 Yüksek Gerilimli Yumuşak Yolvericilerin Çalışma Prensibi	76
8.6 Değişken Frekanslı Sürücüler	79
9. SONUÇ VE ÖNERİLER	80
KAYNAKLAR	81
EK A	83
ÖZGEÇMİŞ	93

KISALTMALAR

AKM : Askıdaki Katı Madde

BOİ₅ : Biyolojik Parçalanma İçin Beş Günlük Oksijen İhtiyacı

İSKİ : İstanbul Su Ve Kanalizasyon İdaresi

KOİ : Kimyasal Parçalanma İçin Oksijen İhtiyacı

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 6.1 Ön Arıtma Ünitesi Ekipman Güç Listesi	42
Tablo 6.2 Biyolojik Fosfor Giderme Ünitesi Ekipman Güç Listesi	43
Tablo 6.3 Havalandırma Ünitesi Ekipman Güç Listesi	43
Tablo 6.4 Son Çöktürme Ünitesi Ekipman Güç Listesi	44
Tablo 6.5 Geri Devir Terfi Ünitesi Ekipman Güç Listesi	44
Tablo 6.6 DAF Ünitesi Ekipman Güç Listesi	45
Tablo 6.7 Fazla Çamur Ünitesi Ekipman Güç Listesi	45
Tablo 6.8 Çamur Kurutma Ünitesi Ekipman Güç Listesi	46
Tablo 6.9 Çamur Depolama Ünitesi Ekipman Güç Listesi	46
Tablo 6.10 Süzüntü Suyu Terfi Ünitesi Ekipman Güç Listesi	47
Tablo 6.11 Tesisin Güç Listesi	47

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1 : Atıksu arıtma tesisi proseslerinin akış diyagramı	2
Şekil 2.1 : Biyolojik azot, fosfor giderimi gerçekleştiren aktif çamur prosesinin akış diyagramı	6
Şekil 3.1 : İSKİ Paşaköy Atıksu Arıtma Tesisi akım şeması	8
Şekil 3.2 : Mekanik ızgaranın yapısı	10
Şekil 3.3 : Kum tutucunun yapısı	11
Şekil 3.4 : Biyolojik fosfor giderme ünitesinin yapısı	12
Şekil 3.5 : Havalandırma havuzlarının yapısı	14
Şekil 3.6 : Son çöktürme ünitesinin yapısı	15
Şekil 3.7 : Çözünmüş hava ile yüzdürme ünitesinin yapısı	18
Şekil 3.8 : Çamur kurutma ünitesinin yapısı	20
Şekil 4.1 : Mekanik ızgara	23
Şekil 4.2 : Izgara presi	24
Şekil 4.3 : Kum ayırıcının yapısı	26
Şekil 4.4 : Santrifüj pompanın yapısı	30
Şekil 4.5 : Deplasman pompanın yapısı	32
Şekil 4.6 : Santrifüjlerin yapısı	33
Şekil 5.1 : Pompa performans eğrisi	38
Şekil 5.2 : Pompa performans eğrisi	38
Şekil 5.3 : Pompa performans eğrisi	39
Şekil 5.4 : Pompa performans eğrisi	40
Şekil 5.5 : Pompa performans eğrisi	41
Şekil 8.1 : Doğrudan yolvermenin şematik diyagramı	55
Şekil 8.2 : Doğrudan yolvermenin kısıtlı devresi.....	56
Şekil 8.3 : Anma yükünün yarısında motora doğrudan yolverilmesi durumunda elektromanyetik momentin zamana göre değişimi	57
Şekil 8.4 : Anma yükünün yarısında motora doğrudan yolverilmesi durumunda i_{sA} stator akımının zamana göre değişimi	58
Şekil 8.5 : Sıradan anahtarlama elemanlı ve statik anahtarlı sistemin blok diyagramı	60
Şekil 8.6 : Statik anahtarın şematik diyagramı	60
Şekil 8.7 : Tristörlerin ateşleme süreleri	61
Şekil 8.8 : $\alpha=0$, $\beta=0$ durumunda anma yükünün yarısında elektromanyetik momentin zamana göre değişimi	63
Şekil 8.9 : $\alpha=0$, $\beta=0$ durumunda anma yükünün yarısında i_{sA} stator akımının zamana göre değişimi	64
Şekil 8.10 : $\alpha=0$, $\beta=90^\circ$ durumunda anma yükünün yarısında elektromanyetik momentin zamana göre değişimi	64

Şekil 8.11	: $\alpha=0^\circ$, $\beta=90^\circ$ durumunda anma yükünün yarısında i_{sA} stator akımının zamana göre değişimi	65
Şekil 8.12	: $\alpha=60^\circ$, $\beta=90^\circ$ durumunda anma yükünün yarısında elektromanyetik momentin zamana göre değişimi	65
Şekil 8.13	: $\alpha=60^\circ$, $\beta=90^\circ$ durumunda anma yükünün yarısında i_{sA} stator akımının zamana göre değişimi	66
Şekil 8.14	: $\alpha=80^\circ$, $\beta=90^\circ$ durumunda anma yükünün yarısında elektromanyetik momentin zamana göre değişimi	66
Şekil 8.15	: $\alpha=80^\circ$, $\beta=90^\circ$ durumunda anma yükünün yarısında i_{sA} stator akımının zamana göre değişimi	67
Şekil 8.16	: $\alpha=90^\circ$, $\beta=90^\circ$ durumunda anma yükünün yarısında elektromanyetik momentin zamana göre değişimi	67
Şekil 8.17	: $\alpha=90^\circ$, $\beta=90^\circ$ durumunda anma yükünün yarısında i_{sA} stator akımının zamana göre değişimi	68
Şekil 8.18	: Seri bobin ile yolvermenin şematik diyagramı	70
Şekil 8.19	: Seri bobin ile yolvermenin kısadevre eşdeğer devresi	70
Şekil 8.20	: Reaktansı 5,54 ohm/faz olan bobin ile motora anma yükünün yarısında yolverilmesi durumunda elektromanyetik momentin zamana göre değişimi	71
Şekil 8.21	: Reaktansı 5,54 ohm/faz olan bobin ile motora anma yükünün yarısında yolverilmesi durumunda i_{sA} stator akımının zamana göre değişimi	72
Şekil 8.22	: Ototransformatör ile yolvermenin şematik diyagramı	73
Şekil 8.23	: Çevirme oranı 1,366 olan ototransformatör ile motora anma yükünün yarısında yolverilmesi durumunda elektromanyetik momentin zamana göre değişimi	75
Şekil 8.24	: Çevirme oranı 1,366 olan ototransformatör ile motora anma yükünün yarısında yolverilmesi durumunda i_{sA} stator akımının zamana göre değişimi	75
Şekil 8.25	: Yumuşak yolvericinin şematik diyagramı	77
Şekil 8.26	: α tetikleme açısının kalkış akımına göre zamanla değişimi.....	79

SEMBOL LİSTESİ

D	: vida çapı
f	: kayıp katsayısı
h	: vida hatvesi
i_{rd}, i_{rq}	: stator eksen takımında rotor akımlarının gerçel ve sanal bileşenlerinin ani değerleri
i_{sA}, i_{sB}, i_{sC}	: üç fazlı stator akımlarının ani değerleri
i_{sD}, i_{sQ}	: stator eksen takımında stator akımlarının gerçel ve sanal bileşenlerinin ani değerleri
I_a	: Motor kalkış akımı
I_g	: Ağırlık kapasitesi
I_n	: Motor nominal akımı
I_v	: Hacimsel kapasite
J	: Atalet momenti
k	: Eğim katsayısı
L	: Taşıma boyu
L_m	: Manyetik indüktans
L_r	: Rotor öz indüktansı
L_s	: Stator öz indüktansı
M_a	: Motor kalkış momenti
M_n	: Motor nominal momenti
n	: Vida devri
p	: Türev operatörü
p_k	: Çift kutup sayısı
P_1	: Giriş hava basıncı
P_2	: Çıkış hava basıncı
P_n	: Motor nominal gücü
Q	: Debi
R	: Hava için gaz sabiti
R_r, R_s	: Rotor ve stator sargısı dirençleri
S_{tr}	: Trafo nominal gücü
T_1	: Giriş hava sıcaklığı
t_e	: Elektromanyetik moment

t_y	: Yük momenti
u_k	: Trafo kısıdevre gücü
u_{sA}, u_{sB}, u_{sC}	:  fazlı stator gerilimlerinin ani değerleri
u_{sD}, u_{sQ}	: Stator eksen takımında stator gerilimleri uzay fazörünün gerçel ve sanal eksen bileşenleri
u_{rd}, u_{rq}	: Stator eksen takımında rotor gerilimleri uzay fazörünün gerçel ve sanal eksen bileşenleri
U_n	: Fazarası gerilim
$\ddot{u}$	: Ototransformatörün çevirme oranı
α, β	: Tristörlerin ateşleme açıları
φ	: Dolma derecesi
γ	: Kum yoğunluğu
η	: Toplam verim
ρ	: Yoğunluk
ε	: Gerilim düşümü
w	: Ağırlıkça hava akısı
ω_r	: Açısal rotor hızı
X_d	: Seri bobinin reaktansı
X_{tr}	: Orta gerilim transformatörünün kısıdevre reaktansı
X_m	: Motor kısıdevre reaktansı

BİR ATIKSU ARITMA TESİSİNİN VE KULLANILAN YÜKSEK GERİLİMLİ ELEKTRİK MOTORLARINA YOL VERME YÖNTEMLERİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

Günümüzde atıksu arıtma tesisleri büyük önem kazanmıştır. Artık büyük yerleşim yerlerinde atık sular arıtıldıktan sonra yüzeye verilmektedir. Bu tesislerin verimli işletilmesi için kullanılan proseslerin ve mekanik ekipmanların iyi bilinmesi gerekir.

Bu çalışmada, atıksu arıtma tesislerinin genel yapısı, atıksu arıtma proseslerinden aktif çamur prosesi ve bu prosesle çalışan bir atıksu arıtma tesisi incelenmiştir. Bu tesiste kullanılan mekanik ekipmanlar, bunların motor güçlerinin bulunması, tesisin enerji ihtiyacının karşılanması, tesiste kullanılan motorlar ve bu motorlara yol verilmesi anlatılmıştır.

Bu amaçla ilk önce biyolojik arıtma yöntemlerinden aktif çamur prosesi, fosfor ve azot giderme proseslerinden bahsedilmiştir. Ardından, İSKİ Paşaköy Atıksu Arıtma Tesis'i'nin yapısı ve çalışma ilkesi, burada kullanılan mekanik ekipmanların yapısı ve bunların motor güçlerinin bulunması incelenmiş ve motor güçleri hesaplanmıştır.

Daha sonra, tesisin kurulu gücü, işletme gücü hesaplanmış ve güç trafoları seçilmiştir.

Son olarak da, tesiste kullanılan motorlar anlatılmış, bu motorlara doğrudan yol verme gücü hesaplanmış ve yüksek gerilimli motorlara yol verme yöntemleri anlatılmıştır.

Doğrudan yol verme, güç yarı iletkenli statik anahtarla doğrudan yol verme, seri bobinle yol verme ve transformatörle yol verme yöntemleri ile yol verilen yüksek gerilimli kafesli asenkron motorun MATLAB SIMULINK programında simülasyonu yapılmıştır. Motor kalkış akımı ve kalkış momenti incelenmiştir.

THE STUDY OF A WASTEWATER TREATMENT PLANT AND THE METHODS OF STARTING THE HIGH VOLTAGE MOTORS

ABSTRACT

The wastewater treatment plants have got a great importance nowadays. Today, in big cities, wastewater is given to the surface after the treatment. To operate these plants efficiently, processes and mechanical equipments that are running must be well known.

In this study, general structure of the wastewater treatment plants, active mud process that is one of the wastewater treatment processes and a wastewater treatment plant that is using this process has been examined. Mechanical equipments that are running in this plant, calculation of the motor powers of these equipments, supplying the energy demand of this plant, motors that are running in this plant and starting of these motors has been told.

For this aim, first, active mud process that is one of the biological treatment methods, removal of phosphor and nitrogen process has been mentioned. Then, the structure and the operating principle of İSKİ Paşaköy Wastewater Treatment Plant, the structures of the mechanical equipments that are running in this plant has been examined and motor powers of these equipments are calculated.

And then, the installation and the operating power of the plant has been calculated and power transformers has been chosen.

And at last, motors that are running in this plant has been examined, direct starting power of these motors has been calculated and the methods of starting high voltage motors has been told.

Starting of a high voltage squirrel cage induction motor using the methods direct on line starting, solid state direct on line starter, reactor starting and transformer starting has been simulated with the MATLAB SIMULINK program. Starting current and starting torque of the motor has been examined.

1. GİRİŞ

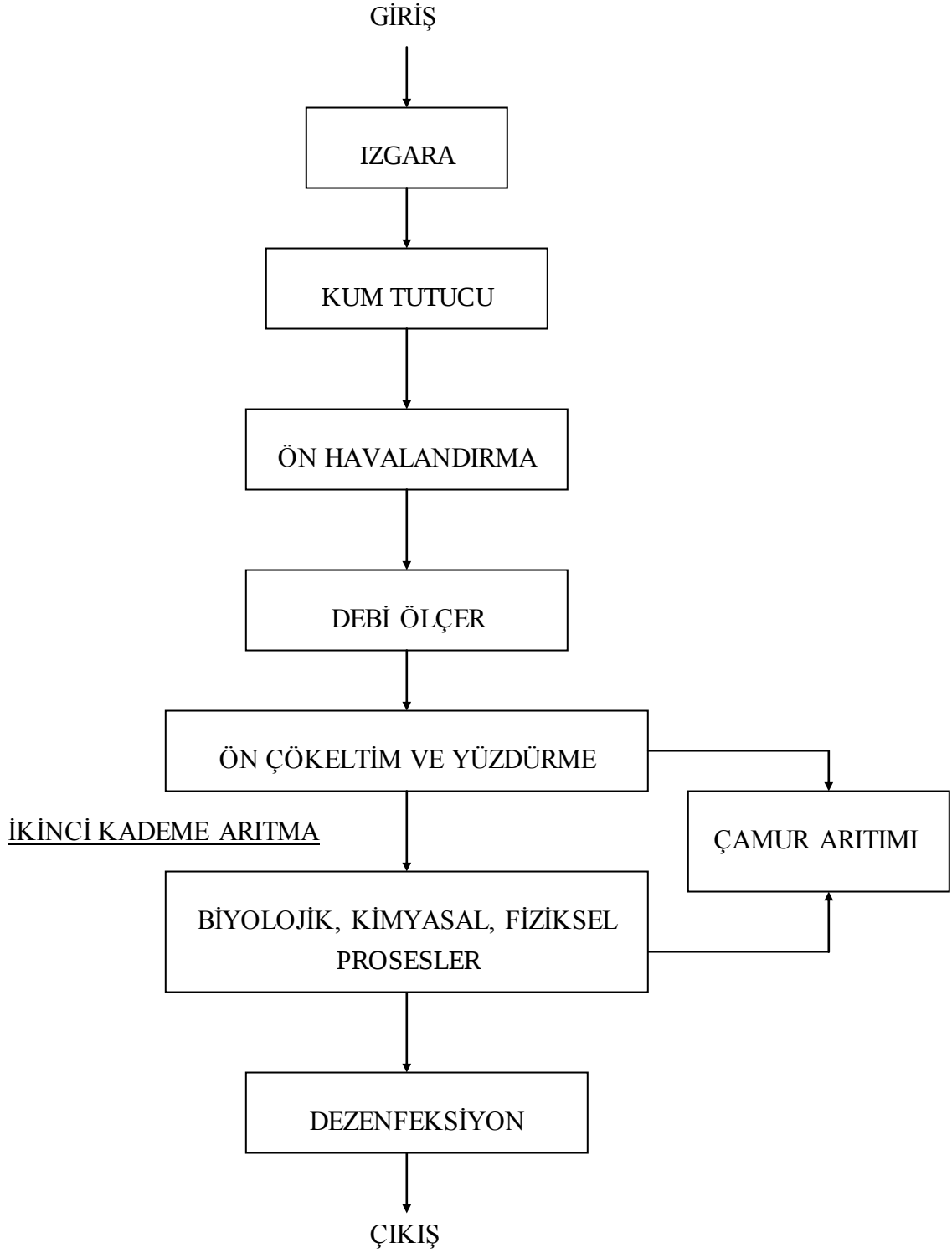
Çevre kirlenmesine sebep olan önemli etkenlerden biriside evsel atıksulardır. Herhangi bir arıtma işlemine tabi tutulmadan doğrudan yüzey sularına verilen evsel atıksuların nehir, göl ve diğer su kaynaklarını kirlletmesinden sonra durumun düzeltilmesi çok büyük mali harcamalarla mümkündür. Günümüzde büyükşehirlerde atıksuların arıtma tesislerinde arıtıldıktan sonra yüzey sularına ve zemine geri verilmesine çalışılmaktadır.

Sanayi atıksuları ile evsel atıksular çok farklı özellik gösterdiklerinden bunlar ayrı tesislerde arıtılır. Evsel atıksular dünyanın neresinde olursa olsun benzer özellik taşıdıklarından benzer atıksu arıtma tesislerinde arıtılabilmektedir. Günümüzde atıksu arıtma tesisi tipinin seçiminde, atıksu özelliği çok önemli olsa bile, iklim, yer, enerji maliyeti gibi faktörlerde önemli rol oynar. Dünyanın her yerinde olduğu gibi yurdumuzda da evsel kaynaklı atıksular biyolojik yöntemlerle arıtılır. Kimyasal yöntemler bu sularda ekonomik olmayacağı için kullanılmaz.

Biyolojik arıtma, kısa ve öz olarak; atıksularda bulunan çözünmüş veya çözünmemiş organik kirleticilerin, mikroorganizmalar tarafından besi maddesi olarak kullanılarak karbondioksit, su ve yeni mikroorganizmalara dönüştürülmesi olarak tanımlanabilir. Biyolojik arıtmanın yükünü azaltmak için, fiziksel ön arıtma uygulanır [1]. Evsel atıksu arıtma tesisinin genel yapısı Şekill.1’de gösterilmiştir.

Arıtma tesisine gelen atıksular önce iri maddelerden arındılır. Bu ya ızgaralar kullanarak iri maddelerin ayrılması veya öğütücüler kullanarak iri maddelerin parçalanarak atıksuya verilmesi ve takip eden ünitelerde arıtılması şeklinde olur. Atıksulardan iri maddelerin giderilmesi pompa ve borularda tıkanma probleminin önlenmesi, mekanik ekipmanın zarar görmemesi için lüzumludur. Atıksu içindeki kum gibi inorganik maddeler kum tutucu adı verilen dikdörtgen planlı, uzun paralel

ÖN ARITMA



Şekil 1.1 Atıksu arıtma tesisi proseslerinin akış diyagramı

akışlı veya dairesel planlı, radyal akışlı ünitelerde giderilir. Böylece takip eden arıtma ünitelerindeki mekanik aksamın aşınması asgariye indirilir. Kum tutucu çıkışına kadar olan arıtma seviyesine ön arıtma denir. Arıtılan suyun miktarını kaydetmek açısından ön arıtmadan sonra bir debi ölçme sistemi yer alır. Ön havalandırma, atıksuyun havalandırılarak oksijen kazanması ile yağ ve gres giderimi maksadıyla uygulanabilir. Ön arıtma veya mekanik arıtma ön çöktürme havuzlarını ihtiva eder. Ön çöktürme havuzlarında 1-2 saat gibi bir sürede kendi kendine çökebilen organik menşeli katı maddeler çökeltilerek atıksudan ayrılır. Ayrıca yüzebilen maddeler havuz yüzeyinden sıyrılıp alınarak atıksulardan ayrılır. Ön çöktürme çıkış sularında %70 civarında AKM, %30-35 civarında BOI₅ giderimi elde edilir [1].

Ön arıtmadan sonra biyolojik arıtma uygulanır. Biyolojik arıtma yoluyla atıksulardaki koloidal ve çözünmüş organik maddelerin kolayca çökebilen yapıdaki biyokütle ve gazlara dönüştürülmesi sağlanır. Atıksu bünyesindeki kaba maddelerin giderilmesinde en etkili yöntem ön çöktürme olduğu halde, koloidal ve çözünmüş organik maddelerin gideriminde biyolojik sistem en uygun arıtma metodudur.

Günümüzde en yaygın şekilde kullanılan biyolojik arıtma sistemleri:

- Aktif Çamur Sistemi
- Havalandırma Havuzları
- Stabilizasyon Havuzları
- Damlatmalı Filtreler
- Biyodiskler

Atıksudaki hastalık yapıcı mikroorganizmaların giderilmesi söz konusu olduğunda, arıtılmış atıksuların dezenfeksiyonu işlemine tabi tutulmaları gerekir. Dezenfeksiyon maksadıyla genellikle klorlama kullanılmaktadır.

2. AKTİF ÇAMUR PROSESİ

Aktif çamur prosesi, çökeltmiş atıksuyun havalandırılması esasına dayanır. Bu esnada, suyun içindeki mikroorganizmalar, kısmen çözünmüş, kısmen asılı haldeki organik maddeleri hücrelerini kurmak ve enerji elde etmek için kullanırlar ve hızla çoğalırlar. Bu sırada organik maddenin bir kısmı yanarak CO₂ haline gelir. Diğer kısım, hücre teşkilinde kullanılır. Çoğalan mikroorganizmalar birbirine ve suda asılı maddelere tutunarak yumaklar oluştururlar. Bu yumaklar son çökeltme havuzu içinde çöktürülür. Tabana çökelen katı maddelere aktif çamur adı verilir. Aktif çamur, canlı mikroorganizmalardan ve onlara yapışmış asılı ve ipliksi maddelerden meydana gelir. Organik maddenin bu şekilde, aerobik olarak ayrıştırılması, atıksu ile ne kadar fazla mikroorganizma temas haline getirilirse, o kadar hızlı bir şekilde olacaktır. Bu sebeple, son çökeltme havuzu tabanına çökelen canlı çamurlar, geriye döndürülerek, sistemi aşlamak yoluna gidilir. Ancak bu geri devir ve sirkülasyon, nihayetsiz olarak devam edip gidemez. Aksi halde havalandırma havuzunda katı madde konsantrasyonu çok artar. Buna mani olmak için fazla çamur sistemden atılır. Son çökeltme havuzundan çıkan sıvı, istenilen bir derecede temizlenmiş olduğundan, yüzeysel sulara verilebilecek bir durumdadır [3].

Aktif çamur prosesinin, aşağıdaki 3 prosesle birlikte işletilmesi durumunda ileri biyolojik arıtma gerçekleştirilir.

1. Biyolojik Fosfor Giderme Prosesi
2. Nitrifikasyon Prosesi
3. Denitrifikasyon Prosesi

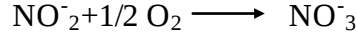
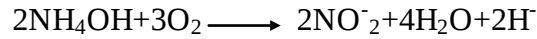
Evsel atıksularda azot, organik azot ve amonyak azotu şeklinde bulunur. En uygun azot giderimi, nitrifikasyon ve denitrifikasyon prosesleri ile gerçekleştirilir.

2.1 Biyolojik Fosfor Giderme Prosesi

Biyolojik fosfor giderimi, atıksulardan çözünmüş fosforu giderebilmek için geliştirilmiş bir aktif çamur tekniğidir. İkinci kademe biyolojik arıtmada biyokütlenin fosfor içeriği normal olarak %1,5-2 civarındadır. Bu bileşimdeki bir çamurunun sistemden uzaklaştırılması yolu ile, sistemin çamur yaşına, atıksuyun P/KOİ oranına ve çamur uzaklaştırma tekniklerine bağlı olarak %10-30 oranında fosfor giderimi gerçekleştirilebilir [2]. Aktif çamur sistemlerinin başına anaerobik (oksijen ve nitratın bulunmadığı) bir kademe eklendiğinde normal metabolik ihtiyaçların çok üstünde fosfor giderimi sağlandığı gözlenmiştir.

2.2 Nitrifikasyon Prosesi

Aerobik bir ortamda mikroorganizmaların etkisiyle amonyağın nitrata dönüştürülmesi prosesi, nitrifikasyon olarak tanımlanır ve aşağıdaki bağıntıyla formüle edilir.

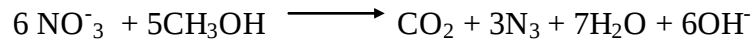


Nitrifikasyon prosesi iki kademeyle gerçekleşmektedir ve bu proses boyunca iki ayrı mikroorganizma türü faaliyet göstermektedir. İlk aşamada ortamda mevcut amonyak iyonları, nitrosomonas bakterileri tarafından nitrite (NO_2^-); oluşan bu nitrit de nitrobacter türü bakteriler tarafından nitrata (NO_3^-) dönüştürülürler. Buradaki bakteriler CO_2 'yi karbon kaynağı olarak kullanan ve enerjisini amonyağın ve nitritin oksitlenmesinden sağlayan aerobik mikroorganizmalardır [2].

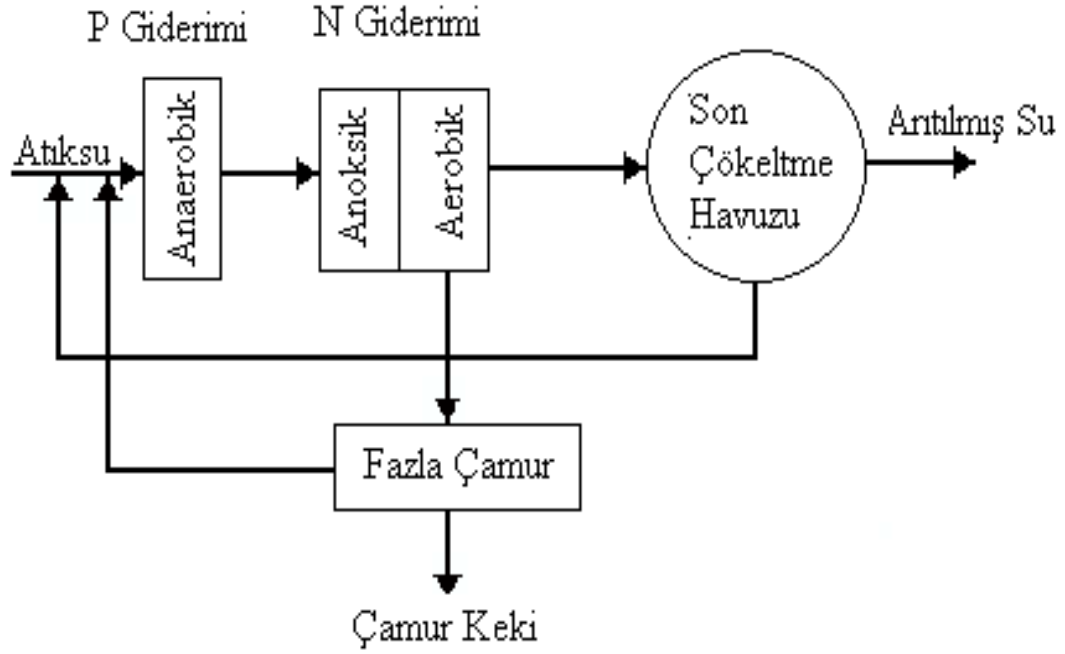
2.3 Denitrifikasyon Prosesi

Denitrifikasyon, nitrifikasyon prosesinin tam tersi bir işlem olup anoksik şartlarda (NO_3^-) azotunun azot gazı N_2 haline dönüşmesi işlemi olarak tanımlanır. Denitrifikasyon prosesi iki kademedir oluşmaktadır. Birinci kademe mikroorganizmalar, nitratı elektron alıcısı olarak kullanır ve ihtiyaç duydukları enerjiyi organik karbon bileşiklerinden sağlayarak nitrat iyonlarını nitrite indirirler.

İkinci aşamada ise, nitrit iyonları azot gazına kadar indirgenir. Denitrifikasyon prosesinin genel reaksiyon denklemi aşağıda verilmiştir.



Elektron alıcısı olarak kolaylıkla oksijen yerine kullanılan nitratın, biyolojik olarak azot gazına indirgenerek atmosfere geri dönmesi ile azot giderimi gerçekleşir [2].



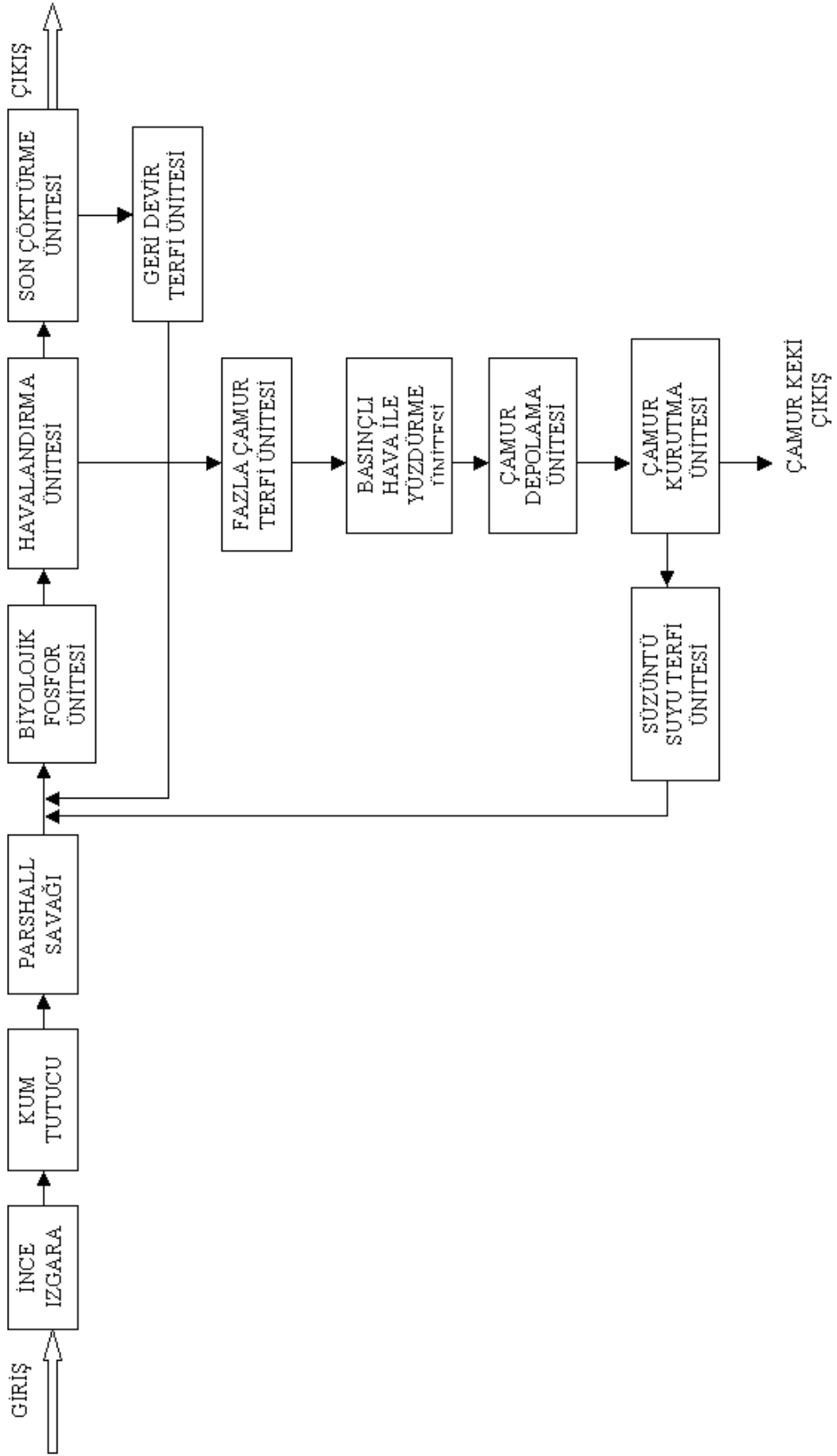
Şekil 2.1 Biyolojik Azot, Fosfor Giderimi Gerçekleştiren Aktif Çamur Prosesinin Akış Diyagramı

3. AKTİF ÇAMUR PROSESİNİN KULLANILDIĞI ATIKSU ARITMA TESİSİNİN YAPISI VE ÇALIŞMASI

Aktif çamur sistemleri, yurdumuzda ve dünyada en çok uygulama alanı bulmuş evsel atıksu arıtma yöntemidir. Dolayısıyla teknolojisi en çok geliştirilen ve en çok uygulayıcısı olan sistemde budur. Yurdumuzda en küçüğünden en büyüğüne kadar bir çok kentsel atıksu arıtma tesisleri de bu sistemle yapılmış ve yapılmaktadır. Bu bölümde Paşaköy Atıksu Arıtma Tesisinin yapısı ve çalışma ilkesi anlatılmaktadır.

Atıksu arıtma tesisleri üretim sürecinin süreklilik gösterdiği işletmelerden biridir. İncelenen tesis ön arıtma ve biyolojik arıtma ünitelerinden oluşmaktadır. Tesis on ana üniteden oluşur.

1. Ön arıtma ünitesi
2. Biyolojik fosfor giderme ünitesi
3. Havalandırma ünitesi
4. Son çöktürme ünitesi
5. Geri devir terfi ünitesi
6. Fazla çamur terfi ünitesi
7. Basınçlı hava ile yüzdürme ünitesi
8. Çamur depolama ünitesi
9. Çamur kurutma ünitesi
10. Süzüntü suyu terfi ünitesi



Şekil 3.1 ISKİ Paşaköy Anksu Arıtma Tesisi Akım Şeması

3.1 Ön Arıtma Ünitesi

Ön arıtmada, tesise gelen atıksular iri madde ve kumlarından ayrılırlar. Kum ve benzeri maddeler boruların tıkanmasına yol açarlar. Benzer şekilde pompa borularını ve pompanın içini doldurarak veya çürütücüye ulaşınca çürütücünün faydalı çamur hacmini azaltırlar. Ön arıtma ünitesinin amacı, atıksu arıtma tesisindeki mekanik aksamın korunması, arıtma tesisindeki ekipmanlarda fiziksel hasarların oluşmaması ve arıtma veriminin artırılmasıdır [18].

3.1.1 Mekanik Yapı

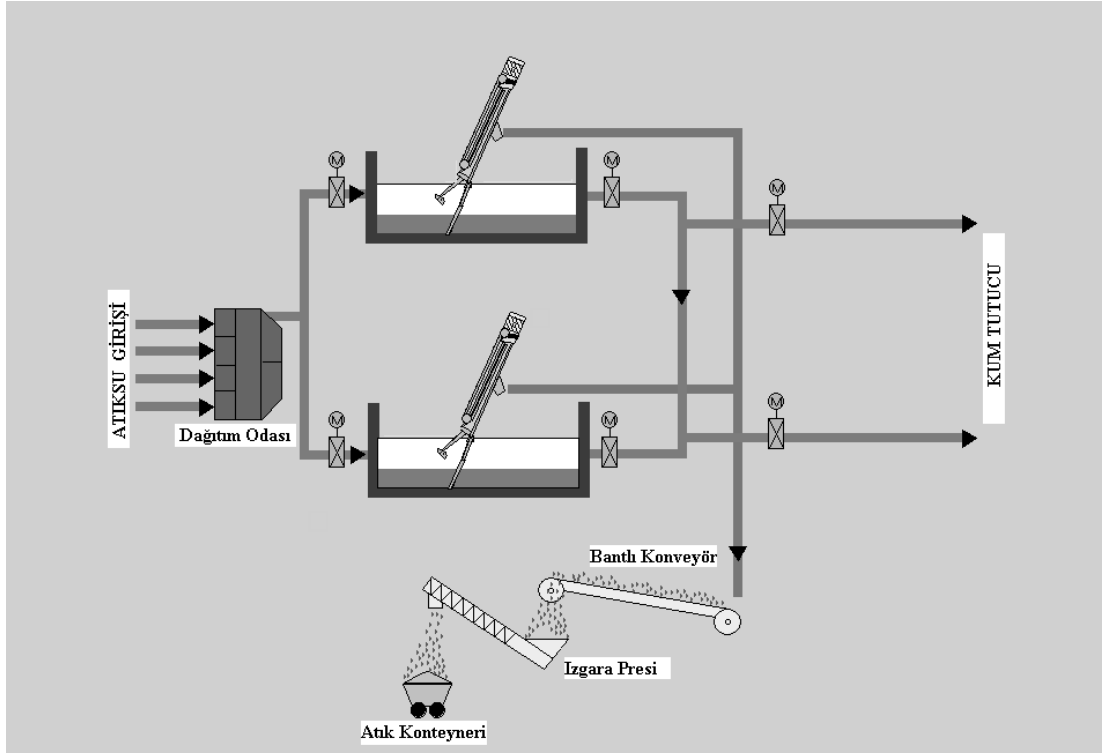
Ön arıtmada bulunan ekipmanların tesis akış sırasına uygun dizilişi aşağıda verilmiştir.

1. Mekanik Izgara
2. Bantlı Konveyör
3. Izgara atıkları presi
4. Kum tutucu gezer köprü
5. Kum tutucu blowerleri
6. Motorlu vanalar
7. Kum pompaları
8. Köpük pompası
9. Burgulu konveyör

3.1.2 Çalışma İlkesi

Tesisin girişine gelen atıksu, çubuk aralığı 10 mm olan mekanik temizlemeli ince ızgaradan geçer. Otomatik olarak çalışan iki paralel hattın oluşan ince ızgaralarda toplanan atıklar, bantlı konveyörle ızgara atıkları presine iletilmektedir. Buradan da

konteynere alınarak uzaklaştırılmaktadır. İnce ızgaralardan geçen atıksu, kum tutucu yapısına girmektedir [18].



Şekil 3.2 Mekanik Izgaranın Yapısı

Bu tesiste havalandırmalı kum tutucu bulunmaktadır. Havalandırmalı kum tutucularda kısa bekletme sürelerinde kendi ağırlığıyla çökebilen kum gibi katı maddeler uzaklaştırılır. Kum tutucu bölümü 2 paralel hat olarak 10m genişliğinde dikdörtgen planlı bir havuz ve havuz üzerinde doğrusal hareket eden bir sıyrıcı köprüden oluşmaktadır [18].

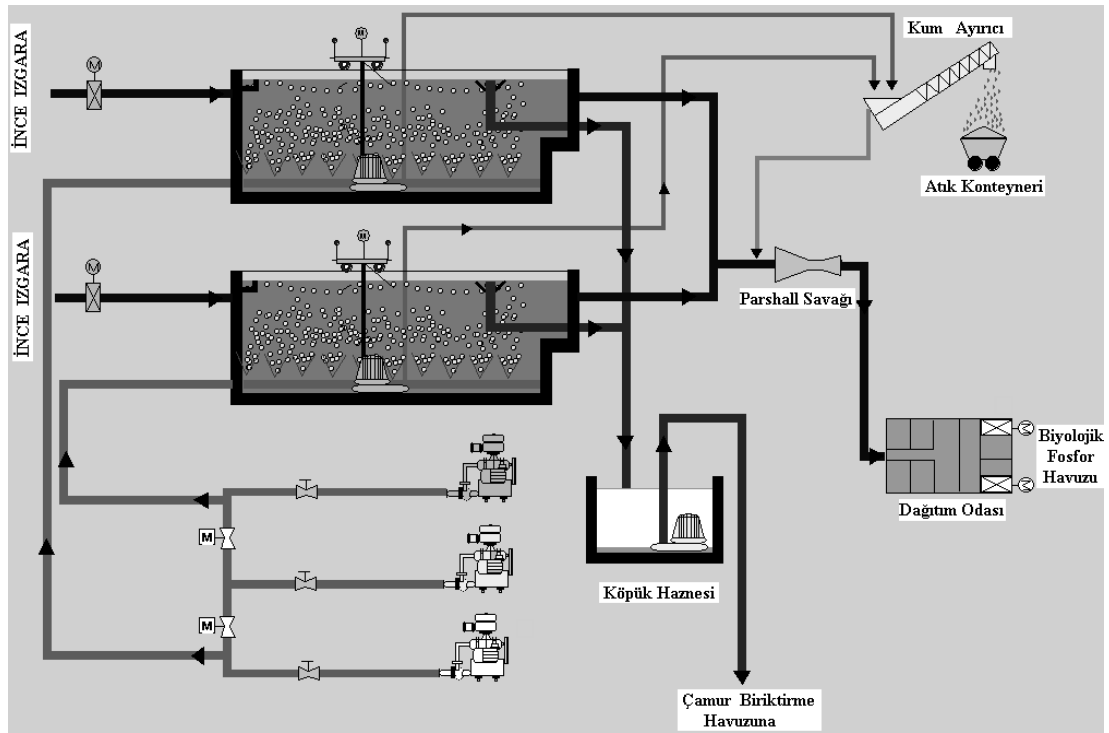
Kum tutucular, ince kabarcıklı difüzörlerle donatılmıştır. Kum tutuculara hava blowerlerden sağlanmaktadır. Atıksuyun içindeki organik maddelerin çökmesini önlemek için bloverlerden atıksuya hava basılmaktadır.

Kum tutucu üzerinde bulunan kumun biriktiği kanalı tarayan dalgıç kum pompaları bulunmaktadır. Bu pompalar dipte biriken kumu, köprü hareket halindeyken havuzun yanında bulunan kum kanalına oradan da kum ayırıcıya basmaktadır. Kum ayırıcı ise haznesine gelip çöken kum-su karışımını bir burgulu konveyörle ile birbirinden

ayırmakta, kumu konteynere iletmekte, su ise taşarak kum tutucuya geri dönmektedir [18].

Kum tutucu köprü üzerinde bulunan yüzey sıyrıcıları havuzun dış tarafında bir perde ile sakınleştirilmiş kısımda yüzeyde bulunan yağ ve köpüğü sıyrarak bir köpük hunisine aktarmaktadır. Buradan da yanda bulunan bir röğara aktarılarak bir dalgıç pompa ile çamur depolama havuzuna gönderilmektedir.

Ön arıtmadan geçen atıksular, debisini ölçüp kaydeden Parshall savağından geçerek biyolojik arıtma ünitesine girer. Ölçülen debi, tesiste çalışacak ekipmanların kapasitesinin ayarlanması için kullanılmaktadır [18].



Şekil 3.3 Kum Tutucunun Yapısı

3.2 Biyolojik Fosfor Giderme Ünitesi

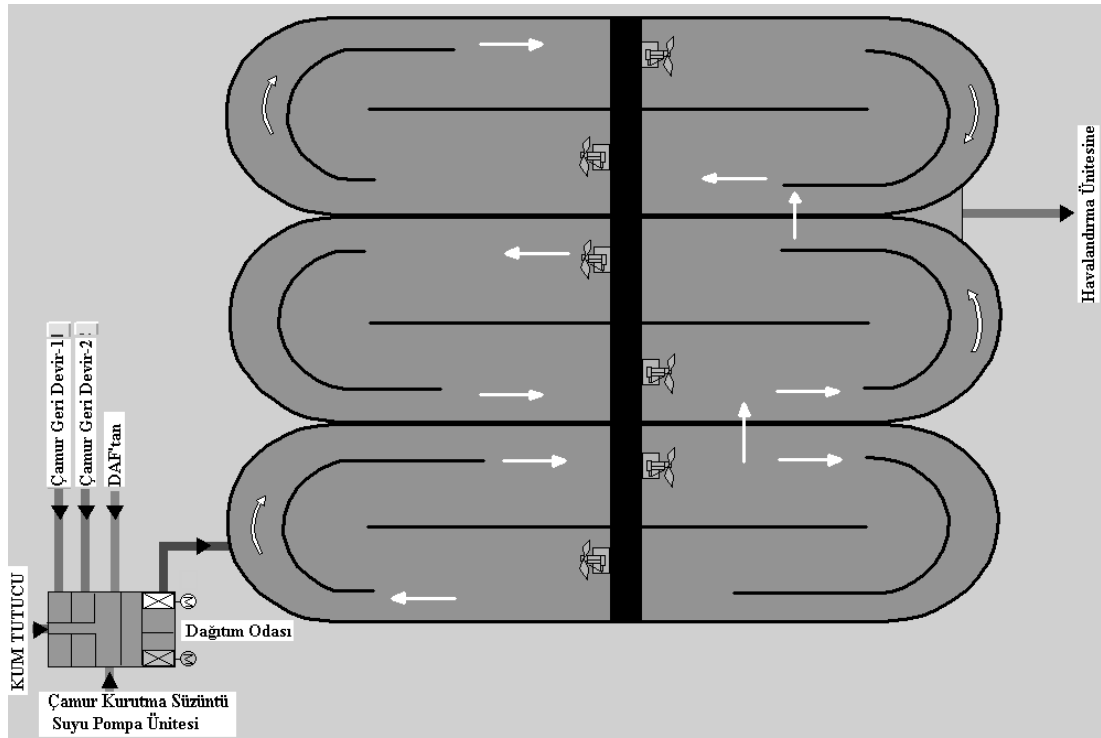
Biyolojik fosfor giderme ünitesinde atıksudaki mikroorganizmaların yapılarındaki fosforu suya bırakmaları gerçekleşir.

3.2.1 Mekanik Yapı

Biyolojik fosfor giderme ünitesinde her havuzda muz tipi 2 yavaş karıştırıcı kullanılmaktadır.

3.2.2 Çalışma İlkesi

Ön arıtmadan geçen atıksu, geri devir çamuruyla karışarak biyolojik fosfor giderme ünitesine girer. Bu ünite 3 havuz seri olarak çalışmakta ve havuzların toplam hacmi 8800 m³'tür. AKM, her havuzda bulunan 2 muz tipi karıştırıcı ile askıda tutulmaktadır. Biyolojik fosfor giderme ünitesi; biyolojik arıtmada anaerobik (havasız) ortam şartları sağlamaktadır. Bu havuzlarda mikroorganizma bünyesinde bulunan fosforun daha sonra havalandırma havuzlarında (çok daha fazlasını almak üzere) salınması yani suya verilmesi işlemi gerçekleştirilmektedir [18].



Şekil 3.4 Biyolojik Fosfor Giderme Ünitesinin Yapısı

3.3 Havalandırma Havuzları

Havalandırma havuzlarında nitrifikasyon ve denitrifikasyon prosesleri gerçekleştirilir. Proses havuzları olarak da adlandırılan bu ünite, toplam hacmi 40.000 m³ olan seri olarak çalışan 4 havuzdan oluşmaktadır. Havuzlar arasındaki geçişler ve birleşim kanalı, havuzların farklı biçimlerde işletilmesine imkan vermektedir. Her havuzun tabanına havalandırma için ince kabarcıklı seramik difüzörler yerleştirilmiştir. Normal çalışma şartları altında; 1. havuz havalandırmaz (anoksik), 2. havuz yaz aylarında denitrifikasyon hızı arttığı için havalandırmaz, kış aylarında havalandırılmalı (aerobik), 3. ve 4. havuzlar ise havalandırılmalı olarak çalışmaktadır [18].

Havalandırma havuzlarında mikroorganizmalar, hayati faaliyetlerini sürdürmek için, atıksuda çözünmüş halde bulunan organik maddeleri tüketerek bünyelerine alırlar. Havalandırmaz havuzlarda; mikroorganizmaların nitrati azot gazına dönüştürdükleri denitrifikasyon prosesi, havalandırma havuzlarında; amonyağın nitrata dönüştürüldüğü nitrifikasyon prosesi, BOİ₅ ve biyolojik fosfor giderimi gerçekleştirilir [18].

3.3.1 Mekanik Yapı

Havalandırma havuzlarında aşağıdaki mekanik ekipmanlar kullanılmıştır.

1. Blowerler
2. Motorlu vanalar
3. Resirkülasyon pompaları
4. Dalgıç karıştırıcılar

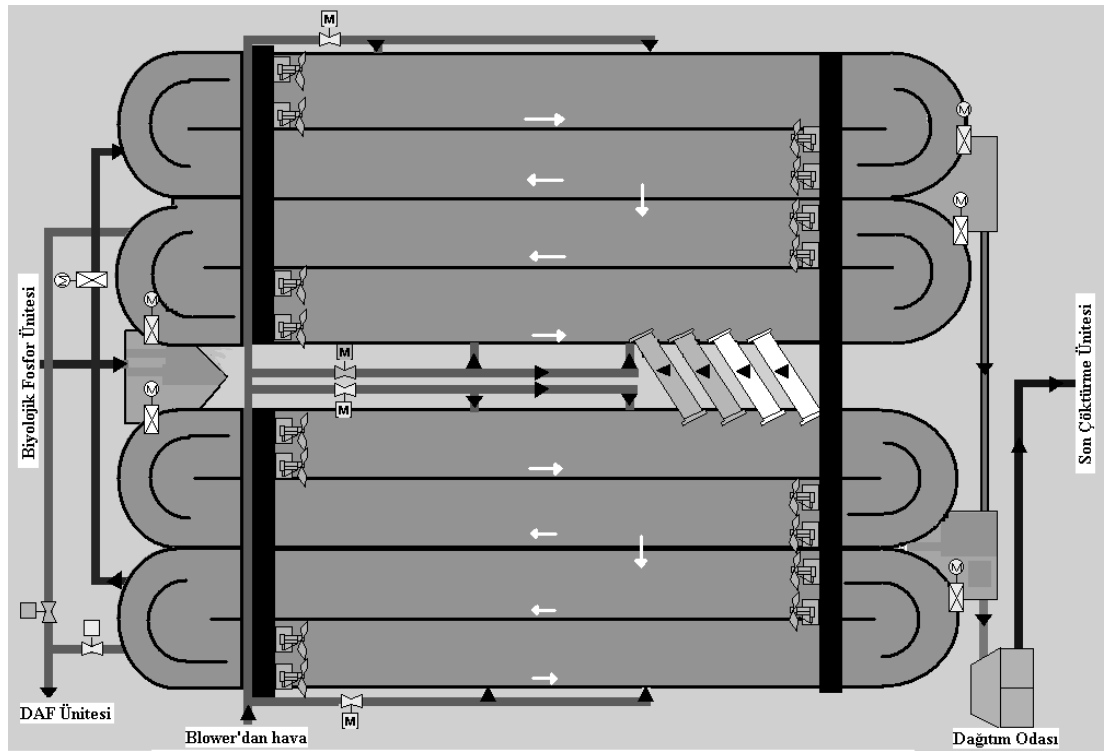
3.3.2 Çalışma İlkesi

Havalandırma havuzlarına atıksu girişi anoksik havuz olan 1. havuzdan yapılmaktadır. Anoksik kısımda gerçekleşecek olan denitrifikasyon için 4. havuzdan 1. havuza iç geri devri sağlamak üzere 4 adet resirkülasyon pompası bulunmaktadır.

Havalandırma havuzlarında difüzörlere hava blowerlerden sağlanmaktadır. Her havuza verilecek hava miktarı motorlu kelebek vana ile ayarlanarak, havuzdaki çözünmüş oksijen seviyesi önceden belirlenmiş seviyede tutulmaktadır [18].

Her havuzda AKM'nin çökmesini önlemek, hava kabarcıklarının yolunu uzatarak havalandırma verimini artırmak ve homojen karışım sağlamak üzere muz tipi dalgıç karıştırıcılar kullanılmaktadır [18].

Havalandırma havuzlarında oluşan fazla çamur, biyolojik fosfor giderimi nedeniyle 2. ve 4. aerobik havuzlardan alınmaktadır. Çünkü aerobik ortamda mikroorganizmalar, çok miktarda fosforu bünyelerinde tutacaklar ve anaerobik şartlara maruz kalmadıkça bırakmayacaklardır [18].



Şekil 3.5 Havalandırma Havuzlarının Yapısı

3.4 Son Çöktürme Havuzları

Havalandırma havuzlarından sonra atıksu, her biri 4500 m³ hacme sahip 4 adet 42 m çapında ve 3.2 m derinliğinde dairesel çöktürme havuzuna verilir. Havalandırma

havuzlarında mikroorganizmaların bünyelerine alınan kirletici maddelerin sudan ayrılması işlemi, son çöktürme havuzlarında gerçekleştirilir. Bu üniteden geçen atıksu arıtılmış olarak deşarj edilir [18].

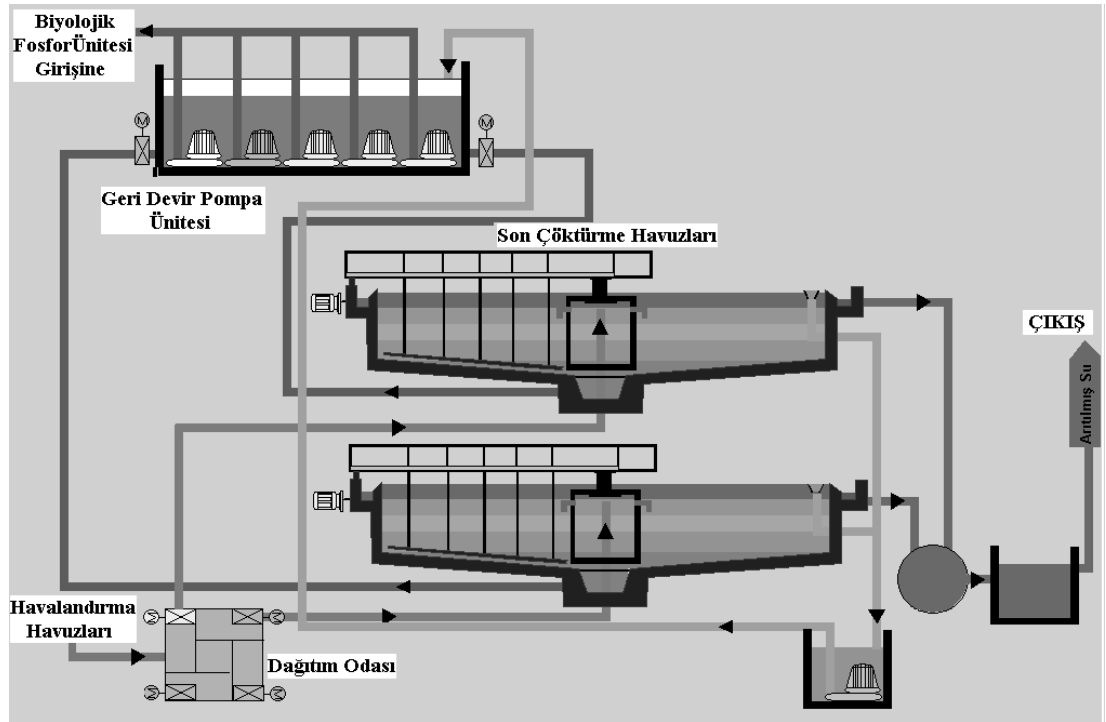
3.4.1 Mekanik Yapı

Son çöktürme havuzlarında aşağıdaki ekipmanlar kullanılmıştır.

1. Döner köprülü sıyrıcılar
2. Köpük pompaları

3.4.2 Çalışma İlkesi

Son çöktürme havuzlarındaki döner yarım köprüler sürekli çalışmaktadır. Köprüye bağlı dip sıyrıcılar çöken çamuru ortadaki çamur toplama konisine taşır. Çöken çamur, ortadaki çamur toplama konisinden geri devir terfi merkezine cazibeyle alınarak biyolojik fosfor ünitesi girişine geri devredilmektedir [18].



Şekil 3.6 Son Çöktürme Ünitesinin Yapısı

Döner yarım köprüler üzerindeki yüzey sıyrıcılar, yüzeyde biriken köpüğü, köpük toplama haznesine taşımakta ve köpük buradan bir dalgıç pompa vasıtasıyla geri devir terfi merkezine basılmaktadır. Arıtılmış su çift savaklı çıkış savaklarından geçerken, döner yarım köprü üzerindeki tahrikli bir fırça kanalın temizlenmesini sağlamaktadır [18].

3.5 Geri Devir Terfi Ünitesi

İki adet son çöktürme havuzu için bir tane olmak üzere 2 geri devir terfi merkezi yapılmıştır. Son çöktürme havuzlarından gelen çamur ve köpük biyolojik fosfor giderme ünitesi girişine gönderilmek üzere geri devir terfi merkezinde toplanır [18].

3.5.1 Mekanik Yapı

Geri devir terfi ünitesinde aşağıdaki ekipmanlar kullanılmıştır.

1. Geri dönüş pompaları
2. Drenaj pompaları

3.5.2 Çalışma İlkesi

Son çöktürme havuzundan,geri devir ünitesine gelen çamur ve köpük biyolojik fosfor ünitesine 8'i asıl 2'si yedek 10 dalgıç pompa ile geri devredilmektedir. Her terfi merkezi için 5 adet dalgıç pompa bulunmaktadır [18].

3.6 Fazla Çamur Terfi Ünitesi

Havalandırma havuzlarında oluşan fazla çamur, fazla çamur terfi ünitesi tarafından çekilir. Çekilen fazla çamur çözünmüş hava ile yüzdürme havuzuna gönderilir [18].

3.6.1 Mekanik Yapısı

Fazla çamur terfi ünitesinde kuru tip pompa kullanılmıştır.

3.6.2 Çalışma İlkesi

Havalandırma havuzunun 2 ve 4. kanallarından proses gereği fazla çamur 2'si asıl 1'i yedek olmak üzere 3 adet kuru tip pompa tarafından çekilerek fazla çamur terfi ünitesinde toplanır [18].

3.7 Çözünmüş Hava ile Yüzdürme Üniteleri

Havalandırma havuzunda çoğalan fazla mikroorganizmalar, sistemin kararlı halde çalışması için uzaklaştırılır. İşlemin esası, çözünmüş hava ile yüzdürme havuzuna alınan fazla çamurun, basınçlandırma tankından geçirilerek, tekrar havuza verilmesi ve böylece hava kabarcıklarına tutunan yoğun çamur yumaklarının yüzeyden sıyrılması, alt suyun tekrar tesise alınmasıdır. Fazla çamur, çözünmüş hava ile yüzdürme ünitesinde yoğunlaştırılarak, çamur depolama havuzuna verilmekte, alt fazda bulunan su biyolojik fosfor giderme ünitesinin girişine devredilmektedir. Çözünmüş hava ile yüzdürme ünitesi çamuru oksijenli bir ortamda tutup, bakterilerin anaerobik ortamda fosfor bırakmasını önler [18].

3.7.1 Mekanik Yapı

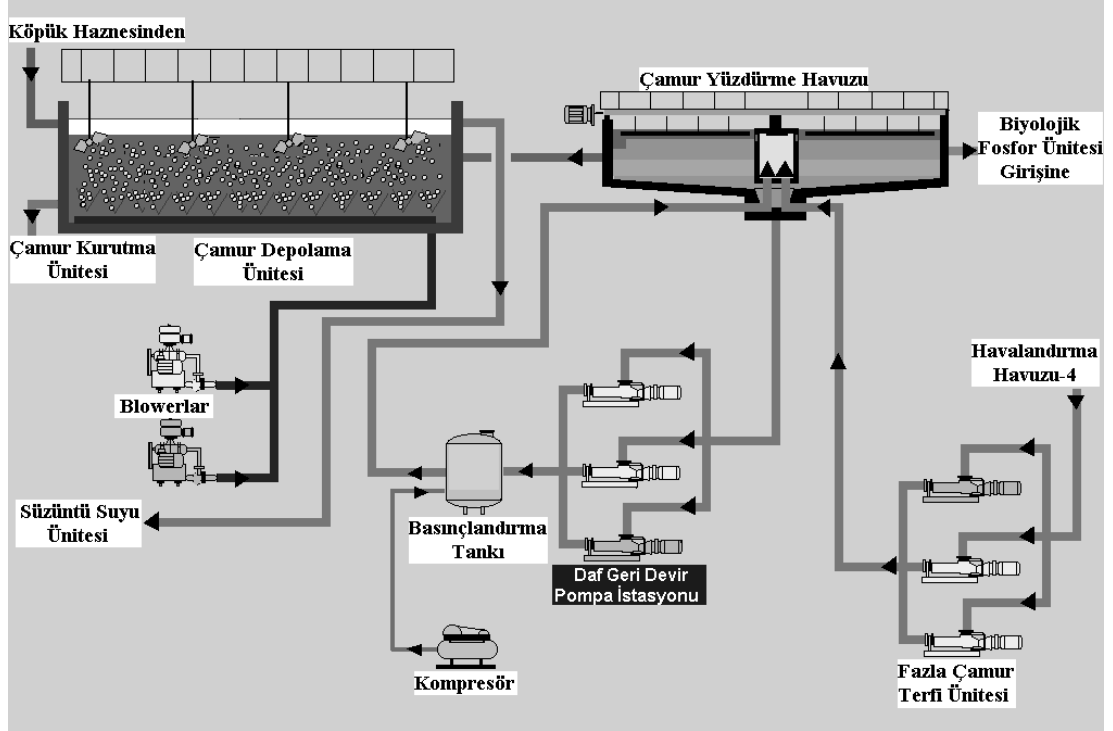
Çözünmüş hava ile yüzdürme ünitesinde aşağıdaki ekipmanlar kullanılmıştır.

1. Döner köprülü sıyrıcı
2. Geri dönüş pompaları
3. Kompresör

3.7.2 Çalışma İlkesi

Fazla çamur terfi merkezinden gelen çamur, çözünmüş hava ile yüzdürme havuzuna alınmakta ve buradan da 2'si asıl 1'i yedek 3 adet kuru tip pompa tarafından basınçlı hava çözündürme tankına basılmaktadır. Çamurun girdiği basınçlı tanka iki kompresörle hava basılmakta ve içinde hava çözündürülmüş çamur, çözünmüş hava ile yüzdürme havuzuna geri devrettirilir. Burada hava kabarcıklarına tutunan

çamurun yüzeye taşınması sağlanmaktadır. Havuz üzerindeki sıyrıcı bir köprü, yüzeyde biriken çamuru sıyrarak, %3'lük çamur olarak, çamur depolama havuzuna göndermektedir. Çözünmüş hava ile yüzdürme havuzu; 16 m çapında, üzerinde döner köprülü yüzey sıyrıcısı bulunan 600 m³ hacminde dairesel bir havuzdur [18].



Şekil 3.7 Çözünmüş Hava İle Yüzdürme Ünitesinin Yapısı

3.8 Çamur Depolama Ünitesi

Çözünmüş hava ile yüzdürme ünitesinden alınan yoğun çamur kendi ağırlığıyla bir çamur depolama havuzuna gelmektedir. Çamurun anaerobik şartlara maruz kalmaması için havuzun tabanına seramik difüzörler yerleştirilmiştir. Proses gereği atık çamur, susuzlaştırılana kadar aerobik ortamda bulunmalıdır. Aksi takdirde bakteriler, bünyelerine aldıkları fosforu tekrar suya bırakabilirler. Ayrıca kum tutucu kanalında yüzeyde biriken köpükte çamur depolama havuzuna gönderilir [18].

3.8.1 Mekanik Yapı

Çamur depolama havuzunda aşağıdaki ekipmanlar kullanılmıştır.

1. Karıştırıcılar

2. Blowerler

3.8.2 Çalışma İlkesi

Çözünmüş hava ile yüzdürme ünitesinden gelen çamur, çamur depolama havuzunda homojenliğini koruması için 4 dalgıç tip yavaş karıştırıcıyla sürekli karıştırılır. Difüzörlere hava, çamur susuzlaştırma binasında bulunan 1'i yedek 2 adet blowerden temin edilmektedir. Çamur depolama havuzunda depolanan çamur, çamur kurutma ünitesinden çekilmektedir [18].

3.9 Çamur Kurutma Ünitesi

Çamur depolama havuzundaki çamur, çamur kurutma ünitesi tarafından yoğunlaştırılarak çamur keki olarak tesisten uzaklaştırılır. Yoğunlaştırma işlemi için santrifüjler kullanılır. Santrifüjlerin verimini artırmak için çamura polielektrolit ilave edilmektedir [18].

3.9.1 Mekanik Yapı

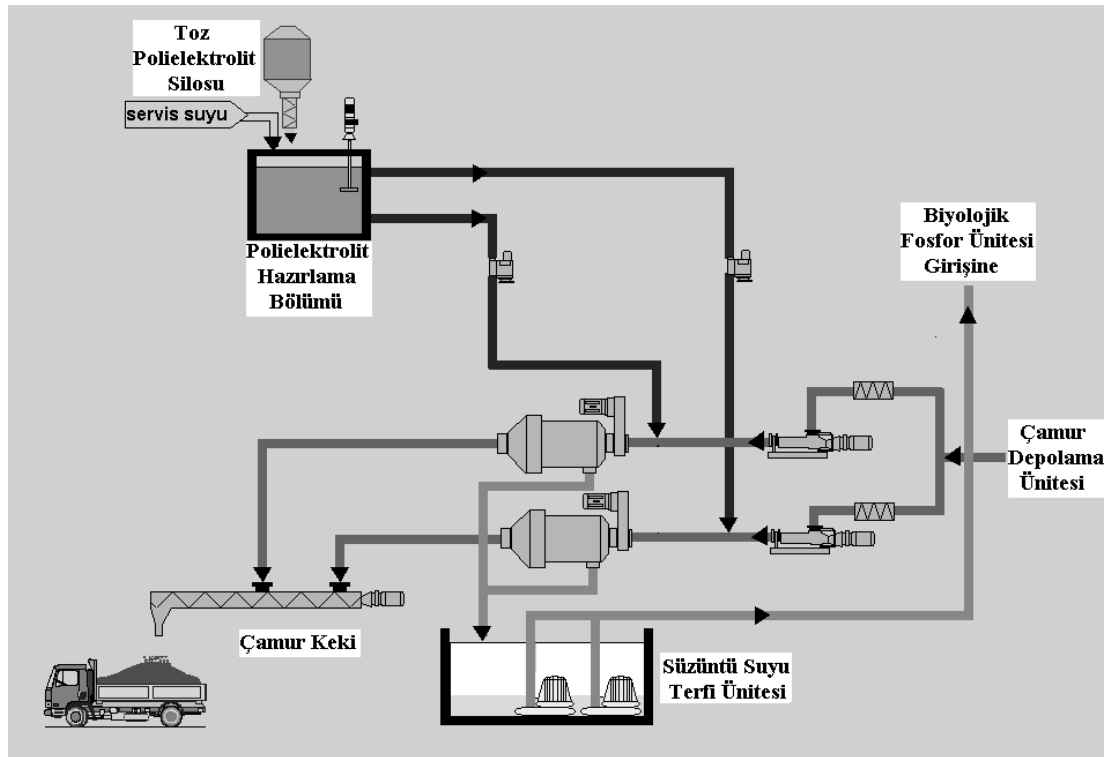
Çamur kurutma ünitesinde aşağıdaki mekanik ekipmanlar kullanılmaktadır.

1. Çamur besleme pompaları
2. Çamur parçalayıcı
3. Polielektrolit besleme pompaları
4. Çamur çıkış pompası
5. Polielektrolit hazırlama ünitesi
6. Santrifüjler
7. Polielektrolit ring pompası

8. Sıvı polielektrolit besleme pompası

3.9.2 Çalışma İlkesi

Çamur depolama havuzundaki çamur, çamur kurutma ünitesinde bulunan çamur besleme pompaları tarafından çekilerek, homojenliği sağlayan bir parçalayıcıdan geçirilip, santrifüjlere iletilmektedir. Polielektrolit hazırlama ünitesinde hazırlanan su-polielektrolit karışımı, çamurun yumaklaşmasını sağlamak üzere santrifüjlere verilmektedir. Santrifüjlerde suyu giderilen çamur, santrifüjlerin altında bulunan çamur çıkış pompaları tarafından bina dışında bulunan bir siloya basılmaktadır. Silodan kamyonlara yüklenen çamur tesisten uzaklaştırılır. Santrifüjlerden çıkan su ise süzöntü suyu terfi ünitesine gönderilir [18].



Şekil 3.8 Çamur Kurutma Ünitesinin Yapısı

3.10 Süzöntü Suyu Terfi Ünitesi

Çamur kurutma ünitesinde santrifüjlerde çamurdan giderilen suyun toplandığı ünite dir.

3.10.1 Mekanik Yapı

Süzüntü suyu terfi ünitesinde dalgıç pompa kullanılmıştır.

3.10.2 Çalışma İlkesi

Çamur kurutma ünitesinden gelen süzüntü suyu, biyolojik fosfor giderme ünitesi girişine, 2 dalgıç pompa ile geri basılarak tekrar sisteme verilir [18].

4. TESİSTE KULLANILAN EKİPMANLAR

4.1 Mekanik İzgara

Atıksu arıtma tesisinin girişinde 2 ince mekanik ızgara birbirine paralel 2 kanal üzerinde bulunmaktadır. Bu ızgaraların çubuk aralığı 10 mm dir. Boşaltma şutuna uygun olarak dönüş anında atıkları deşarj ederlerken kendi kendilerini temizlerler.

4.1.1 Yapısı

Mekanik ızgara tahrik grubu, sabit ızgara, sıyrıcı tarak, karşı sıyrıcı bölümlerinden oluşmaktadır.

Tahrik grubu ızgara tarağını harekete geçirmek üzere gövde üzerine monte edilmiştir. Motor, redüktör ve redüktör çıkış miline monteli zincir dişliden oluşmaktadır. Redüktörden, tarağa hareket zincir dişli ve zincir mekanizmasıyla aktarılmaktadır [19].

Sabit ızgaralar gövdeye kaynakla bağlanmıştır. Formları dikdörtgen kesitli olup sıyrıcı tırnağın takılmayacağı şekilde tasarlanmıştır.

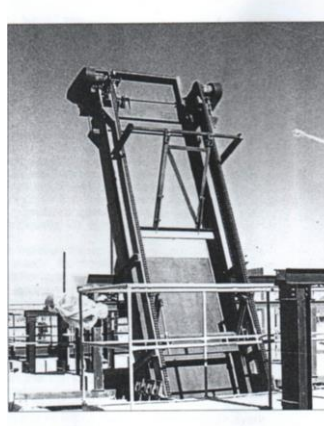
Redüktör motor grubundan alınan dairesel hareket zincir dişliler vasıtasıyla zincire monte edilmiş olan tarağa iletilir. Konstrüksiyon gereği tarak doğrusal harekete geçer ve sabit ızgaraya takılan pislikleri uzaklaştırmaya başlar.

Karşı sıyrıcı, ızgara tırnağı tarafından süpürülen maddelerin çöp toplama kabına dökülmesini sağlamak üzere tarağı ızgaradan kurtulduğu anda sıyrıcı kısımdır. Karşı sıyrıcıda bulunan lastik hasarsız bir sıyrma işlemi sağlar.

Temizleme tarağı bir zincir tarafından tahrik edilir. Hareket devamlıdır. Karşı temizleme ızgara tarağının yukarı geldiği anda bir karşı sıyrıcı tarafından, tam dönme anında, otomatik olarak yapılır. Karşı sıyrıcının özel dizaynı sayesinde tahriğe ihtiyaç duyulmamaktadır [19].

Mekanik ızgaranın sürekli çalışmasına gerek yoktur. Seviye kontrollü ve periyodik olarak çalıştırılır. Hem giriş hem çıkış kotları bir sensör aracılığı ile kontrol edilir.

Izgara giriş ve çıkış tarafındaki seviyelerin farkı belli bir üst sınırı aştığında ızgara temizleme mekanizması harekete geçer. Belli bir süre içinde seviye farkı nedeniyle temizleme işlemi başlatılmaz ise bu kez temizlemenin başlaması için gerekli sürenin dolması nedeniyle işlem başlatılır [19].



Şekil 4.1 Mekanik Izgara

4.2 Bantlı Konveyör

Mekanik ızgaralardan alınan katı atıkları ızgara presine taşıyan makinedir.

4.2.1 Yapısı

Bantlı konveyör tahrik grubu, bant, taşıyıcı makara, dönüş ruloları, tahrik ve gergi tamburu, sıyrıcı mekanizması ve yönlendiriciden oluşmaktadır.

Izgara atıklarını uzaklaştıracak olan konveyör, ızgaralarla beraber çalışır. Izzaralardan herhangi biri çalışıp durduktan sonra, konveyörün çalışması yaklaşık 30 saniye kadar daha devam eder [19].

4.3 Izgara Presi

Izgaralardan alınan katı atıklar konveyörle su giderme işleminin yapıldığı ızgara presine taşınır.

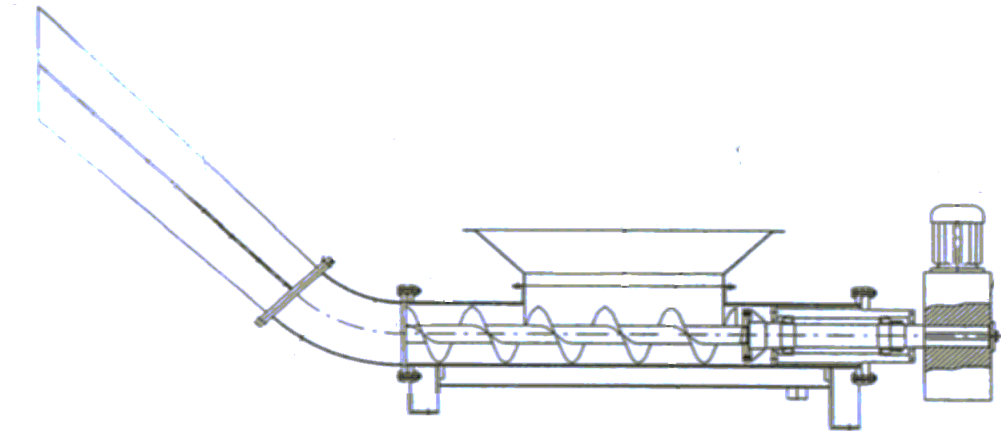
Izgara presi tahrik grubu, sıkıştırma vidası, yükleme teknesi, sıkıştırma borusundan oluşur.

Sıkıştırma vidasına hareketi veren motor ve redüktör tahrik grubudur. Tahrik grubu kapalı kutu tip olup, yağlama çırpması ile kendi içinde sağlanmaktadır [19].

Sıkıştırma vidası susuzlaştırmayı sağlayan elemandır. Atıkları sıkıştırma borusuna doğru hareket ettirerek sıkıştırır. Tüm aksiyel ve radyal yükler vidanın yataklanması tarafından karşılanır. Sıkıştırma borusunun yapısından dolayı atıklar içindeki suları bırakırken aynı zamanda hareket de ederler. Hareket boru içinde bitince atıklar bir konteynere boşalır [19].

Atıkların vidaya yönlendirilmesi için yükleme teknesi yapılmıştır. Yükleme teknesinde V kesitli hazne mevcuttur. Atıklar ilk döküldüğü anda sularını gravite ile burada bırakır. Sıkılan atıkların süzülen sularında aynı haznedan dışarı çıkarılır [19].

Izgara preside ızgaralar çalışmaya başladığında otomatik olarak devreye girer ve bantlı konveyör durduktan bir süre sonra durur.



Şekil 4.2 Izgara Presi

4.4 Doğrusal Sıyırıcı Köprü

Doğrusal sıyırıcı köprü, kum tutma havuzunun üzerine monte edilmiştir. Havuzun dibine çöken kumun, yüzeyde biriken yağ ve köpüğün uzaklaştırılması için kullanılır.

4.4.1 Yapısı

Doğrusal sıyırıcı köprü, köprü, yürüyüş grubu, yüzey sıyırıcı, yürüme yolları ve kum pompalarından oluşmaktadır.

Yürüyüş platformu ve korkulukla donatılmış olan köprü, iki adeti tahrik olmak üzere 4 adet tekerlek tarafından taşınmaktadır. Yürüyüş tahrik grubu, motor redüktör, tahrik mili, tahrik mili yatağı, tekerlek ve tekerlek yatağından oluşur [19].

Havuz yüzeyinde biriken yağ ve köpük yüzey sıyrıcısı ile köpük hunisine aktarılır. Yüzey sıyrıcı sisteminde motor, redüktör, kaldırma tamburu ve palet bulunmaktadır.

Kum tutucuda biriken kum, köprünün üzerindeki kum pompaları ile kum ayırıcıya gönderilir.

Doğrusal sıyrıcılı köprü bir zaman sayıcı tarafından istenilen zaman aralığında çalışabilmektedir. Köprü devreye girdiğinde suyun akış yönünde harekete geçerken kum pompaları da otomatik olarak devreye girmektedir. Köprünün, suyun aksi yönüne hareketinde ise sıyrıcılar otomatik olarak harekete geçmekte ve su yüzünü sıyrarak köpük hunisine aktarmaktadır. Ayrıca dönüş yönünde kum pompaları otomatik olarak faaliyeti durdurmaktadır. Varış noktasında ise sıyrıcılar otomatik olarak yukarı çekilmekte ve ayarlanabilen bir bekleme süresi başlamaktadır [19].

4.5 Döner Köprülü Sıyrıcı

Son çöktürme havuzunda yarım döner köprülü sıyrıcılar kullanılır. Döner köprülü sıyrıcılar havuzlarda çöken katı malzemeyi, merkezde bulunan emiş haznesine iletmekte kullanılır, aynı zamanda yüzeyde biriken atıklarda bir hazneye iletilir. DAF havuzunda ise tam döner köprülü sıyrıcı kullanılır.

4.5.1 Yapısı

Döner köprülü sıyrıcı merkez yapısı, döner köprü, tahrik grubu, oynak köpük sıyrıcıdan oluşur. Son çöktürme havuzlarında kullanılan köprülerde bunlara ilaveten sabit köpük sıyrıcı, sıyrıcı paletler vardır.

Döner köprülü sıyrıcının merkez yapısı yatak grubu ve kollektör gibi iki ayrı gruptan oluşmaktadır. Sıyrıcı, dairesel hareketini yatak grubu üzerinden tamamlar. Kollektör grubu, sabit diskler ve dönen fırçalar yardımıyla köprü ucundaki tahrik grubuna gerekli enerji iletecek bir yapıya sahiptir [19].

Yürüyüş platformu ve korkuluklarıyla donatılmış olan döner köprü, bir ucundan aksenal yatak, diğer ucundan tahrik tekerleği tarafından taşınmaktadır. Oynak ve sabit köpük sıyrma sistemini, çamur sıyrıcı paletleri ve tahrik grubunu üzerinde

taşıır. Döner köprünün hareketini elektrik motoru ve buna bağılı redüktör tahrik grubu sağlar [19].

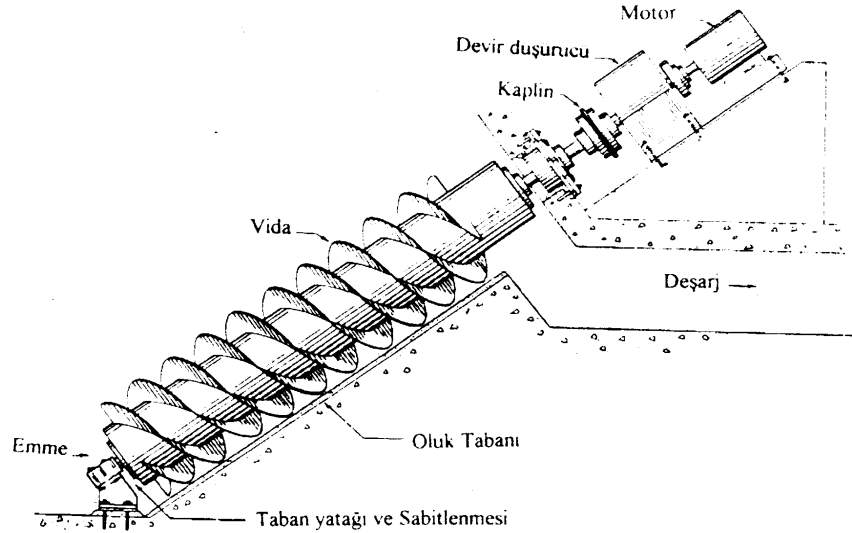
Havuz yüzeyinde oluşabilecek köpükleri, yüzen yabancı maddeleri havuz kenarlarına doğru hareketlendirerek orada toplanmalarını sabit köpük sıyrıcı sağlar. Oynak köpük sıyrıcı ise havuz kenarlarına taşınmış olan köpüklerin huni içinde toplanmasını sağlar. Köpük hunisi havuz dışına atılacak köpüğün çıkış borusuna ulaşmasını sağlar.

Havuz tabanının konik yapısına göre formlandırılmış olan sıyrıcı paletler havuzların tabanlarına çöken çamurun merkeze yönlendirilmesini sağlar.

Döner köprüler proses gereğı sürekli çok yavaş olarak 2-2,5 m/d hızla dönerler.

4.6 Kum Ayırıcı

Kum tutucudan dalgıç pompalarla çekilen kum-su karışımı, kum ayırıcıya gelmektedir. Kum ayırıcı ise haznesine gelip çöken kumu bir burgulu helezon ile konteynere iletmekte su ise taşarak kum ayırıcıya geri dönmektedir.



Şekil 4.3 Kum Ayırıcının Yapısı

4.6.1 Yapısı

Kum ayırıcı tahrik grubu, helezon ve gövdeden oluşmaktadır. Tahrik grubu, motor, redüktör ve tahrik milinden oluşmaktadır. Motor redüktör konveyör gövdesine

monte edilmiştir. Helezon kum ayırıcıda tahrik edilen tek parçadır. Haznede biriken kumun konteynere gönderilmesini sağlar [19].

Kum ayırıcı ayarlanabilir bir zaman aralığında otomatik olarak çalışır.

4.6.2 Kum Ayırıcı Motor Gücü Hesabı

Kum ayırıcının hacimsel kapasitesi formülü:

$$I_V = 60 \cdot \pi \cdot D^2 \cdot h \cdot n \cdot \varphi \cdot k / 4 \quad (4.6.1)$$

I_V : Hacimsel kapasite (m^3 / h)

D : Vida çapı (m)

h : Vida hatvesi (m)

n : Vida devri (d / d)

φ : Dolma derecesi

k : Eğim katsayısı

Ağırlık kapasitesi formülü:

$$I_g = I_V \cdot \gamma \quad (4.6.2)$$

I_g : Ağırlık kapasitesi (ton / h)

I_V : Hacimsel kapasite (m^3 / h)

γ : Kum yoğunluğu (ton / m^3)

Gerekli tahrik gücü formülü:

$$P = I_g (L \cdot f + \sin \delta \cdot L) / 367 \cdot \eta \quad (4.6.3)$$

P : Gerekli tahrik gücü (kW)

I_g : Ağırlık kapasitesi (ton / h)

L : Taşıma boyu (m)

f : Kayıp katsayısı

η : Toplam verim

4.7 Blowerler

Atıksu arıtma tesislerinde blowerler kum tutucuda organik maddelerin çökmesini önlemek, havalandırma havuzlarında ve çamur depolama havuzunda proses gereği aerobik ortam şartlarının korunması için ortama basınçlı hava verirler. Pozitif yer değiştirmeli ve santrifüj tipli blowerler en yaygın kullanılan havalandırıcılardır.

4.7.1 Yapısı

Pozitif deplasmanlı blower, rotor veya lobun her dönüşü başına sabit bir hava verir. Blower çıkışındaki hava miktarı, motor hızını değiştirmek suretiyle azaltılıp çoğaltılabilir. Elektrik motorundan direkt kavrama veya kayış ile tahrik edilir. Sabit devirde sabit debide hava verirler. Pozitif deplasmanlı blowerler düşük devirde çalışır ve 570 m³/d'dan daha az hava verir [1].

Santrifüj blowerler yüksek devirde çalışır ve 570-4300 m/d arasında hava verebilirler. Santrifüj blowerler, dişlilerle motor hızının artırıldığı, değişken debili hava veren bir blower tipidir [1].

4.7.2 Blower Motor Gücü Hesabı

Blowerlerin güç hesabı aşağıdaki formül kullanılarak yapılabilir [6].

$$P = \frac{w.R.T_1}{29,7.n.\eta} \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{0,283} - 1 \right] \quad (4.7.1)$$

P : Herbir blowerin güç ihtiyacı (kW)

w : Ağırlıkça hava akısı (kg /sn)

R : Hava için gaz sabiti (8,314 kJ / kmol K⁰)

T₁ : Giriş hava sıcaklığı (K⁰)

P₁ : Giriş hava basıncı (atm)

P₂ : Çıkış hava basıncı (atm)

n : SI birimleri için dönüşüm katsayısı (0,283)

η : Verim (0,7-0,9 arsında değişir)

Hesaplar sıcak yaz günleri için yapılır.

4.8 Karıştırıcılar

Biyolojik fosfor giderme, havalandırma ve çamur depolama havuzlarında homojenliğin korunması, katı maddelerin askıda tutulması, atıksu içindeki gaz ve katıların eritilmesi, havalandırma verimini artırmak için dalgıç muz tipi karıştırıcılar kullanılmıştır.

4.8.1 Yapısı

Dalgıç karıştırıcılar sıvılar tamamen yalıtılmış bir yapıya sahiptir. Üç fazlı sincap kafesli asenkron motorla tahrik edilir. Pervanesi muz görünümlü 2 kanatlıdır. Tesiste kullanılan ağır devirli karıştırıcılar karıştırma işlemini en az enerji kullanarak (ekseriyetle $1W / m^3$ 'den daha az) yaparlar. Karıştırıcılar proses gereği sürekli çalıştırılır [18].

4.9 Pompalar

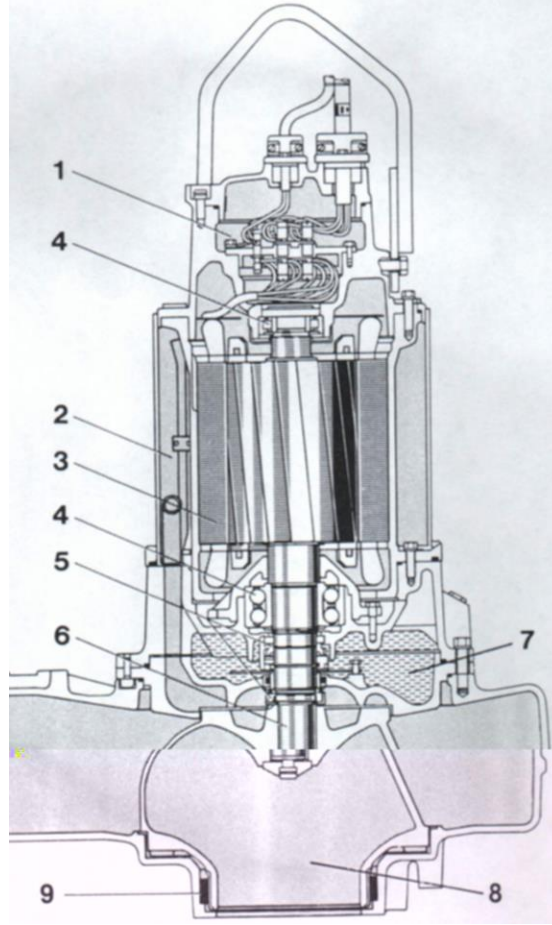
Atıksuların arıtılmasında kullanılan mekanik ekipmanların en önemlisi pompalardır. Atıksu arıtma tesislerinde genellikle santrifüj pompalar kullanılır. Köpük, drenaj, atıksu süzöntü ve dalgıç pompalar santrifüj yapıdaki pompalardır. Çamur pompaları genellikle burgulu deplasman pompalardır.

4.9.1 Santrifüj Pompalar

Santrifüj pompalar, sıvılara enerji verip belli bir hacimsel debiyi (Q), belli bir devir sayısında (n) çalışırken istenen bir manometrik yüksekliğe (H), belli bir verimle (η) basmak için kullanılır [4].

Santrifüj pompalar basit bir yapıya sahiptir. Pompa sabit bir kısım ve içinde dönen bir pervaneden ibarettir. Bu pervaneler rulmanlar üzerine oturan dönen bir mile bağlıdır. Şekilde görüldüğü gibi su, kanatlara orta gözden gelmekte ve kanatların savurma etkisi ile savrulmakta ve merkezkaç kuvveti tesiri ile deşarj olmaktadır.

Dalgıç pompalar santrifüj pompaların su altında dikey olarak çalışmasını sağlayan yapıdadır. Dalgıç motora özel bir kavrama ile akuple edilerek çalıştırılırlar. Dalgıç motorları, kısa devre çubuklu, su ile soğutmalı ve su ile yağlamalı motorlardır. Sargılar suya karşı tam olarak izole edilmiştir. Motorun alt bölümüne yerleştirilen bir diyafram ile motorun içindeki suyun hareketleri düzenlenmiş ve bu sayede yatakların sürekli su ile yağlanır konumda kalması sağlanmıştır.



1. Bağlantı kutusu, 2. Soğutma, 3. Motor, 4. Yataklar, 5. Mil contası, 6. Mil, 7. Yağ bölümü, 8. Pervane, 9. Aşınma halkaları

Şekil 4.4 Santrifüj Pompanın Yapısı

Santrifüj pompanın gücü, pompa milinin veya pompa kaplininin tahrik kısmından aldığı mekanik enerjidir. Aşağıdaki denklem ile hesaplanır [5].

$$P = \frac{\rho \cdot Q \cdot H}{367 \cdot \eta} \quad (4.9.1)$$

P: Pompanın gücü (kW)

ρ : Yoğunluk (kg/dm³)

Q: Debi (m³/h)

H: Basma yüksekliği (m)

η : Pompa verimi

Gerilim düşümüne, boru direnci vb. değerlerdeki sapmalara karşı güvenlik olarak motor gücü,

7,5 kW' a kadar %20

7,5 kW'dan 37 kW'a kadar %15

37 kW'dan sonrası %10

büyük seçilir.

4.9.2 Deplasman Pompalar

Bu pompalarda motora bağlı ve ona göre dönen bir rotor ile rotorun içinde döndüğü sabit bir stator bulunmaktadır. Rotor genellikle dayanıklı krom çeliğinden yapılmıştır. Stator ise genellikle sentetik lastik malzemedendir. Rotorun içindeki boşluklara kavities denir. Atıksular giriş vanasından geçince bu kavileri doldurur. Rotor döndükçe kavitilerdeki atıksu akış ucuna doğru hareket eder.

Rotor boyunca kavitelerin boyutları pompanı kapasitesini tarif eder. Bu pompalar özellikle yüksek yoğunluklu askıda madde içeren malzemenin nakli için kullanılır. Genellikle çamur iletilmesinde, kuru olarak kullanılır.

Deplasmanlı pompanın motor gücü, pompa performans eğrilerinden veya moment diyagramlarından belirlenir. Belirli basınç değerleri için moment, moment diyagramlarından okunur. P_w mil gücü aşağıdaki formül ile hesaplanır [5].

$$P_w = \frac{M.n}{9549}$$

P_w : Pompa milinin gücü (kW)

M: Moment

n: Nominal hız

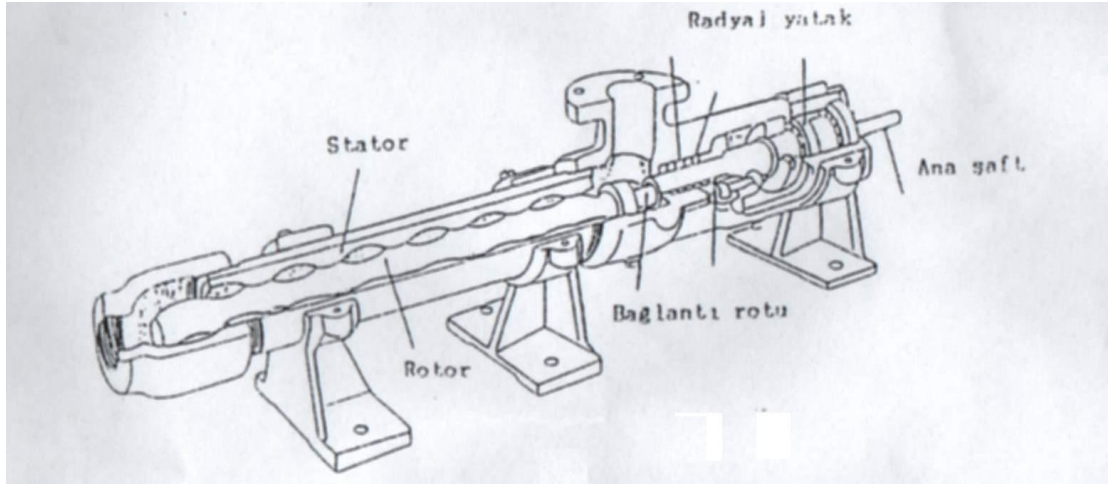
Motor gücü P_m , P_w mil gücünden hesaplanır.

$$P_m = P_w \cdot C_v \cdot C_w$$

C_v : Çalışılan ortamın akışkanlığı ve aşındırıcılığı için düzeltme faktörü

C_w : Dişli kutusu verimliliği için düzeltme faktörü

Hesaplanan motor gücünün bir üst motor değeri seçilir.



Şekil 4.5 Deplasman Pompanın Yapısı

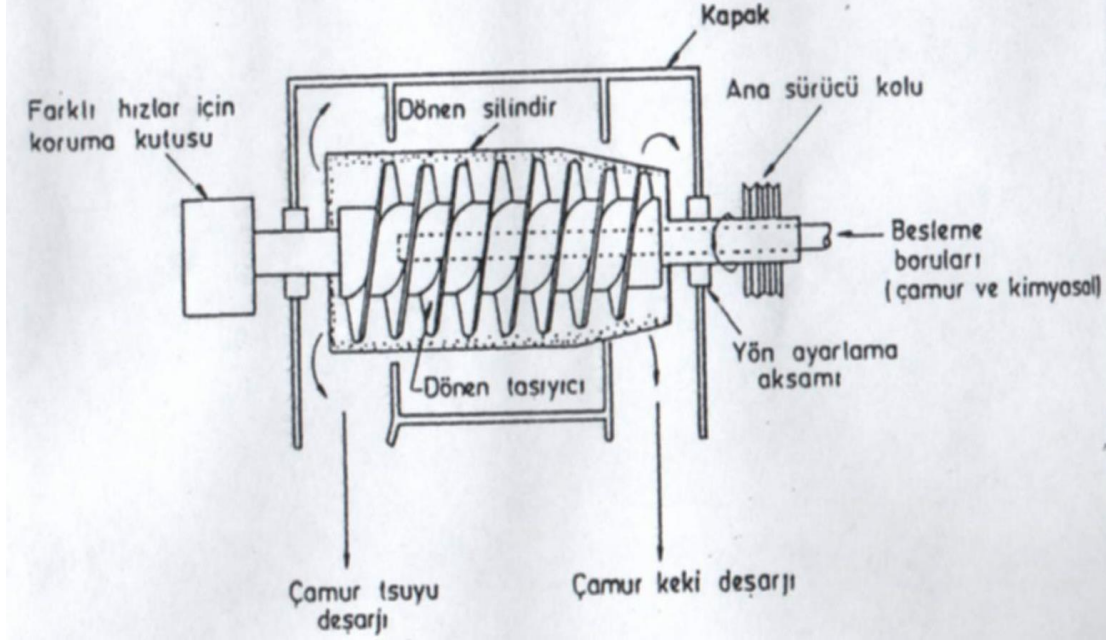
4.10 Santrifüjler

Atıksu arıtma tesislerinde santrifüjler, çamuru hem yoğunlaştırmak, hem de suyunu almak için kullanılırlar. Santrifüjleme ile yoğunlaştırma işleminde santrifüj kuvvetlerinin etkisi altında çamur partikülleri çökeltilir. Atıksu arıtma tesisinde kullanılan ve en gelişmiş santrifüjler, helezon küreyicili katı madde dekantör tipi santrifüjlerdir. Santrifüjlerin verimini artırmak amacıyla suyu alınacak çamura polielektrolitler ilave edilir.

4.10.2 Yapısı

Katı madde dekantör tipi santrifüjlerin işletilmeleri sürekli'dir. Normalde yatay olarak monte edilmiş, uzun bir silindirik tambur ile bu tamburun içinde dönen bir helezondan oluşur. Ünite içine çamur girişi sürekli'dir, katı maddeler yatay silindirin

çevresinde toplanrlar. Çökelen çamur keki helezonla kürenerek sürekli olarak dışarı atılır. Çamurun suyu da bir savak yardımıyla yoğunlaştırıcıdan uzaklaştırılır. Böylece tam ve sürekli bir işletme sağlanır. Tambur ve helezon ayrı ayrı tahrik edilir, devir sayıları farklıdır. Helezonun çamur kekini küremesi sırasında koyulaşmış çamurun içindeki suyun bir kısmı uzaklaşarak daha fazla su alınabilmektedir.



Şekil 4.6 Santrifüjlerin Yapısı

5. KULLANILAN EKİPMANLARIN MEKANİK GÜÇLERİNİN HESAPLANMASI

Paşaköy Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisinden verilen teknik bilgilere göre kullanılan ekipmanların tahrik motor güçleri hesaplanıp, motor gücü seçilmiştir.

5.1 Kum Ayırıcının Motor Gücünün Hesaplanması

D: 0,355 m

h: 0,350 m

n: 5 d/d

φ : 0,25

δ : 24°

k: 0,5

γ : 1,5

L: 6

f: 4,4

η : 0,70

Denklem [4.6.1]'den

$$I_V = 60 \cdot \pi \cdot 0,355^2 \cdot 0,350 \cdot 5 \cdot 0,25 \cdot \frac{0,5}{4}$$

$$I_V = 1,29 \text{ m}^3/\text{h}$$

Denklem [4.6.2]'den

$$I_V = 1,29 \cdot 1,5$$

$$I_V = 1,93 \text{ ton/h}$$

Denklem [4.6.3]'den

$$P = \frac{1,93}{367.0,70} (6.4,4 + \sin 24.6)$$

$$P = 0,22 \text{ kW}$$

Standart 0,55 kW'lık motor seçilir.

5.2 Blower Motor Güçlerinin Hesaplanması

Kum tutucunun iki kanalının her birinin hava ihtiyacı 275 m³hava/h dır. Her bir kanal için kayıplarda göz önüne alınarak 300 m³hava/h'lık blower seçilir. Havanın özgül kütlesi 30° de 1,161.10³ g/cm³ tür. Buradan hava akısı bulunur.

$$w: 0,097 \text{ kg/s}$$

$$R: 8,314 \text{ kJ/kmol K}^0$$

$$T_1: 303 \text{ K}^0$$

$$P_1: 1 \text{ bar}$$

$$P_2: 1,42 \text{ bar}$$

$$n: 0,283$$

$$\eta = 0,70$$

Denklem [4.7.1]'den

$$P = \frac{0,097.8,314.303}{29,7.0,283.0,70} \left[\left(\frac{1,42}{1} \right)^{0,283} - 1 \right]$$

$$P = 4,33 \text{ kW}$$

Üretici firma katoloğundan 300 m³/h debili 7,5 kW gücünde blower seçilir.

Havalandırma havuzlarının maksimum hava ihtiyacı 34560 m³hava/h, minimum hava ihtiyacı 8640 m³hava/h tir. 11000 m³hava/h kapasiteli 4 adet blower seçilir. Bunlardan biri yedek olarak kullanılır. 11000 m³hava/h debili havanın akısı

$$w = \frac{11000}{36000} 1,161.10^{-3} \frac{10^{-3}}{10^{-6}}$$

$$w = 3,548 \text{ kg/s}$$

bulunur.

$$R: 8,314 \text{ kJ/kmol } K^0$$

$$T_1: 303 \text{ K}^0$$

$$P_1: 0,994 \text{ bar}$$

$$P_2: 1,6 \text{ bar}$$

$$n: 0,283$$

$$\eta = 0,70$$

Denklem [4.7.1]'den

$$P = \frac{3,548.8,314.303}{29,7.0,283.0,70} \left[\left(\frac{1,6}{0,994} \right)^{0,283} - 1 \right]$$

$$P = 219 \text{ kW}$$

Üretici firmanın katoloğundan 250 kW'lık 11000 m³hava/h'lik blower seçilir.

Çamur depolama havuzlarının maksimum hava ihtiyacı 4080 m³hava/h'tir. 2000 m³hava/h'lik 3 blower seçilir. Bunların biri yedektir. 2000 m³hava/h debili havanın akışı

$$w = \frac{2000}{36000} 1,161.10^{-3} \frac{10^{-3}}{10^{-6}}$$

$$w = 0,645 \text{ kg/s}$$

bulunur.

$$R: 8,314 \text{ kJ/kmol } K^0$$

$$T_1: 303 \text{ K}^0$$

P_1 : 1 bar

P_2 : 1,63bar

n : 0,283

η = 0,70

Denklem [4.7.1]'den

$$P = \frac{0,645.8,314.303}{29,7.0,283.0,70} \left[\left(\frac{1,63}{1} \right)^{0,283} - 1 \right]$$

$$P = 40,95 \text{ kW}$$

Üretici firmanın katalogundan 55 kW'lık 2000 m³hava/h debili blower seçilir.

5.3 Pompa Motor Güçlerinin Hesaplanması

Kum tutucunun 2 kanalında 2 pompa 40 m³/h'lık debi ile kanalda biriken kumu 7 m yüksekliğe çeker. Bu debi ve basma yüksekliğine göre Şekil 5.1 deki üretici firmanın pompa performans eğrisinden pompa verimi bulunur. Denklem [4.9.1]'den

$$\rho = 2,65 \text{ kg/dm}^3$$

$$Q = 40 \text{ m}^3/\text{h}$$

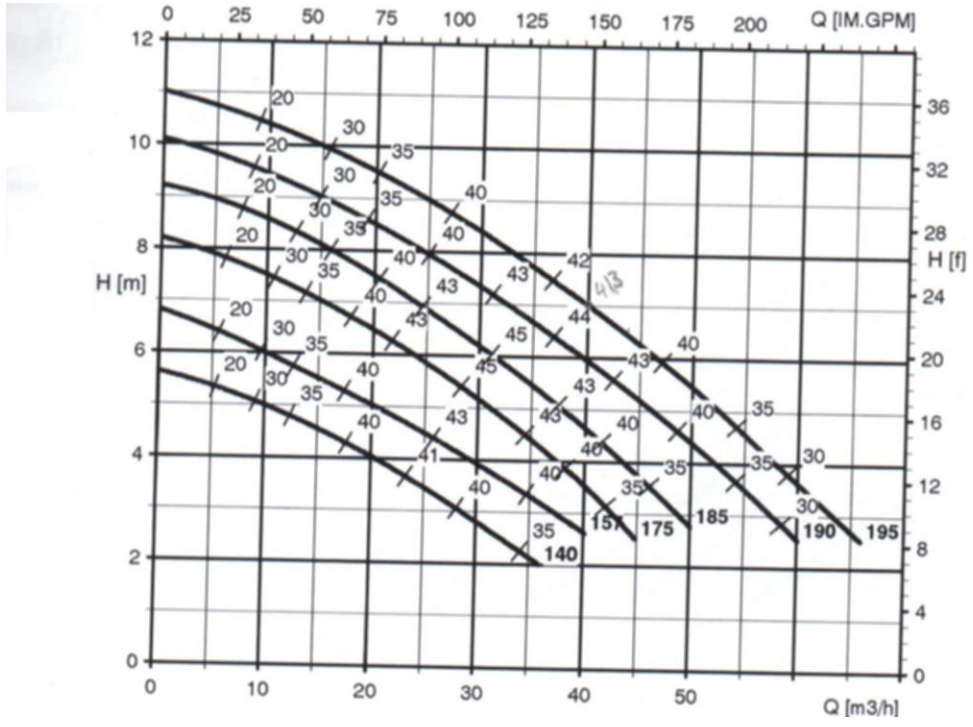
$$H = 7 \text{ m}$$

$$\eta = 0,413 \text{ (Şekil 5.1'den)}$$

$$P = \frac{2,65.40.7}{367.0,413}$$

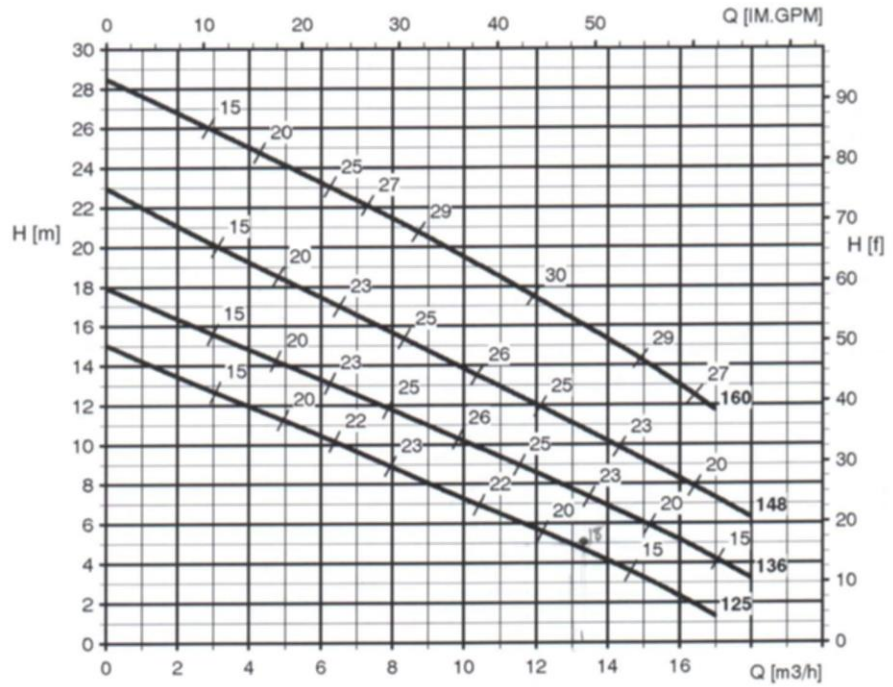
$$P = 4,89 \text{ kW}$$

Kayıplarda göz önüne alınarak standart 7,5 kW gücünde motor seçilir.



Şekil 5.1 Pompa Performans Eğrisi

Kum tutucuda ki köpük pompasının gücü:



Şekil 5.2 Pompa Performans Eğrisi

$$P = \frac{1.16,56.4}{367.0,222}$$

$$P = 0,81 \text{ kW}$$

Kayıplarda göz önüne alınarak 1,1 kW'lık motor seçilir.

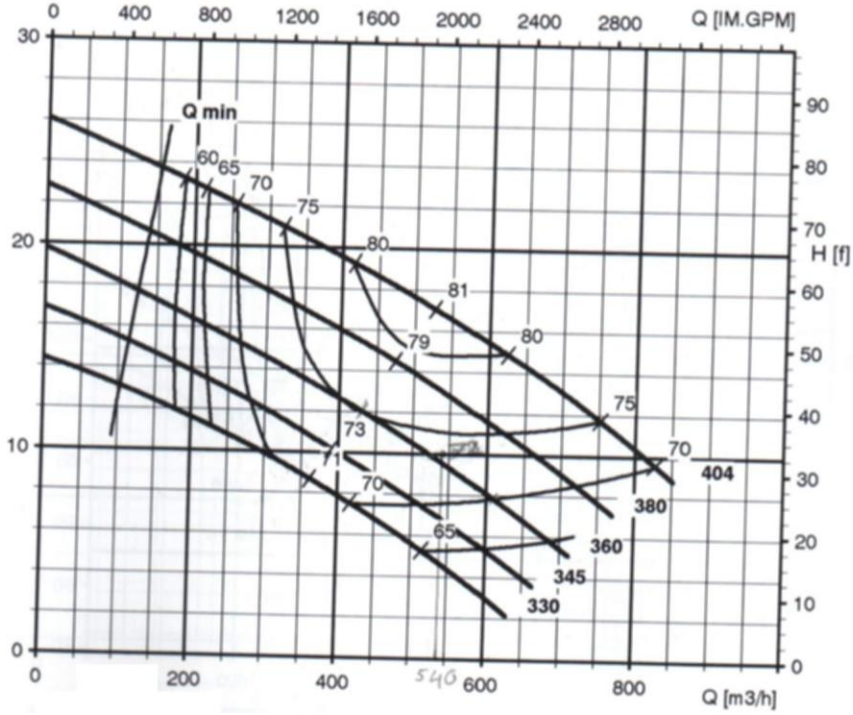
Geri devir terfi merkezi geri devir pompaları:

$$\rho = 1,01 \text{ kg/dm}^3$$

$$Q = 540 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$H = 10 \text{ m}$$

$$\eta = 0,72 \text{ (Şekil 5.4'den)}$$



Şekil 5.4 Pompa Performans Eğrisi

$$P = \frac{1,01.540.10}{367.0,72}$$

$$P = 30 \text{ kW}$$

Standart 30 kW'lık motor seçilir.

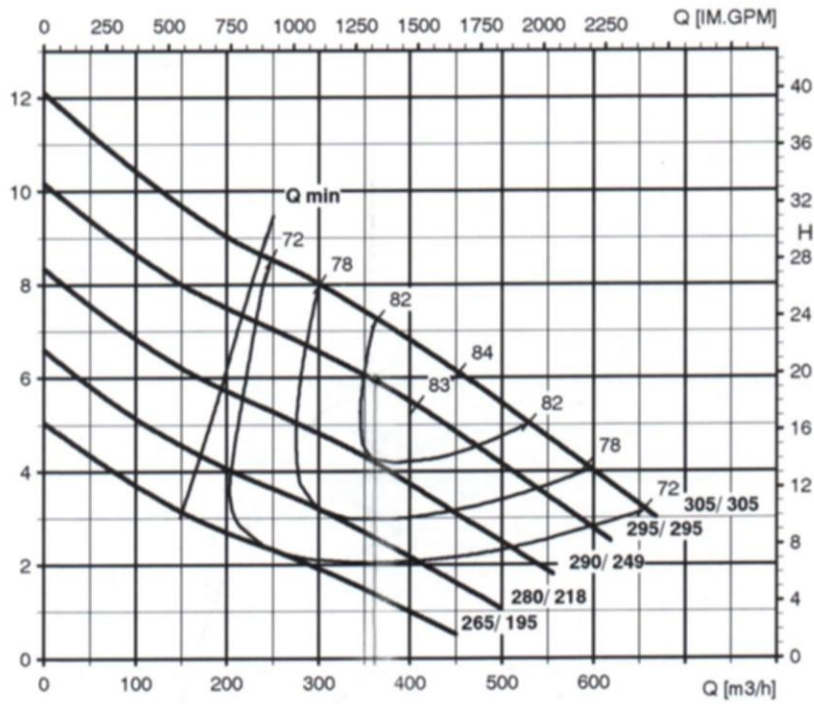
Süzüntü suyu terfi ünitesi süzüntü suyu pompaları:

$$\rho = 1 \text{ kg/dm}^3$$

$$Q = 360 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$H = 6 \text{ m}$$

$$\eta = 0,823 \text{ (Şekil 5.5'den)}$$



Şekil 5.5 Pompa Performans Eğrisi

$$P = \frac{1.360.6}{367.0,823}$$

$$P = 7,15 \text{ kW}$$

Standart 11 kW'lık motor seçilir.

6. TESİSİN ENERJİ İHTİYACININ KARŞILANMASI

Atıksu arıtma tesisinin enerji ihtiyacının belirlenmesi için önce her ünitenin kurulu gücü ve işletme gücü daha sonra tesisin kurulu ve işletme gücü bulunur. Aşağıda her ünitenin güç tabloları verilmiş, kurulu ve işletme güçleri hesaplanmıştır. Tesisin işletme gücüne göre transformatör seçimi yapılır.

Tablo 6.1 Ön Arıtma Ünitesi Ekipman Güç Listesi

ÖN ARITMA ÜNİTESİ	MİKTAR(Adet)		ANMA GÜCÜ		
EKİPMAN ADI	TOPLAM	DEVREDE	kW/ADET	TOPLAM	DEVREDE
Mekanik Izgara	2	2	1,5	3	3
Banlı Konveyör	1	1	0,75	0,75	0,75
Izgara Atık Presi	1	1	1,5	1,5	1,5
Kum Tutucu Blower	3	2	7,5	22,5	15
Kum Pompaları	2	2	7,5	15	15
Burgulu Konveyör	1	1	0,55	0,55	0,55
Kum Tutucu Köprü	1	1	1,48	1,48	1,48
Köpük Pompası	1	1	1,5	1,5	1,5
Motorlu Vana	2	2	0,45	0,9	0,45
Motorlu Kapak	6	6	0,35	2,1	2,1
TOPLAM	KURULU GÜÇ(kW)			49,28	
	İŞLETME GÜCÜ(kW)				41,33

Tablo 6.2 Biyolojik Fosfor Giderme Ünitesi Ekipman Güç Listesi

BİYOLOJİK FOSFOR GİDERME ÜNİTESİ	MİKTAR(Adet)		ANMA GÜCÜ		
EKİPMAN ADI	TOPLAM	DEVREDE	kW/ADET	TOPLAM	DEVREDE
Karıştırıcı	6	6	2,3	13,8	13,8
TOPLAM	KURULU GÜÇ(kW)			13,8	
	İŞLETME GÜCÜ(kW)				13,8

Tablo 6.3 Ön Havalandırma Ünitesi Ekipman Güç Listesi

HAVALANDIRMA ÜNİTESİ	MİKTAR(Adet)		ANMA GÜCÜ		
EKİPMAN ADI	TOPLAM	DEVREDE	kW/ADET	TOPLAM	DEVREDE
Blower	4	3	250	1000	750
Motorlu Vana	8	6	0,75	6	4,5
Resirkülasyon Pomp.	4	4	15	60	60
Karıştırıcı	16	16	3,1	49,6	49,6
Motorlu Kapak	8	8	0,35	2,8	2,8
Aydınlatma	1	0,6	22	22	13,2
TOPLAM	KURULU GÜÇ(kW)			1140,4	
	İŞLETME GÜCÜ(kW)				880,1

Tablo 6.4 Son Çöktürme Ünitesi Ekipman Güç Listesi

SON ÇÖKTÜRME ÜNİTESİ	MİKTAR(Adet)		ANMA GÜCÜ		
EKİPMAN ADI	TOPLAM	DEVREDE	kW/ADET	TOPLAM	DEVREDE
Döner Köprü	4	4	2,25	9	9
Köpük Pompası	2	2	2,2	4,4	4,4
İdari Bina	1	0,6	60	60	36
TOPLAM	KURULU GÜÇ(kW)			73,4	
	İŞLETME GÜCÜ(kW)				49,4

Tablo 6.5 Geri Devir Terfi Ünitesi Ekipman Güç Listesi

GERİ DEVİR TERFİ ÜNİTESİ	MİKTAR(Adet)		ANMA GÜCÜ		
EKİPMAN ADI	TOPLAM	DEVREDE	kW/ADET	TOPLAM	DEVREDE
Geri Dönüş Pompası	10	8	30	300	240
Drenaj Pomoası	2	2	1,1	2,2	2,2
Motorlu Kapak	8	8	0,37	2,96	2,96
Aydınlatma	1	0,6	22	13,2	13,2
TOPLAM	KURULU GÜÇ(kW)			318,6	
	İŞLETME GÜCÜ(kW)				258,36

Tablo 6.6 DAF Ünitesi Ekipman Güç Listesi

DAF ÜNİTESİ	MİKTAR(Adet)		ANMA GÜCÜ		
EKİPMAN ADI	TOPLAM	DEVREDE	kW/ADET	TOPLAM	DEVREDE
Döner Köprü	1	1	0,55	0,55	0,55
Geri Dönüş Pompası	3	2	55	165	110
Kompresör	2	2	1,5	3	3
Motorlu Kapak	2	2	4	8	8
TOPLAM	KURULU GÜÇ(kW)			176,55	
	İŞLETME GÜCÜ(kW)				121,55

Tablo 6.7 Fazla Çamur Ünitesi Ekipman Güç Listesi

FAZLA ÇAMUR TERFİ ÜNİTESİ	MİKTAR(AD)		ANMA GÜCÜ		
EKİPMAN ADI	TOPLAM	DEVREDE	kW/ADET	TOPLAM	DEVREDE
Fazla Çamur Pompası	3	2	30	90	60
Aydınlatma	1	0,6	21	21	12,6
TOPLAM	KURULU GÜÇ(kW)			111	
	İŞLETME GÜCÜ(kW)				72,6

Tablo 6.8 Çamur Kurutma Ünitesi Ekipman Güç Listesi

ÇAMUR KURUTMA ÜNİTESİ	MİKTAR(Adet)		ANMA GÜCÜ		
EKİPMAN ADI	TOPLAM	DEVREDE	kW/ADET	TOPLAM	DEVREDE
Çamur Besleme Pom.	2	2	1,5	3	3
Çamur Parçalayıcı	2	2	1,5	3	3
Poli Besleme Pomp.	2	2	1,1	2,2	2,2
Sıvı Poli Pompası	1	1	0,06	0,06	0,06
Çamur Çıkış Pompası	2	2	4	8	8
Polielektrolit Haz.Ün.	1	1	1,5	1,5	1,5
Santrifüj	2	2	37,5	75	75
Blower	3	2	55	165	110
TOPLAM	KURULU GÜÇ(kW)			257,76	
	İŞLETME GÜCÜ(kW)				202,76

Tablo 6.9 Çamur Depolama Ünitesi Ekipman Güç Listesi

ÇAMUR DEPOLAMA ÜNİTESİ	MİKTAR(Adet)		ANMA GÜCÜ		
EKİPMAN ADI	TOPLAM	DEVREDE	kW/ADET	TOPLAM	DEVREDE
Karıştırıcı	4	4	6,7	26,8	26,8
TOPLAM	KURULU GÜÇ(kW)			26,8	
	İŞLETME GÜCÜ(kW)				26,8

Tablo 6.10 Süzüntü Suyu Terfi Ünitesi Ekipman Güç Listesi

SÜZÜNTÜ SUYU TERFİ ÜNİTESİ	MİKTAR(Adet)		ANMA GÜCÜ		
EKİPMAN ADI	TOPLAM	DEVREDE	kW/ADET	TOPLAM	DEVREDE
Süzüntü Suyu Pomp.	2	2	11	22	22
TOPLAM	KURULU GÜÇ(kW)			22	
	İŞLETME GÜCÜ(kW)				22

Tablo 6.11 Tesisin Güç Listesi

TESİS GÜÇ LİSTESİ			
ÜNİTE ADI		KURULU GÜÇ	İŞLETME GÜCÜ
Ön Arıtma Ünitesi		49,28	41,33
Biyolojik Fosfor Giderme Ünitesi		13,8	13,8
Havalandırma Ünitesi		1140,4	880,1
Son Çöktürme Ünitesi		73,4	49,4
Geri Devir Ünitesi		318,36	258,36
Fazla Çamur Ünitesi		111	72,6
Çözünmüş Hava ileYüzdürme Ünitesi		176,55	121,55
Çamur Kurutma Ünitesi		257,76	202,76
Çamur Depolama Ünitesi		26,8	26,8
Süzüntü Suyu Terfi Ünitesi		22	22
TOPLAM	KURULU GÜÇ(kW)	2189,35	
	İŞLETME GÜCÜ(kW)		1688,7

Havalandırma ünitesindeki blowerler 6,3 kV'luk gerilim altında çalışmaktadır. Bu nedenle 6,3 kV'luk transformatörden beslenmesi gerekir. Blowerlerin işletme gücü 750 kW'tır. Buradan 6,3 kV'luk trafo gücü hesap edilir.

$$S = \frac{P}{\cos \varphi}$$
$$S = \frac{750}{0,97} = 773 \text{ kVA}$$

Tesiste ilerdeki güç ihtiyacı göz önüne alınarak $S_{tr} = 1000 \text{ kVA}$ 'lık trafo gücü seçilir.

Tesisin 0,4 kV'luk alçak gerilimde beslenecek işletme gücü 6,3 kV'luk blowerlerin işletme gücünü çıkarırsak 938,7 kW'tır. Bu işletme gücünde 0,4 kV'luk trafo gücü hesap edilir.

$$S = \frac{P}{\cos \varphi}$$
$$S = \frac{938,7}{0,97} = 967,7 \text{ kVA}$$

İlerdeki güç ihtiyacı göz önüne alınarak 968 kVA'lık trafo kullanmanın güç artışında meydana getireceği sorunlar dikkate alınarak $S_{tr} = 1250 \text{ kVA}$ 'lık trafo gücü belirlenir.

7. TESİSTE KULLANILAN MOTORLAR VE YOLVERME YÖNTEMLERİ

Tesiste alçak ve yüksek gerilimli motorlar kullanılmaktadır. Motorun boyutuna bağlı olarak motor alçak ve yüksek gerilim için üretilebilir. Pratikte bu tamamen motorun boyutuna bağlıdır. Genellikle alçak gerilim motorları yüksek gerilim motorlarına göre dayanıklıdır. Fakat kesin sınırlar motor sargıları ve motor terminalleri arasındaki kablo bağlantıları, kontaktörler ve motor yolvericilerine bağlıdır. Büyük güçlü motorların alçak gerilimde beslenmesi motorların, kabloların ve cihazların fiyatı, ağırlığı, yer ihtiyacı bakımından büyük güçlükler vardır. Akımların büyüklüğünden kaynaklanan bu sorunlar motorun yüksek gerilimle beslenmesiyle çözülür. Çoğunlukla 200 kW'tan küçük motorları alçak gerilim motoru, 200 kW'tan büyük motorları ise 3 kV, 6kV yüksek gerilim motoru olarak üretirler. Daha büyük motorlar ise 10 kV'ta beslenir [7].

Atıksu arıtma tesisinde kısa devre kafesli asenkron motorlar kullanılmaktadır. Bu tip motorların yapımı kolay, dayanıklı, bakımı az ve işletme güvenliği yüksek ve en ucuz olan elektrik motorudur. Fakat kısa devre kafesli asenkron motorun sakıncası kalkış akımının büyük, kalkış momentinin küçük, kalkış zamanının uzun olmasıdır. Kalkış akımı anma akımının 5-7 katı arasındadır ve kalkıştaki gerilim düşümü %10-15 artar. Bu problemi gidermek için alçak gerilimli motorlarda yıldız-üçgen yolverme, yüksek gerilimli motorlarda ise bobin ve transformatörle yolverme yaygın kullanılan yolverme yöntemleridir.

7.1 Tesiste Doğrudan Yolverilebilecek En Büyük Motor Gücü Hesabı

Motorların yolalma esnasında çektikleri büyük akımın şebeke üzerinde meydana getirdiği akım darbesini ve bunun neden olduğu gerilim dalgalanmasının çalışan diğer motor ve cihazlar üzerindeki kötü etkilerini sınırlamak amacıyla, işletmelerde belli bir güçten büyük güçteki motorlara yolalma akımını azaltıcı düzenlerle yolverilir ve bu amaçla da sincap kafesli motorlarda genellikle yıldız-üçgen şalter veya sistemleri veya transformatörler kullanılmaktadır.

Bir tesiste en fazla hangi güçteki motorlara direkt olarak yolverilebileceği, tesisin o noktadaki kısa devre gücüne bağlı olup, her tesis için başkadır. Bu nedenle her tesis

için ayrı hesap yapılarak en fazla hangi güçteki motorlara direkt olarak yolverilebileceği bulunmalı ve direkt olarak yolverilebilecek motorlara yıldız-üçgen şalter veya sistemleri veya transformatörlerle yolverilmemelidir. Çünkü, yıldız- üçgen şalter veya sistemleri ile yolvermenin doğrudan yolvermeye nazaran aşağıdaki sakıncaları vardır:

1. Yıldız-üçgen yol verme şalter veya sistemleri doğrudan yolvermede kullanılan şalter veya sistemlere nazaran daha pahalıdır.
2. Yıldız-üçgen şalter veya panosuna kadar çift kablo çekmek gerekeceğinden, bu halde kablo giderleri de daha fazladır.
3. Yıldız bağlamada motor akımı ile birlikte motor momentide üçte bire düştüğünden, bu şekilde yük altında kalkış yapan sistemlere yol vermek mümkün olmamakta ve motorun boşa kalıp üçgene geçildikten sonra yüklenmesi için, motor ve iş makinası arasına hidrolik veya sürtünmeli kavramaların ilave edilmesi gerekmektedir. Bunlarda sistemin ayrıca pahalılaşmasına, yer, bakım ve arıza ihtiyaç ve olasılıklarının artmasına neden olmaktadır.

Transformatörlerle yolvermede de hemen hemen aynı problemler vardır. Bu nedenle, doğrudan yol verilmesi mümkün olabilen motorlara yıldız-üçgen şalter veya sistemleri veya transformatörle yol vermek sakıncalıdır [9].

Bir tesiste doğrudan yolverilebilecek en büyük motor gücü, motorun kalkış esnasında meydana getireceği gerilim düşümüne, bu da, o noktadaki kısa devre gücüne bağlıdır. Kısa devre gücü ne kadar büyükse, gerilim düşümüne neden olan toplam reaktans o kadar küçüktür. Dolayısıyla kısa devre gücü büyük olan yerlerde daha büyük güçteki motorlara doğrudan yolverilebilir [9].

Alçak gerilimle beslenen tesislerde doğrudan yolverilecek maksimum motor gücü formülü [9]:

$$P = 0,0023 \frac{S_{tr}}{u_k} \quad (7.1.1)$$

Gerilim düşümü formülü:

$$\varepsilon = \frac{1}{1 + \frac{k \cdot S_{tr}}{a \cdot u_k \cdot P_n}} \quad (7.1.2)$$

$$k = \cos\varphi \cdot \eta$$

$$a = I_a / I_n$$

P_n : Motor nominal gücü (kW)

S_{tr} : Trafo nominal gücü (kVA)

u_k : Trafo kısa devre gücü (%)

ε : Gerilim düşümü (%)

$\cos\varphi$: Motor güç faktörü

η : Motor nominal verimi

I_a / I_n : Motor kalkış akımının nominal akıma oranı

Orta gerilimle beslenen tesislerde doğrudan yolverilebilecek maksimum motor gücü hesabı:

$$P = 0,0037 \frac{S_{tr}}{u_k} \quad (7.1.3)$$

Atrıksu arıtma tesisinde alçak gerilimde doğrudan yolverilebilecek en büyük motor gücü:

$$S_{tr} = 1250 \text{ kVA}$$

$$u_k = \%6$$

Formül (7,1,1)'den

$$P = 0,0023 \frac{1250}{0,06} = 47,9 \text{ kW}$$

Nominal motor gücü 0- 47,9 kW arası güçteki motorlara direkt yol verilebilir. Tesiste bu sınırlar dışında alçak gerilimde maksimum motor gücü 55 kW'tır. Bu güçteki motorun direkt yolalma esnasında elektrik sisteminde meydana getirebileceği gerilim düşümü hesaplandığında,

$$\cos\varphi = 0,82$$

$$a = I_a / I_n = 6,9$$

$\eta : 0,94$

$$k = \cos\varphi.\eta=0,82 .0,94= 0,77$$

Formül (7.1.2)'den

$$\varepsilon = \frac{1}{1 + \frac{0,77.1250}{6,9.0,06.55}}=0,023$$

Elektrik İç Tesis Yönetmeliğine göre yolverme esnasında müsade edilen gerilim düşümü $\varepsilon =\%5$ tir. Ancak o esnada çalışmakta olan diğer motorlarında $\%3$ kadar bir gerilim düşümü meydana getirdikleri göz önüne alınırsa, yeni yol verilecek bir motor için buna ilave olarak $\%2$ kadar gerilim düşümüne müsade edilebileceği anlaşılır. 55 kW'lık motorun gerilim düşümü $\%2,3$ olduğundan bu motora yıldız-üçgen yolverilir.

8. YÜKSEK GERİLİMLİ KAFESLİ ASENKRON MOTORLARA YOLVERME YÖNTEMLERİ

Yüksek gerilimli motorların ve onlara bağlı kontrolörlerin doğru seçilmesi gittikçe daha önemli olmaktadır. Yüksek gerilimli motorlar için yolverme yöntemleri ve kontrolörler düşük gerilimli motorlarınkinden daha önemlidir. Bu, motorların boyutlarından ve şebekedeki daha büyük etkilerinden dolayıdır. Genelde yüksek gerilimli motorlar daha düşük kalkış momentine sahiptirler.

Her yolverme metodunun amacı motor girişlerinde şebeke gerilim düşümünü azaltmak ve yüke yeterli hızlanma momenti sağlarken, bu yükü yumuşak bir kalkış yapmaktır. Elektrik motorlarına yolverme için kullanılacak metotları seçerken dikkat edilmesi gereken bazı faktörler vardır. Bu faktörler;

1. Şebekenin özellikleri ve şebekeden çekilecek motor kalkış akımının etkileri, şebeke geriliminin stabilitesi,
2. Motorun kalkış ve devrilme momenti karakteristikleri,
3. Yükenin çalışma hız dağılımı,
4. Proses faktörleri, sarsıntı titreşim, mekanik darbe,
5. Farklı yolverme metotlarının bakım ve kontrolü.

Bu faktörlerin ana noktası gerilim düşümü, motor momenti ve sıcaklık sınırlarıdır.

Dağıtım transformatörünün bağlantı noktasında olabilecek gerilim dalgalanmasına belirli sınırlamalar getirilmiştir. Bu sınırlar fabrika koşullarına ve yüklere bakılmadan konur. Bu sınırlamalar şebekeden beslenen diğer tüketicileri rahatsız etmemek için güç kalitesinin korunması için uygulanır. Büyük yüksek gerilimli motorlar veya yüksek gerilimli motor grupları çalıştırıldığında büyük reaktif güç çekerler. Şebekeden bu reaktif gücün çekilmesi rahatsızlıklara sebep olabilir [13].

Şebekenin kısa devre gücü büyük ise doğrudan yolverme metodu kullanılabilir. Motor nominal gerilimi ile kalkış yaptığı hızlanma periyodu sırasında yüksek

reaktif güç çeker. Yüksek gerilimli motorlar kalkış süresinde HP motor gücü başına 5-6 kVAr reaktif güç çekerler [13].

Kalkışta motorun çektiği akımdaki artış hat boyunca gerilim düşümünde geçici bir artışa ve motor ile aynı hatta bağlı diğer yüklerle uygulanan gerilimin azalmasına sebep olur. Motor momentide uygulanan gerilimin karesi ile orantılı olarak azalır.

Motorun kalkışı ile gerilim düşümü çok büyük olursa, lambalarda titreşimler, aşırı motor akımları, rölelerin veya ana kontaktörün devreye girmesi meydana gelebilir. Motorun kalkışı sırasında gerilimdeki dalgalanmanın büyüklüğü motor kalkış akımına, şebekenin kısa devre gücüne ve motor ile şebeke arasındaki kısa devre empedansına bağlıdır [13].

Şebeke güçlü ise pompa gibi değişken momentli yüklerde doğrudan yolverme ekonomik ve etkili bir çözümdür. Şebeke zayıf ise, kalkış sırasında aşırı gerilim düşümünü önleyecek ve motorun kalkış yapmasını sağlayacak yöntemler kullanılır. Yüksek gerilimli kafesli asenkron motorlara 6 şekilde yol verilebilir. Bunlar;

1. Doğrudan şebekeye bağlayarak yolverme
2. Güç yarı iletkenli statik anahtarla doğrudan yolverme
3. Seri bobin ile yolverme
4. Transformatör ile yolverme
5. Yumuşak yolvericilerle yolverme
6. Değişken frekanslı sürücülerle yolverme

Yüksek gerilimli motorlar yıldız bağlı yapıldığından bu motorlara yıldız-üçgen yolverilmez. Üçgen bağlamada faz gerilimi hat gerilimine eşittir ve çok daha yüksektir. Yüksek faz gerilimi, oluklarda daha fazla iletken gerektirir yani oluk iletken sayısını arttırır. Buna karşın iletken kesiti ve boyutları azalan faz akımı nedeniyle düşer. Sonuç olarak yalıtkan miktarı artar, oluk doldurma çarpanı ve onunla beraber etkin malzeme kullanımı artar. Bu nedenle yıldız bağlama tercih edilir [7].

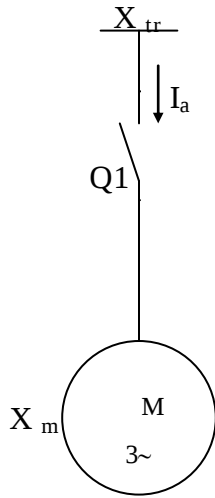
8.1 Yüksek Gerilimli Kafesli Asenkron Motorlara Doğrudan Yol verme

Doğrudan yol verme, motora nominal gerilimin uygulanması ile ani sarsıntılara yükün dayanabildiği ve şebekenin güçlü olduğu yerlerde kullanılabilir. Kafesli asenkron motorlara doğrudan yol verme bütün diğer yol verme yöntemleri arasında en az donanım gerektiren, bu nedenle en basit, ucuz ve ekonomik olanıdır. Bu metot düşük maliyet, basit kontrol düzenekleri, daha az bakım ve bir sürücü kullanmadan en büyük kalkış momentini sağlar. Bu metot büyük yük momentleri için büyük hızlanma momenti gerektiğinde bir avantaj olabilir. Genellikle kısa hızlanma zamanı elde edilebildiğinden motorun rotor sıcaklığı düşüktür [12]. Basit kurulum dolayısıyla arıza olasılığı azalır. Doğrudan yol vermede istenmeyen durum kalkış akımının yüksek olmasıdır. Yol verme akımı, motor gücü ve hızına bağlı olarak motorun nominal akımının 3,5-6,5 katı gibi büyük bir değerde olması nedeniyle oluşan büyük gerilim düşümü belli sınır değerleri geçmemeli, kontaktörleri ve koruma düzenlerini açtırmamalıdır. Yol verme esnasında orta gerilim transformatör gücünün geçilmemesi ve gerilimin % 8'den fazla düşmemesi gerekir. Alçak gerilimli motorlara olduğu gibi yüksek gerilimli motorlarda da sistem koşulları müsaade ettiği sürece doğrudan yol verme tercih edilmelidir.

Aşağıda plaka değerleri verilen yüksek gerilimli blower motoruna doğrudan yol verilmesi durumunda transformatördeki gerilim düşümü ε :

$$P_n = 250 \text{ kW}, U_n = 6,3 \text{ kV}, I_n = 28 \text{ A}, 2p = 2, \cos\phi = 0,86, \eta = \%95, I_a / I_n = 6$$

$$M_a / M_n = 1,4$$



Şekil 8.1 Doğrudan yol vermenin şematik diyagramı

Orta gerilim transformatörünün reaktansı X_{tr} :

$$S_{tr}=1000 \text{ kVA}, u_k= \%6, U_n= 6,3 \text{ kV}$$

$$X_{tr} = \frac{u_k \cdot U_n^2}{100 \cdot S_{tr}}$$
$$X_{tr} = \frac{6.6300^2}{100 \cdot 1000 \cdot 10^3}$$

$$X_{tr} = 2,38 \text{ ohm/faz}$$

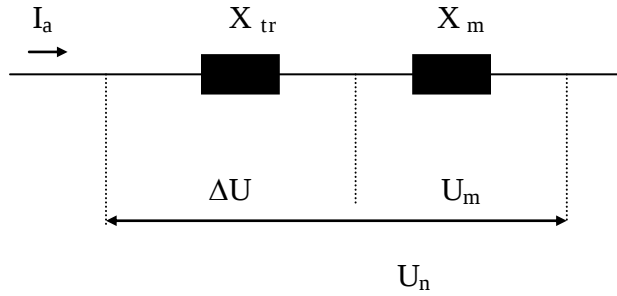
Devreye alırken motor kısa devre reaktansı X_m :

$$X_m = \frac{U_n}{\sqrt{3} \cdot \frac{I_a}{I_n} \cdot I_n}$$
$$X_m = \frac{6300}{\sqrt{3} \cdot 6.28}$$

$$X_m = 21,65 \text{ ohm/faz}$$

Kablo uzunluğu 500m'den küçük olduğu için kablo reaktansı ihmal edilir.

Gerilim düşümü:



Şekil 8.2 Doğrudan yolvermenin kısadevre eşdeğer devresi

$$\varepsilon = \frac{\Delta U}{U_n} = \frac{X_{tr}}{X_{tr} + X_m}$$
$$\varepsilon = \frac{2,38}{2,38 + 21,65}$$

$$\varepsilon = 0,099$$

$$\varepsilon = \%9,9$$

Gerilim düşümü formül (7.1.2)'den de direk bulunabilir.

$$\varepsilon = \frac{1}{1 + \frac{0,82 \cdot 1000}{6,0 \cdot 0,06 \cdot 250}}$$

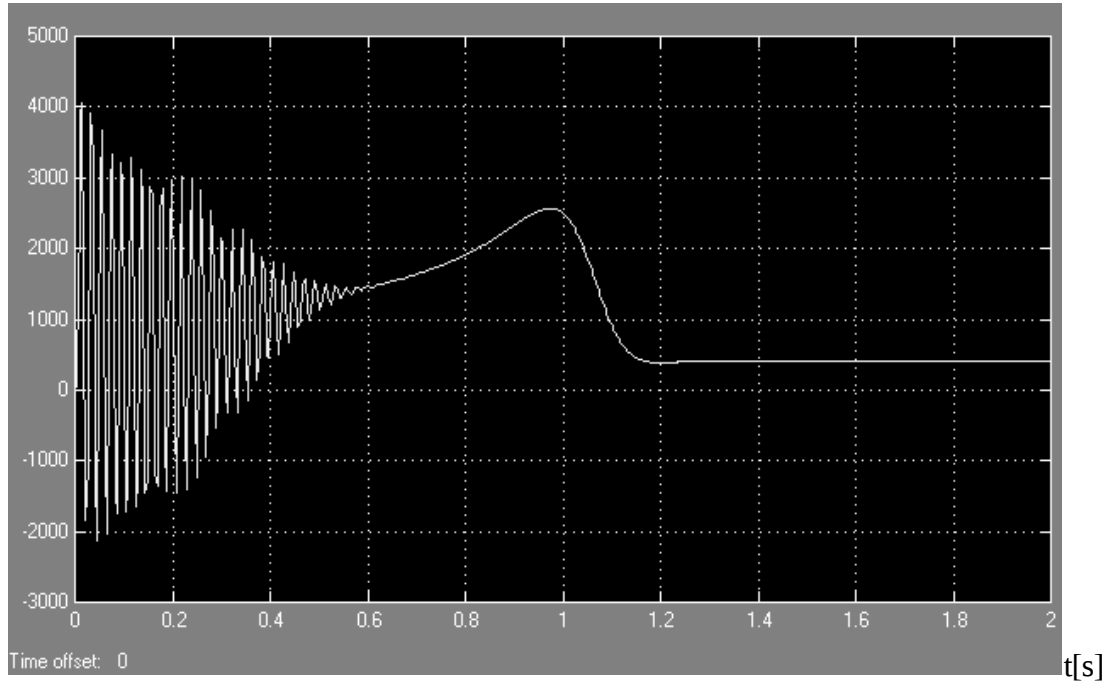
$$\varepsilon = 0,099$$

$$\varepsilon = \%9,9$$

Motora doğrudan yol verilmesi durumunda gerilim düşümü %8'i geçmiş olur.

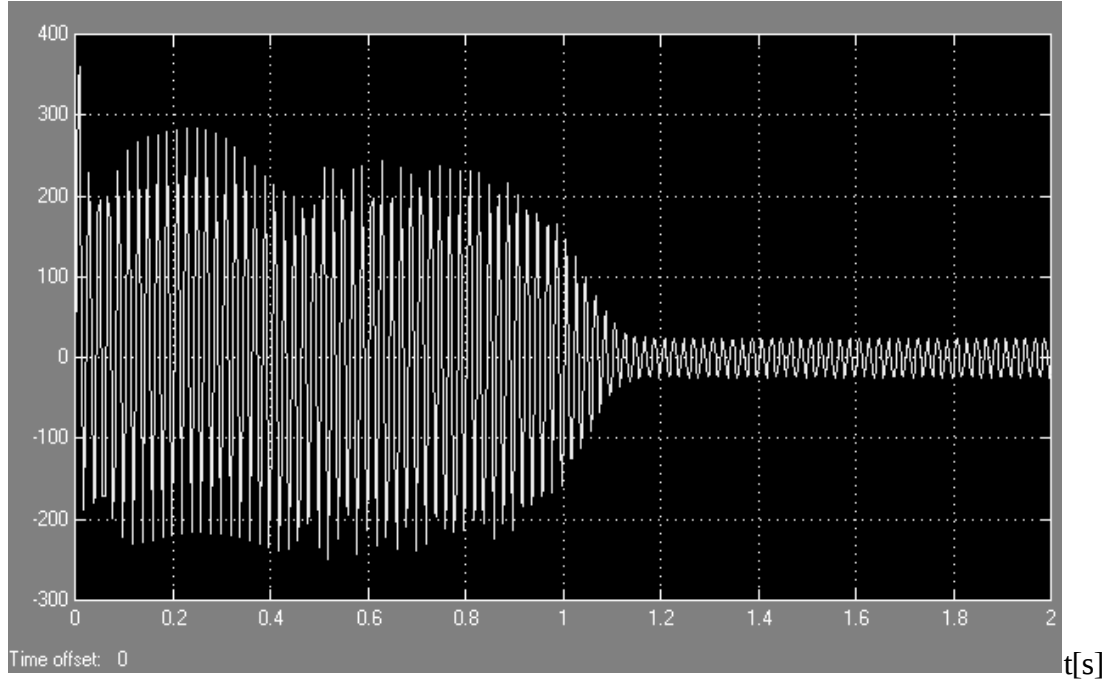
Motora nominal yükünün yarısında doğrudan yol verilmesi durumunda elektromanyetik momentin ve stator A-fazı akımının zamana göre değişimi aşağıda verilmiştir.

M[Nm]



Şekil 8.3 Anma yükünün yarısında motora doğrudan yol verilmesi durumunda elektromanyetik momentin zamana göre değişimi

i_{sA} [A]



Şekil 8.4 Anma yükünün yarısında motora doğrudan yol verilmesi durumunda i_{sA} stator akımının zamana göre değişimi

8.2 Yüksek Gerilimli Asenkron Motorlara Güç Yarı İletkenli Statik Anahtarla Doğrudan Yol verilmesi

Doğrudan yol verme, şebekenin güçlü olduğu ve kalkış yapan motorun bu yol verme yönteminin sebep olduğu ekstra ısınma ve momente dayanabildiği durumlarda büyük asenkron motorlara yol vermek için ekonomik ve güvenilir bir metottur. Ancak, yüksek gerilim uygulamaları için motor kontaktörleri, yağlı, havalı ve vakum tip devre kesiciler gibi sıradan anahtarlama elemanları ile büyük asenkron motorlar günde birkaç kez devreye sokulup çıkartılıyorsa, bu motorların doğrudan yol alması önemli bir problem olabilir. Sıradan anahtarlama elemanlarının önemli sakıncaları şunlardır:

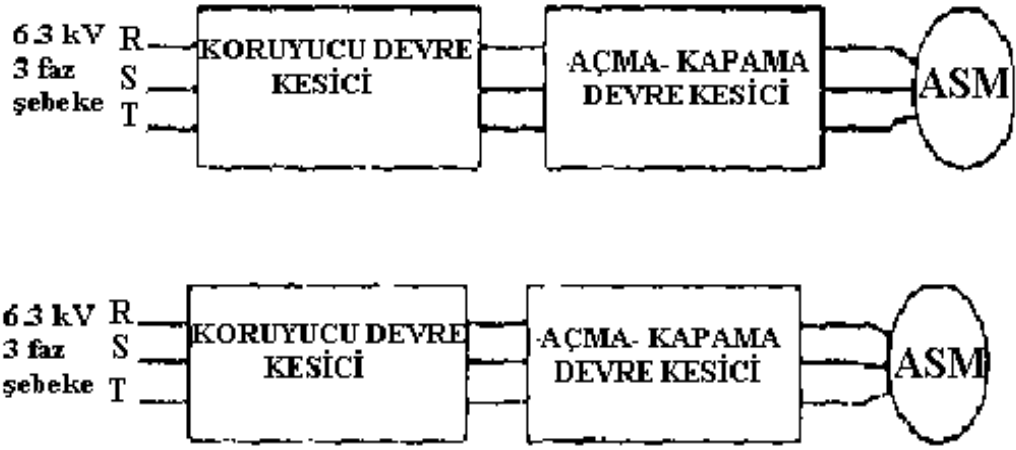
- 1) Anahtarlama elemanının üç kutbunun kapatılmasında hiçbir kontrol kullanılmaz. Genellikle bu kapatma aynı anda olmaz. Motorun şebekeye eş zamansız bağlanması motor girişlerinde ani aşırı gerilimlere, elektromekanik

gerilimde büyük salınımlara, düşük frekans modülasyonu ile yüksek ani akımlara yol açabilir. Ayrıca uzun süren yol alma zamanının muhtemel bir sebebidir. Bunlar motor yalıtımında yüksek elektriksel zorlanmalar, mil sisteminde burulma zorlanmaları ve sargılarda ekstra ısınmaya sebep olur.

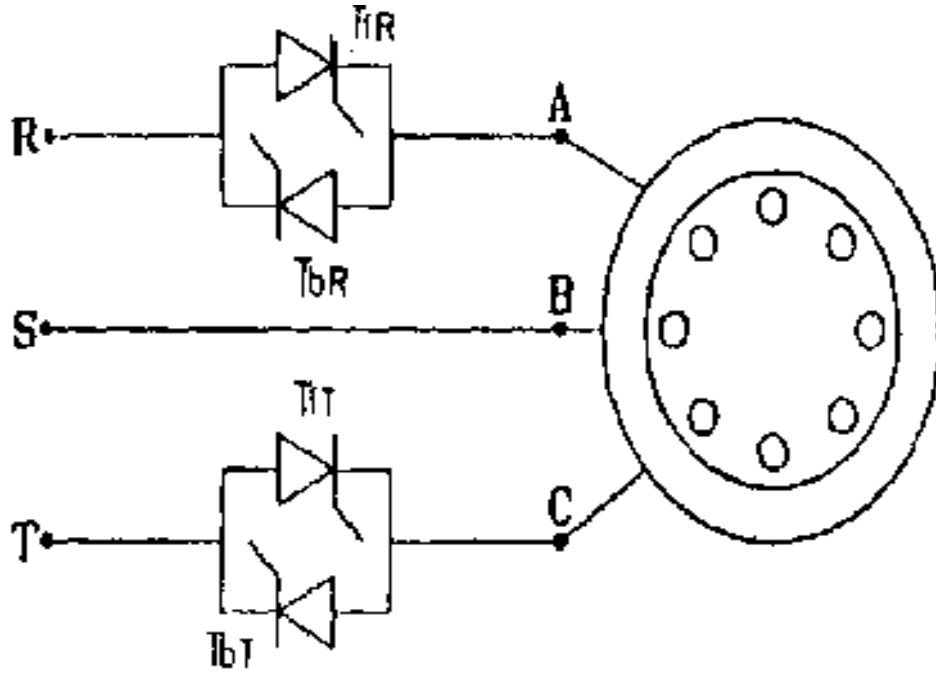
- 2) Sıradan anahtarlama elemanının hareket eden parçaları sık bakım ve denetime ihtiyaç duyar.
- 3) Anahtarlama sayısının fazla olması yüzünden devre kesicilerin hareketli parçalarındaki arızalar bakım maliyetlerini artırır ve üretimde zaman kaybına sebep olabilir. Yedek paralel anahtar kullanarak bu artan masraflar azaltılabilir.

Yüksek gerilimli büyük asenkron motorların doğrudan yol alma probleminin çözümüne alternatif bir yöntem ters paralel tristör çiftlerinden oluşan alternatif akım kısıcısının kullanımıdır. Tristörlerin ilk ateşleme süreleri, sıradan devre kesicinin kutuplarını kapama sürelerinin aksine devresel kontrolün denetimi altında olduğu için, ani kalkış akım ve momentini dikkatli bir tasarım ile azaltılabilir. Elektromekanik parçalar ve ark kontaktörlü mevcut yüksek gerilimli anahtarlama düzeneklerinin yerini güç yarı iletkenli düzenekler alabilir. Fakat bu sistem asenkron motora yol verme uygulamalarında moment ve akım darbelerini azaltabilen özellikler de dahil olmak üzere kontrol özellikleri ile donatılmaz [11].

Şebekenin güçlü olduğu ve giriş geriliminin nominal değerin çok altına düşmesi istenmeyen uygulamalarda bakım ihtiyaçlarını ve onarım maliyetlerini azaltmak için sıradan anahtarlama elemanlarının yerine tristörlü statik anahtar kullanılabilir. Şekil 8.5’de sıradan anahtarlama elemanlı ve statik anahtarlı sistemin blok diyagramı gösterilmiştir. Koruyucu devre kesici sadece motor tarafında bir arıza olması durumunda harekete geçer. Statik anahtarın şeması Şekil 8.6’da gösterilmiştir. Asenkron motora nötr hat bağlı olmadığı için ters paralel tristör çiftleri sadece şebekenin iki fazında kullanılır [11]. Böylece maliyet azaltılır.



Şekil 8.5 Sıradan anahtarlama elemanlı ve statik anahtarlı sistemin blok diyagramı

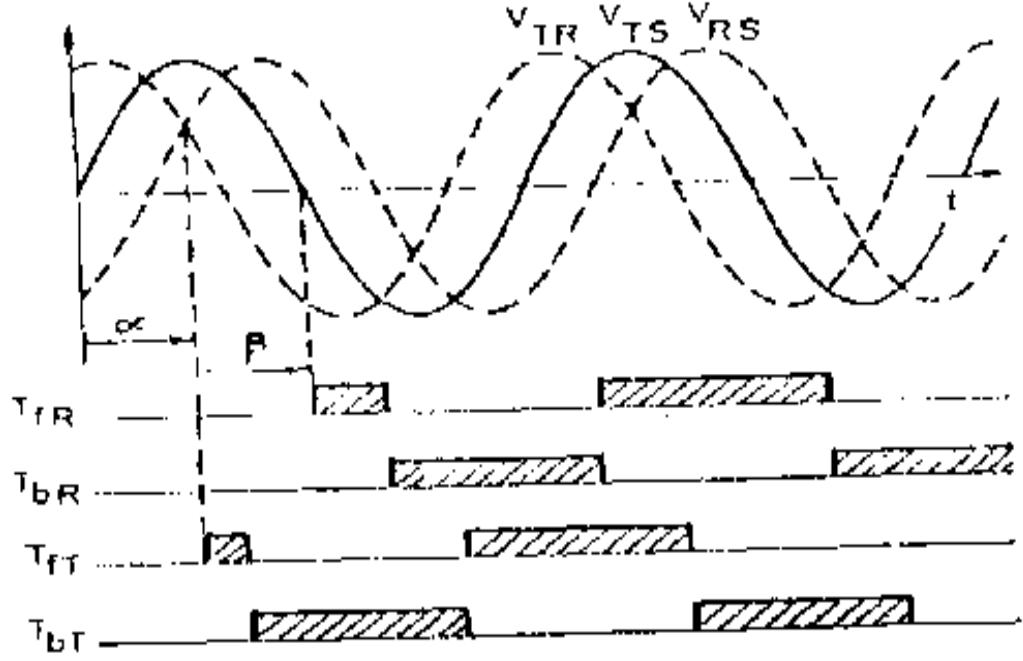


Şekil 8.6 Statik anahtarın şematik diyagramı

Motorun B girişi sürekli S fazına bağlanır. Motorun A ve C girişleri, sistemin ileri (T_{fR} ve T_{fT}) ve geri (T_{bR} ve T_{bT}) triyotlarını tetiklemesi ile şebekenin R ve T fazlarına eşzamansız bağlanır. Motorun C girişi başlangıçta şebekeye bağlanacak faz olarak gelişigüzel seçilir. Bu, fazarası şebeke gerilimi V_{TS} 'nin pozitif yarım dalgasında herhangi bir noktada T_{fT} triyotünün tetiklenmesi ile elde edilebilir. T_{fT} 'nin α tetikleme açısı 0° ile 180° arasında ayarlanabilir. T_{fT} ateşlenir ateşlenmez, asenkron makina iki fazlı bir makina gibi çalışmaya başlar. Sonra T_{fR} triyotü bir

ateşleme işareti alır. T_{fR} tristörünün ateşleme açısı Şekil 8.7’de görüldüğü gibi geçikme açısı β ile α olarak tanımlanır. Asenkron motorun bütün fazları şimdi üç fazlı çalışma için şebekeye bağlıdır.

Yüksek gerilimli büyük asenkron motorların doğrudan yol alması için özel olarak geliştirilen statik anahtardaki tristörlerin ateşleme sürelerinin ilk değerleri, yol verme sırasında moment ve akım darbelerini azaltmak için asenkron makinanın statora bağlı eksen takımındaki matematiksel modelinin kullanımı ile belirlenir.



Şekil 8.7 Tristörlerin ateşleme süreleri

8.2.1 Statik Anahtardaki Tristörlerin Ateşleme Açılarının Belirlenmesi

Asenkron motorun kalkış süresi sırasında ani akım ve moment darbelerini azaltmak için, T_{fT} ve T_{fR} tristörlerinin ateşleme açılarının (α , β) ilk değerlerinin belirlenmesi gerekir. Bu, asenkron motorun aşağıdaki matematiksel modeli vasıtasıyla elde edilir [14]. Bu modelin SIMULINK programında kurulması ile asenkron motorun ve statik anahtarın simülasyonu yapılır ve ateşleme açıları belirlenir.

$$\begin{bmatrix} u_{sD} \\ u_{sQ} \\ u_{rd} = 0 \\ u_{rq} = 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_s + pL_s & 0 & pL_m & 0 \\ 0 & R_s + pL_s & 0 & pL_m \\ pL_m & w_r L_m & R_r + pL_r & w_r L_r \\ -w_r L_m & pL_m & -w_r L_r & R_r + pL_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{sD} \\ i_{sQ} \\ i_{rd} \\ i_{rq} \end{bmatrix} \quad (8.2.1)$$

$$J \frac{d\omega_r}{dt} = t_e - t_y - D\omega_r \quad (8.2.2)$$

$$t_e = \frac{3}{2} p_k L_m (i_{rd} i_{sQ} - i_{rq} i_{sD})$$

$$u_{sD} = \frac{2}{3} \left(u_{sA} - \frac{1}{2} u_{sB} - \frac{1}{2} u_{sC} \right) \quad (8.2.3)$$

$$u_{sQ} = \frac{1}{\sqrt{3}} (u_{sB} - u_{sC})$$

$$\begin{bmatrix} i_{sA} \\ i_{sB} \\ i_{sC} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} i_{sD} \\ -\frac{1}{2} i_{sD} + \frac{\sqrt{3}}{2} i_{sQ} \\ -\frac{1}{2} i_{sD} - \frac{\sqrt{3}}{2} i_{sQ} \end{bmatrix} \quad (8.2.4)$$

Simülasyonda kullanılan yüksek gerilimli kafesli asenkron motor büyüklükleri aşağıda verilmiştir.

$U_n=6.3\text{kV}$, $P_n=250\text{kW}$, $I_n=28\text{A}$, $f_n=50\text{Hz}$, $n_n=2961\text{min}^{-1}$, $R_s=1,84\Omega$, $R_r=3,72\Omega$, $L_m=0,923\text{H}$, $L_s=L_r=0,955\text{H}$, $J=3,75\text{kgm}^2$, $M_n=806\text{Nm}$

Doğrudan yolverici için matematiksel modelde aşağıdaki varsayımlar kabul edilir:

- 1) Tristörlerin ideal güç yarı iletken düzenekleri olduğu varsayılır.
- 2) Uzay harmonikleri ve asenkron motorun magnetik doyum etkileri ihmal edilir.
- 3) Stator ve rotor sargı direnç ve reaktanslarının yol alma sırasında sabit olduğu varsayılır.

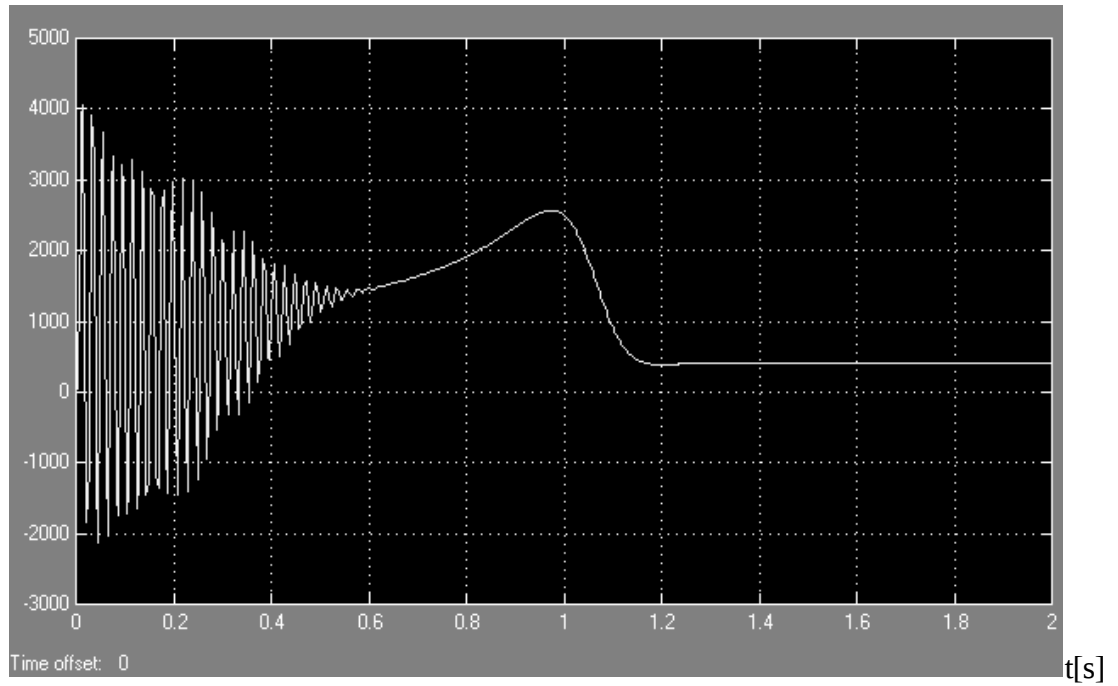
4) Üç faz şebeke gerilimleri sabit olduğu varsayılır.

5) Üç faz şebeke gerilimleri sabit frekansta dengeli ve simetrikdir [11].

Asenkron motorun nominal yükte yol alma performansı farklı ilk anahtarlama koşulları için incelenmiş, $(\alpha=0^\circ, \beta=0^\circ)$, $(\alpha=0^\circ, \beta=90^\circ)$, $(\alpha=60^\circ, \beta=90^\circ)$, $(\alpha=80^\circ, \beta=90^\circ)$ ve $(\alpha=90^\circ, \beta=90^\circ)$ için sonuçlar aşağıdaki şekillerde verilmiştir. Burada önemli olan nokta, optimum doğrudan yol alma performansını sağlayan (α, β) anahtarlama açılarını belirlemektir. Yol alma performansının ölçüsü olarak şu kriterler kullanılır:

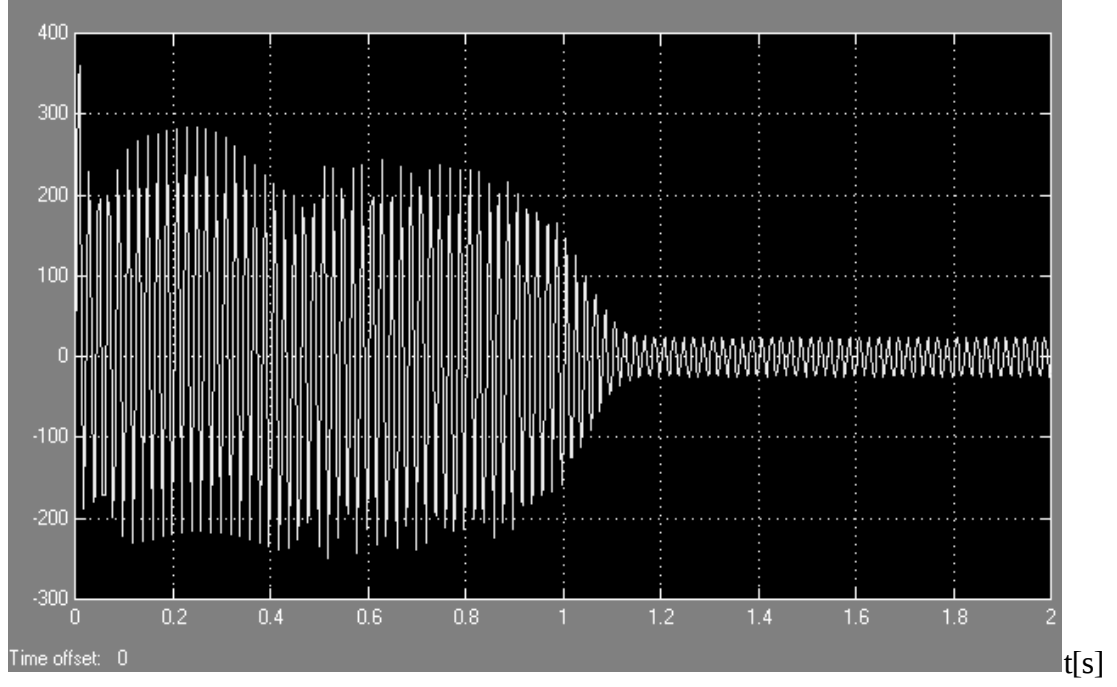
- 1) Kalkış akımının minimum tepe değerde olması,
- 2) Moment darbelerinin azaltılması,
- 3) Minimum kalkış süresi.

M[Nm]



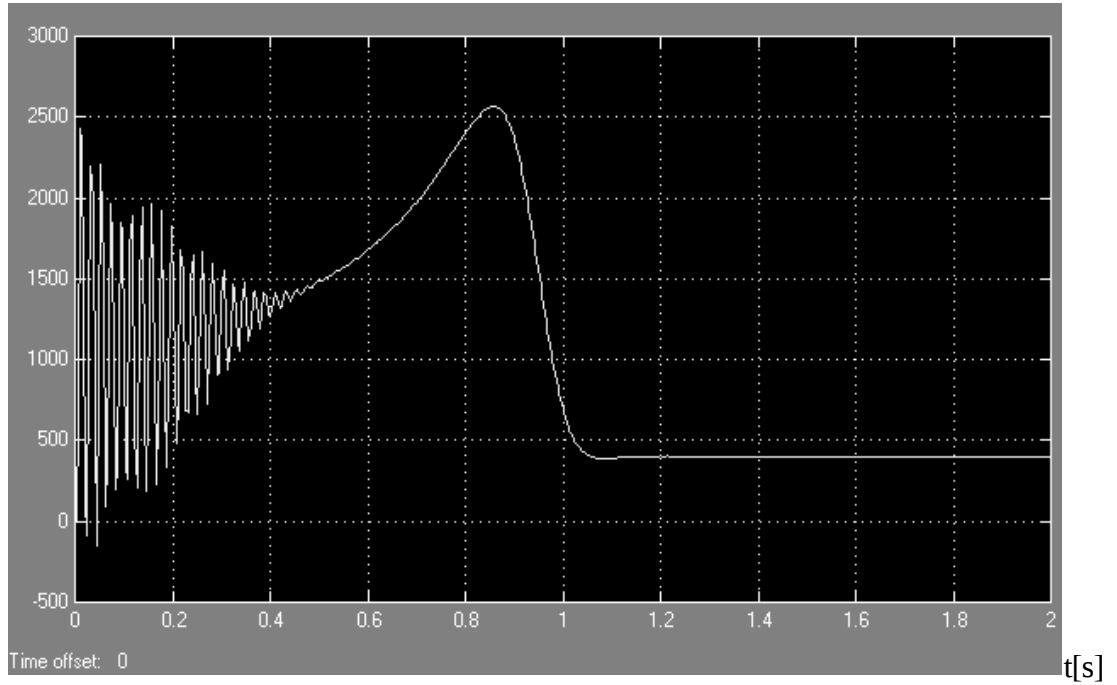
Şekil 8.8 $\alpha=0^\circ, \beta=0^\circ$ durumunda anma yükünün yarısında elektromanyetik momentin zamana göre değişimi

$i_{sA}[A]$



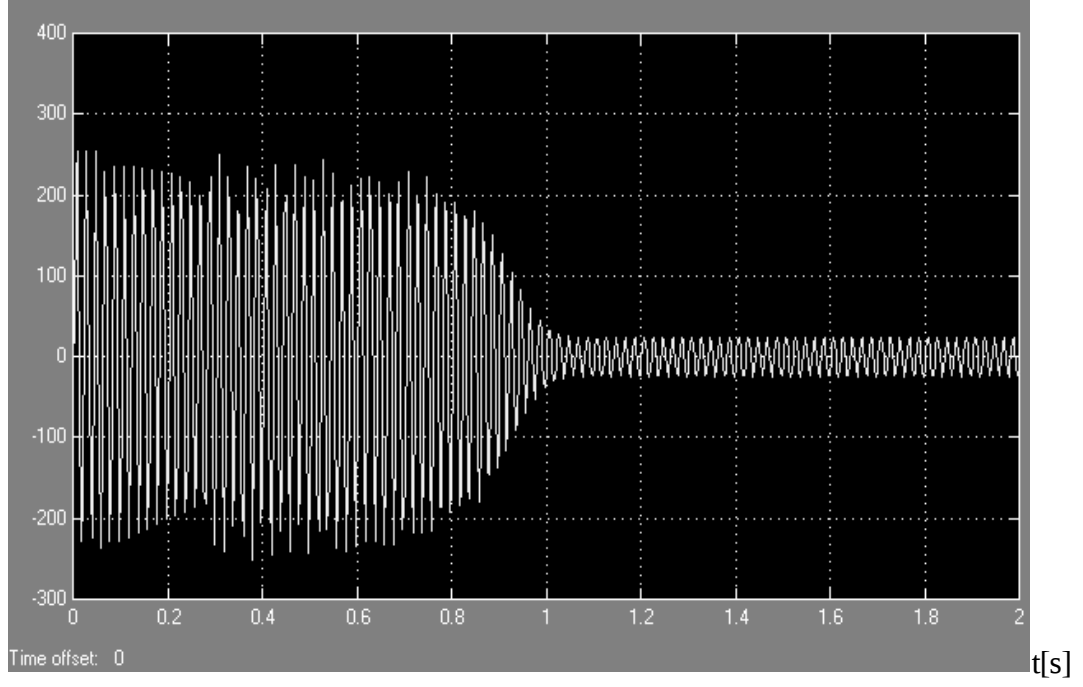
Şekil 8.9 $\alpha=0^\circ$, $\beta=0^\circ$ durumunda anma yükünün yarısında motor i_{sA} stator akımının zamana göre değişimi

$M[Nm]$



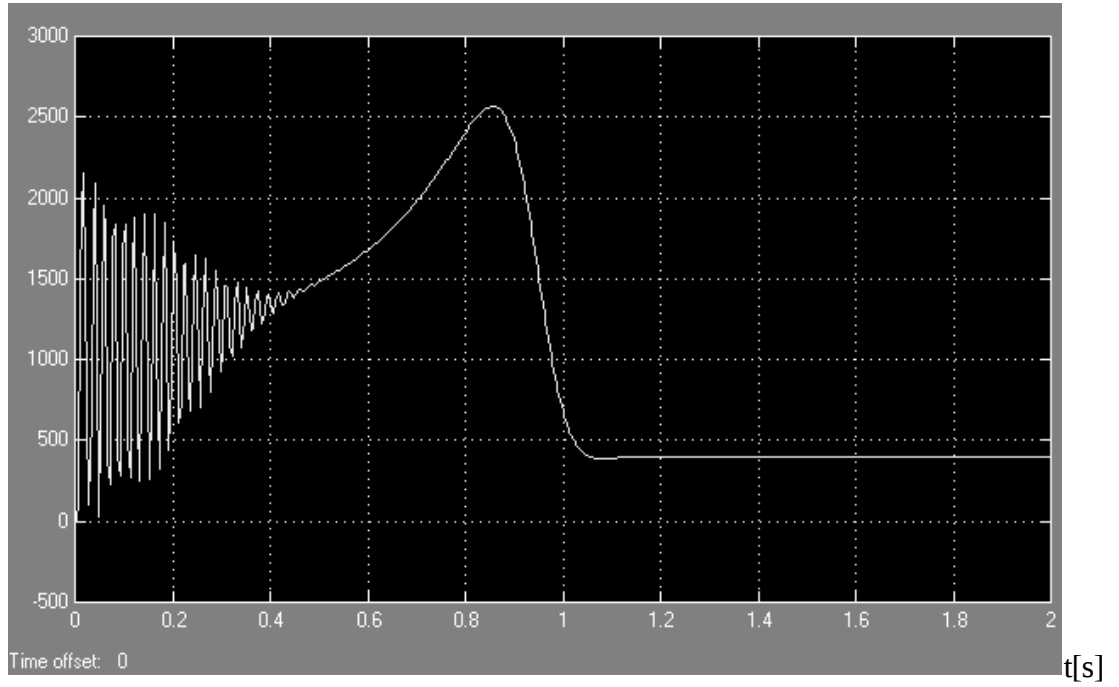
Şekil 8.10 $\alpha=0^\circ$, $\beta=90^\circ$ durumunda anma yükünün yarısında elektromanyetik momentin zamana göre değişimi

$i_{sA}[A]$



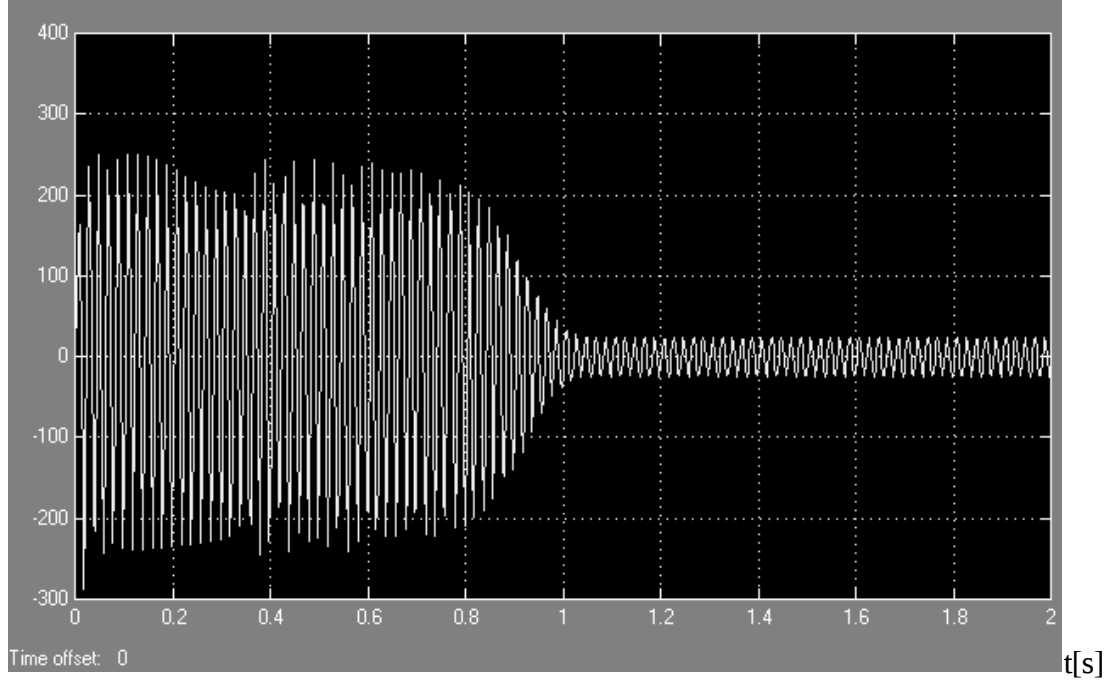
Şekil 8.11 $\alpha=0^\circ$, $\beta=90^\circ$ durumunda anma yükünün yarısında motor i_{sA} stator akımının zamana göre değişimi

$M[Nm]$



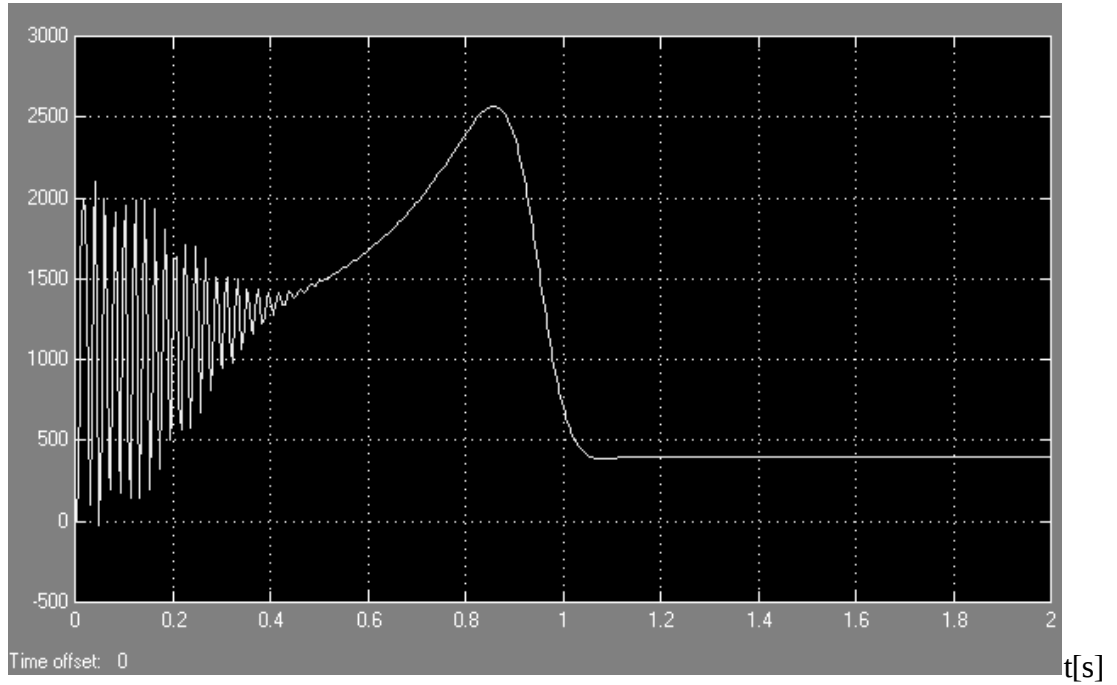
Şekil 8.12 $\alpha=60^\circ$, $\beta=90^\circ$ durumunda anma yükünün yarısında elektromanyetik momentin zamana göre değişimi

$i_{sA}[A]$



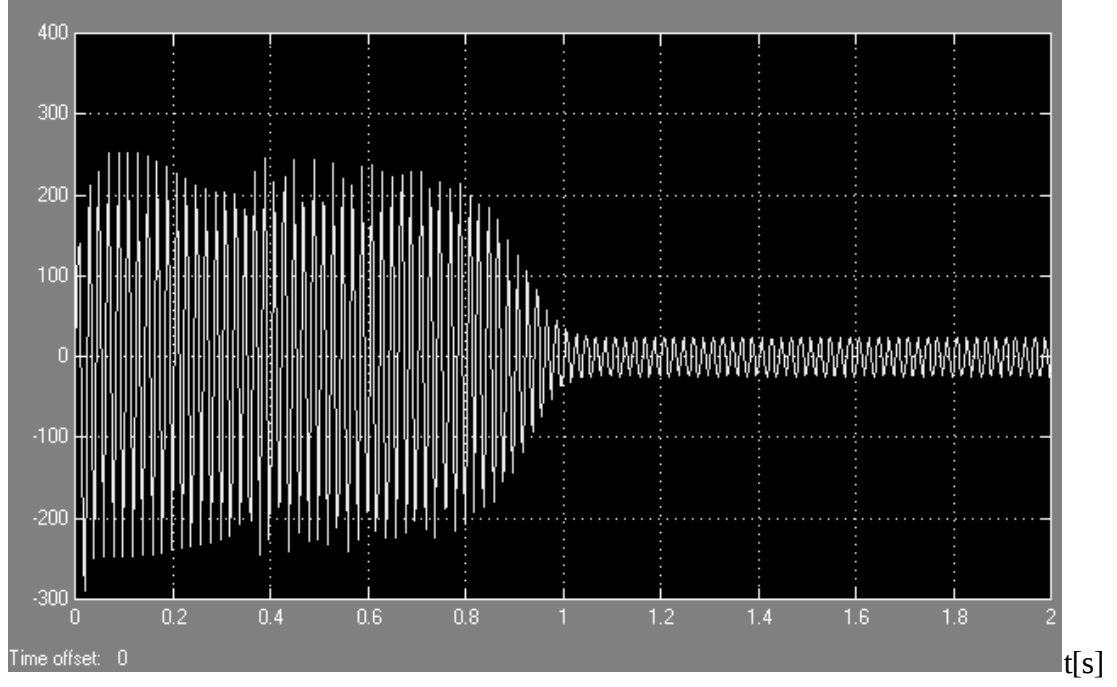
Şekil 8.13 $\alpha=60^\circ$, $\beta=90^\circ$ durumunda anma yükünün yarısında motor i_{sA} stator akımının zamana göre değişimi

$M[Nm]$



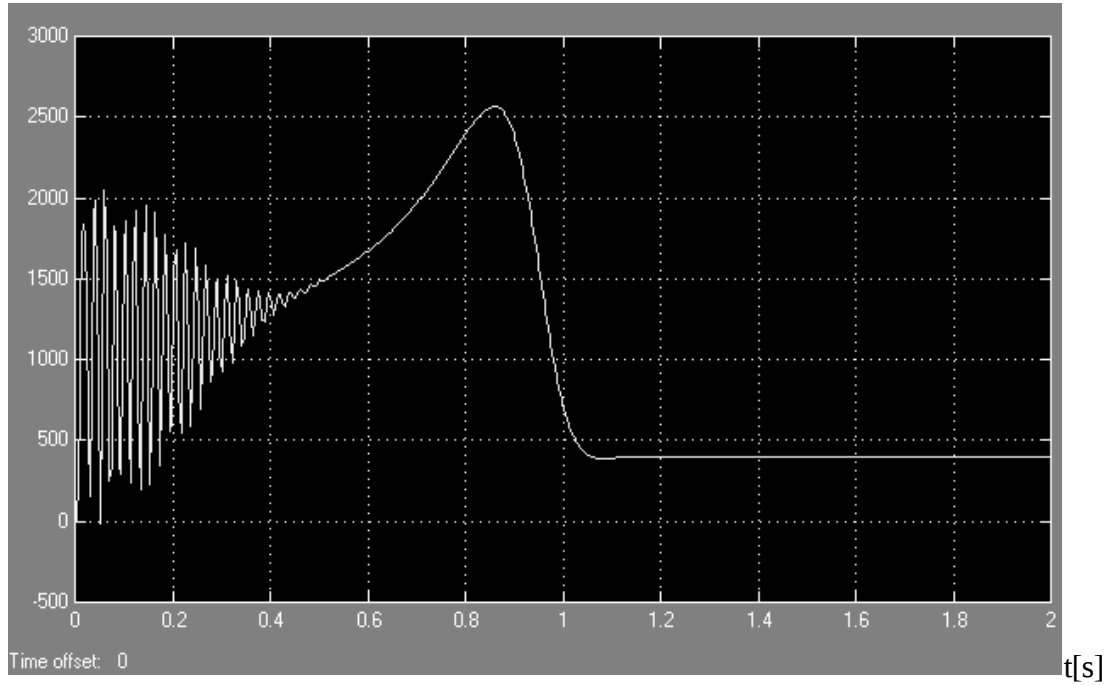
Şekil 8.14 $\alpha=80^\circ$, $\beta=90^\circ$ durumunda anma yükünün yarısında elektromanyetik momentin zamana göre değişimi

$i_{sA}[A]$



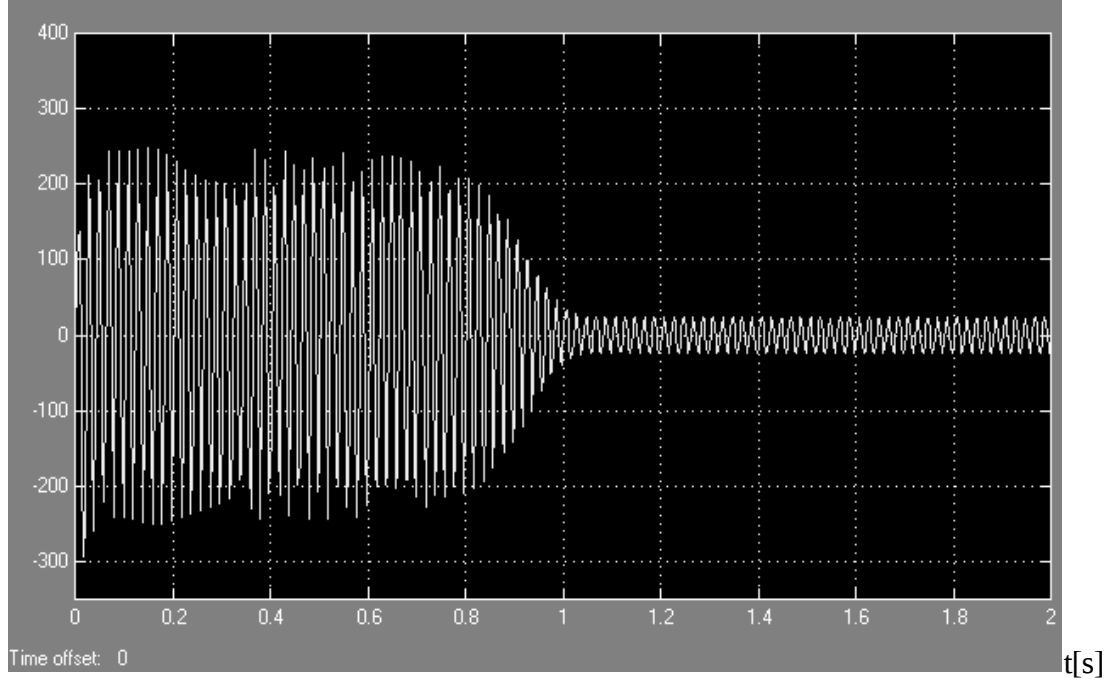
Şekil 8.15 $\alpha=80^\circ$, $\beta=90^\circ$ durumunda anma yükünün yarısında motor i_{sA} stator akımının zamana göre değişimi

$M[Nm]$



Şekil 8.16 $\alpha=90^\circ$, $\beta=90^\circ$ durumunda anma yükünün yarısında elektromanyetik momentin zamana göre değişimi

$i_{sA}[A]$



Şekil 8.17 $\alpha=90^\circ$, $\beta=90^\circ$ durumunda anma yükünün yarısında motor i_{sA} stator akımının zamana göre değişimi

Şekillerden de anlaşıldığı gibi tristörlerin tetiklenmesiyle kalkış akım ve moment darbeleri ve kalkış süresi azalmaktadır. Faz akımının tepe değeri bakımından en iyi performansı $(\alpha=80^\circ, \beta=90^\circ)$ ve $(\alpha=90^\circ, \beta=90^\circ)$ açıları sağlamaktadır. Bu yüzden tristörlerin ilk ateşleme açıları $(\alpha=90^\circ, \beta=90^\circ)$ seçilir.

8.2.2 Statik Anahtarın Yapısı, Avantaj Ve Dezavantajları

Statik anahtar; güç devresi, kontrol ve ateşleme devresi, hata algılama ve koruma devresinden oluşur.

Avantajları:

1. Kalkış sırasında ani akım ve moment darbelerinin azaltılması,
2. Kısa kalkış süresinden dolayı kalkış sırasında stator ve rotor ısınmasında azalma (özellikle MW gücündeki motorlar için önemlidir),
3. Uzun çalışma ömrü,
4. Minimum bakım ihtiyaçları,

5. Sessiz çalışma ,
6. Sıradan devre kesiciler kadar yer kaplar.

Dezavantajları;

1. İletim modunda güç kaybı,
2. Hata akımlarına karşı koruma için yüksek gerilim yarı iletken sigortalar, sıradan devre kesiciler ve ayrıca elektronik koruma devrelerinin kullanımını gerektirir,
3. Daha yüksek ilk maliyet.

Uygulamada statik anahtar, bakım ve onarım masraflarını önemli ölçüde azaltır. Kalkış akım ve moment darbelerinin azaltılması statik sistemin diğer avantajlarıdır. Şebekenin yetersiz olması halinde, statik anahtara diğer faz içinde ters paralel tristör çiftinin yerleştirilmesi ile yumuşak yol verme özellikleri de eklenebilir.

8.3 Yüksek Gerilimli Kafesli Asenkron Motorlara Seri Bobin İle Yol Verme

Seri bobin ile yol vermede ucuz maliyetle alınan bobinin reaktans değerine bağlı olarak motorun besleme gerilimi azalır. Böylelikle motorun kalkış akımı doğrusal, momenti ise karesel olarak azalır. Bu ise istenmeyen durumdur. Çünkü asenkron motorlarda M_a/ M_n kalkış momenti oranının büyük, I_a/ I_n kalkış akımı oranının küçük olması arzu edilir.

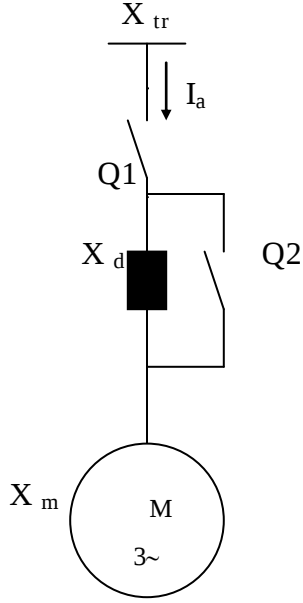
Tesiste kullanılan yüksek gerilimli blower motoru anma momentinin %75 ile kalkış yapabilmektedir. Bu momenti sağlamak için motora seri bobin bağlanması durumunda motor uçlarındaki gerilim U_m :

Kalkış momenti motor geriliminin karesi ile doğru orantılı değiştiğinden;

$$M_{ax} = M_a \cdot \left(\frac{U_m}{U_n} \right)^2$$

$$0,75M_n = 1,4M_n \cdot \left(\frac{U_m}{U_n} \right)^2$$

$$\frac{U_m}{U_n} = 0,732$$



Şekil 8.18 Seri bobin ile yolvermenin şematik diyagramı

Kalkış akımı motor gerilimi ile doğru orantılı değiştiğinden:

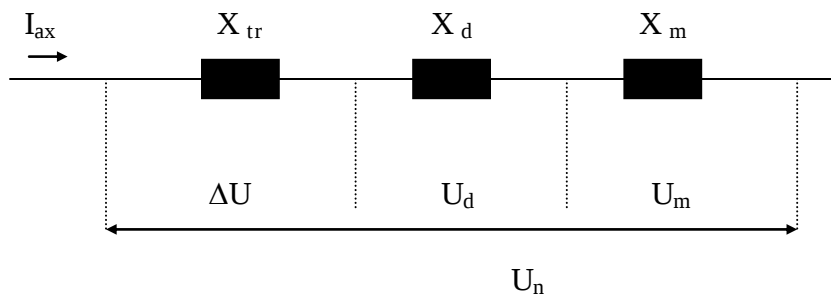
$$I_{ax} = I_a \cdot \left(\frac{U_m}{U_n} \right)$$

$$I_{ax} = 6I_n \cdot 0,732$$

$$I_{ax} = 4,4I_n$$

Kalkış akımı nominal akımın 4,4 katı olarak bulunur.

Seri bobinin reaktansı X_d :



Şekil 8.19 Seri bobin ile yolvermenin kısadevre eşdeğer devresi

$$\frac{U_m}{U_n} = \frac{X_m}{X_{tr} + X_d + X_m}$$

$$0,732 = \frac{21,65}{2,38 + X_d + 21,65}$$

$$X_d=5,54 \text{ ohm/faz}$$

Gerilim düşümü ε :

$$\varepsilon = \frac{\Delta U}{U_n} = \frac{X_{tr}}{X_{tr} + X_d + X_m}$$

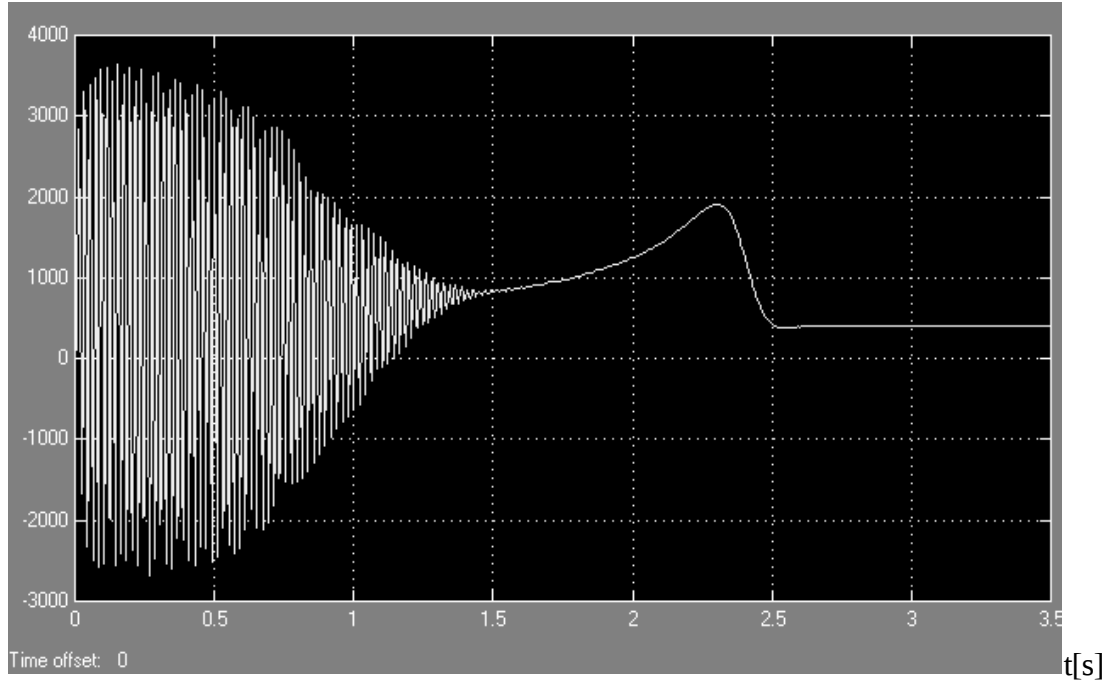
$$\varepsilon = \frac{2,38}{2,38 + 5,54 + 21,65}$$

$$\varepsilon=0,08$$

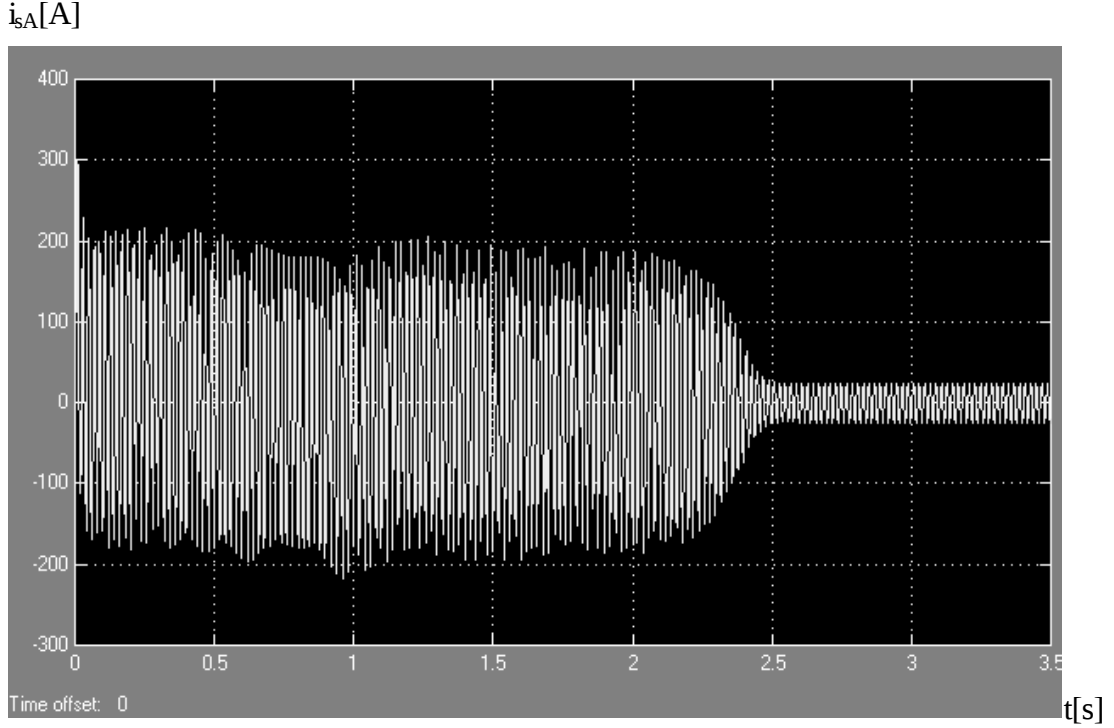
$$\varepsilon= \%8$$

Reaktansı 5,54 ohm/faz olan bobin ile motora yolverilirse bu sistemde motor nominal momentinin %75 ile kalkış yapar, kalkış akımı nominal akımının 3,588 katı olur ve gerilim düşümü %8 olup sınır değerdedir.

$M[Nm]$



Şekil 8.20 Reaktansı 5,54 ohm/faz olan bobin ile motora anma yükünün yarısında yolverilmesi durumunda elektromanyetik momentin zamana göre değişimi



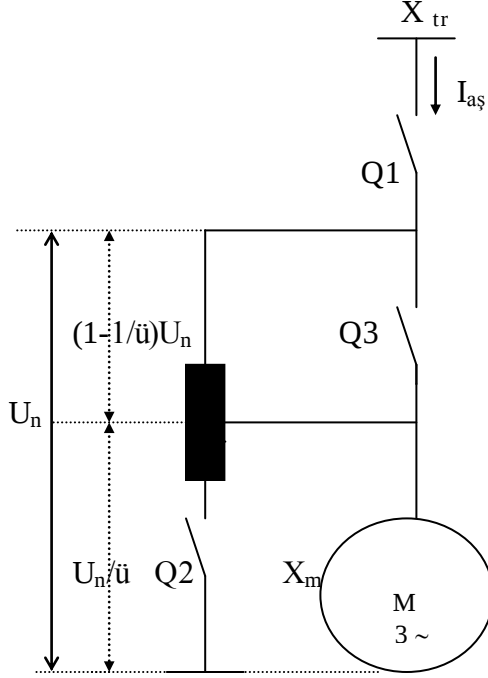
Şekil 8.21 Reaktansı 5,54 ohm/faz olan bobin ile motora anma yükünün yarısında yol verilmesi durumunda i_{sA} stator akımının zamana göre değişimi

8.4 Yüksek Gerilimli Kafesli Asenkron Motorlara Transformatör İle Yol verme

Transformatörle yol verme, sınırsız gerilim ve moment ayar imkanı sağladığından, yol verme yöntemleri içinde önemli bir yer tutar. Maliyeti yüksektir ve bobin ile yol vermeye göre daha pahalıdır. Büyük güçlü asenkron motorlarda transformatör olarak çoğunlukla ototransformatör kullanılır. Motor ototransformatörün çevirme oranına bağlı olarak, düşük gerilimle beslenerek kalkış yapar. Böylelikle motorun yol verme akımı küçültülür. Moment ise gerilime karesel bağımlı olduğundan onun değeri de karesel azalır. Ardından motor senkron hızın %85-%90'nına ulaştığında ototransformatör devreden çıkarılır ve motor ayrı bir hat üzerinden doğrudan şebekeye bağlanır.

Kalkış esnasında dikkat edilmesi gereken en önemli nokta; yol verme geriliminin doğru olarak hesaplanmasıdır. Bu gerilim, motorun tahrik sisteminin ilk hareketini sağlayacak momenti üretmesi için yeterli büyüklükte olmalıdır. Aksi takdirde motor kalkış yapamaz, kısa devre olur ve zarar görür.

Tesiste kullanılan yüksek gerilimli blower motoruna, anma momentinin %75 ile kalkış yapmasını sağlayacak bir ototransformatör ile yolverilmesi durumunda motora uygulanacak gerilim U_m :



Şekil 8.22 Ototransformatör ile yolvermenin kısadevre eşdeğer devresi

$$M_{ax} = M_a \cdot \left(\frac{U_m}{U_n} \right)^2$$

$$0,75M_n = 1,4M_n \cdot \left(\frac{U_m}{U_n} \right)^2$$

$$\frac{U_m}{U_n} = 0,732$$

Ototransformatörün çevirme oranı $\ddot{u}$:

$$\frac{1}{\ddot{u}} = \frac{U_m}{U_n} = 0,732$$

$$\ddot{u} = 1,366$$

Motorun kalkış akımı I_{ax} :

$$I_{ax} = I_a \cdot \left(\frac{U_m}{U_n} \right)$$

$$I_{ax} = 6I_n \cdot 0,732$$

$$I_{ax} = 4,4I_n$$

Ototransformatörün şebekeden çektiği kalkış akımı $I_{aş}$:

$$\frac{I_{ax}}{I_{aş}} = \ddot{u}$$

$$I_{aş} = \frac{I_{ax}}{\ddot{u}}$$

$$I_{aş} = \frac{4,4I_n}{1,366}$$

$$I_{aş} = 3,2I_n$$

Ototransformatörle kısa devre kafesli asenkron motora yol verildiğinde şebekeden çekilen akım, motorun çektiği kalkış akımından düşük olmaktadır. Bu transformatörle yolvermenin seri bobin ile yolvermeye olan üstünlüğüdür.

Yolverme transformatörünün kısa devre reaktansını ihmal edersek sistemin toplam reaktansı X_{top} :

$$\frac{1}{\ddot{u}} = \sqrt{\frac{X_m}{X_{top} - X_{tr}}}$$

$$0,732 = \sqrt{\frac{21,65}{X_{top} - 2,38}}$$

$$X_{top} = 42,8 \text{ ohm/faz}$$

Gerilim düşümü ε :

$$\varepsilon = \frac{\Delta U}{U_n} = \frac{X_{tr}}{X_{top}}$$

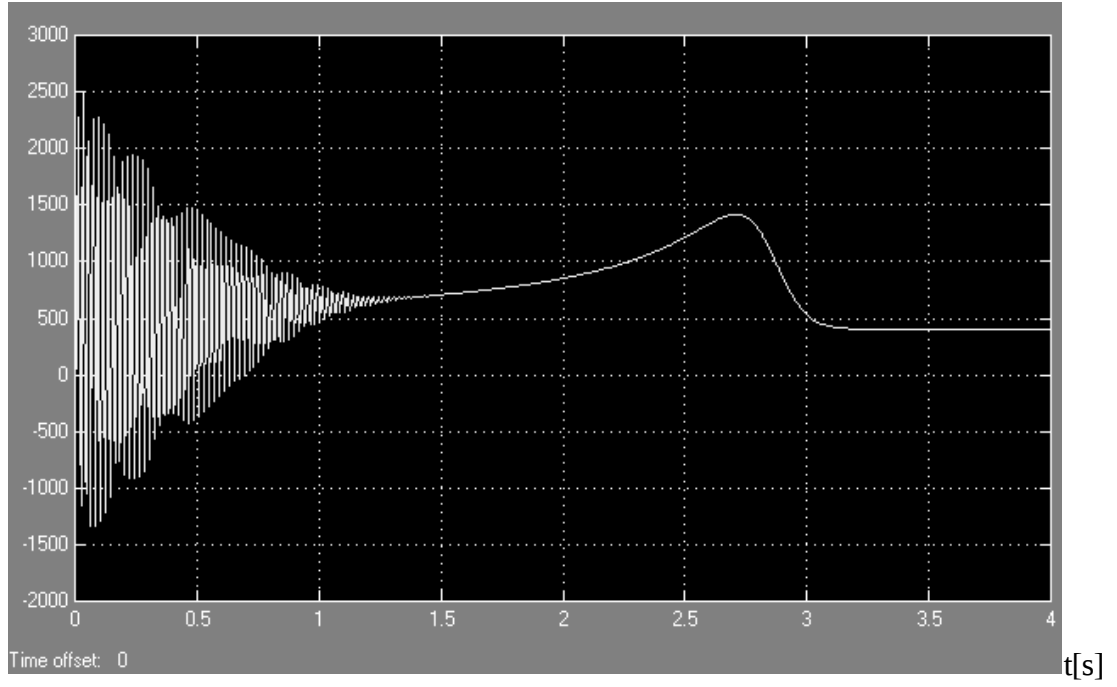
$$\varepsilon = \frac{2,38}{42,8}$$

$$\varepsilon = 0,055$$

$$\varepsilon = \%5,5$$

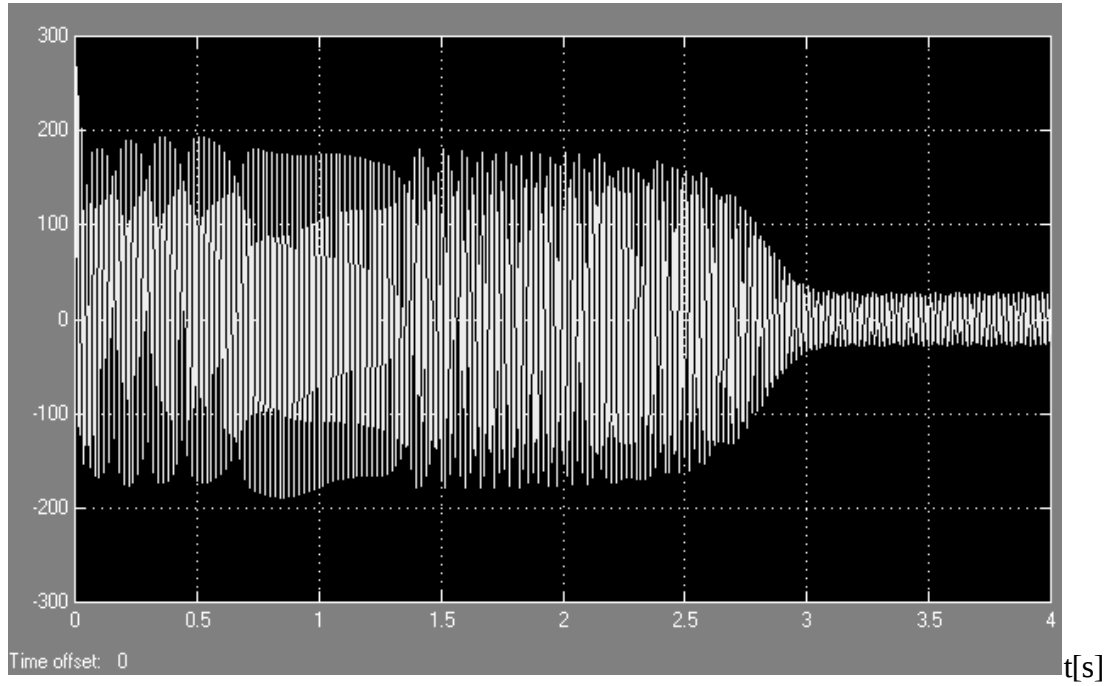
Çevirme oranı 1,366 olan ototransformatör ile motora yolverilirse bu sistemde motor nominal momentinin %75 ile kalkış yapar, kalkış akımı nominal akımının 4,4 katı, şebekeden çekilen akım nominal akımın 3,2 katı olur ve gerilim düşümü %5,5 olup sınır değerin altındadır.

$M[\text{Nm}]$



Şekil 8.23 Çevirme oranı 1,366 olan ototransformatör ile motora anma yükünün yarısında yol verilmesi durumunda elektromanyetik momentin zamana göre değişimi

$i_{sA}[\text{A}]$



Şekil 8.24 Çevirme oranı 1,366 olan ototransformatör ile motora anma yükünün yarısında yol verilmesi durumunda i_{sA} stator akımının zamana göre değişimi

8.5 Yüksek Gerilimli Kafesli Asenkron Motorlara Yumuşak Yolvericiler İle Yolverme

Güç yarı iletkenlerinin kullanıldığı asenkron motor yolvericileri, sınırlı kalkış akımı ile kontrollü yumuşak kalkış özelliklerinden dolayı elektromanyetik yolvericiler ve sıradan düşük gerilim yolvericilerin yerine kullanılması yaygınlaşmıştır. Motora düşük gerilim uygulayan tristörlü yumuşak yolvericiler ucuz , basit, güvenilir ve daha az yer kaplarlar. Yüksek kalkış momenti gerektirmeyen uygulamalarda bunların kullanımı, yüksek gerilimli asenkron motorların kalkış problemleri için pratik bir çözümdür. Elektrik şebekesindeki rahatsızlıklardan dolayı motorda meydana gelen geçici olayların azalmasıda sağlarlar. Bu rahatsızlıklar anlık gerilim dalgalanmaları olabildiği gibi uzun süreli gerilim kesintileride olabilir. Eğer gerilimdeki düşme önemli ise ana devre kesici veya yumuşak yolverici motoru şebekeden ayırır. Sürekli bir proseste ana motorun devre dışı kalması maliyetlerin artmasına sebep olmaktadır. Bu yüzden motor durmadan önce başka bir baraya, yedek kaynağa (generator) veya durumun düzelmesinden sonra şebekeye tekrar geri bağlanmalıdır. Sıradan sistemlerde bu, moment ve akımlarda önemli geçici durumlara neden olur.Yeterli bir şekilde tekrar devreye alma motor girişlerinin şebekeye kontrollü anahtarlanması gerektirir [15].

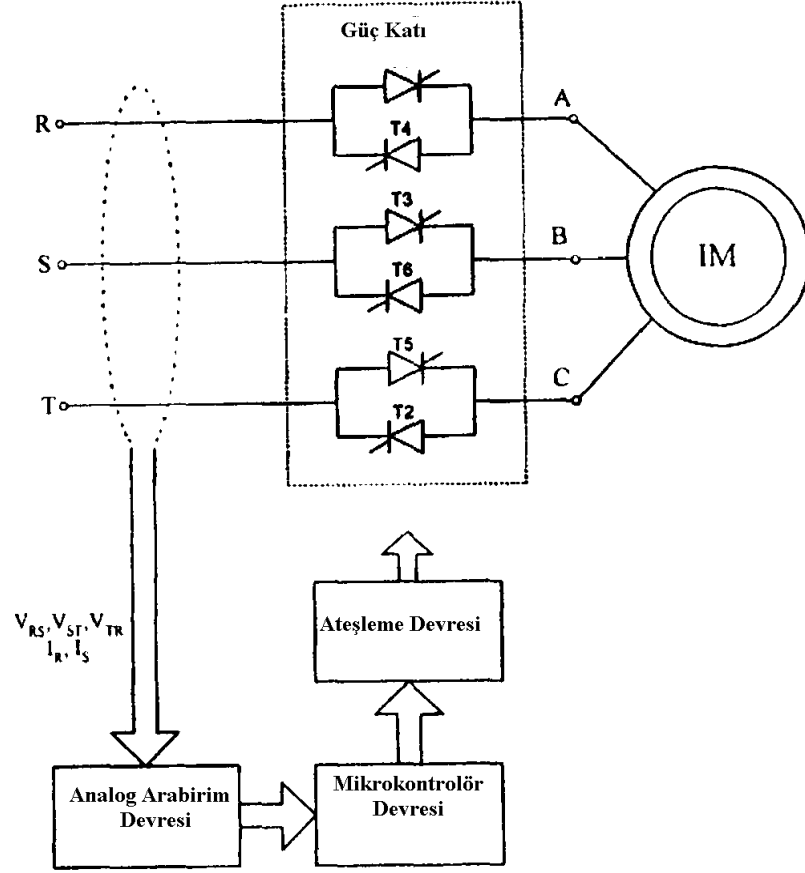
Tristörlü gerilim kontrolöründen beslenen 3 fazlı asenkron motorda, tristörlerin ateşleme açıları ile geçici durumları düzeltmek mümkündür. Doğru tetikleme fonksiyonunun kullanılması ile geçici moment düzeltilir. Asenkron motor büyük elektromanyetik moment darbeleri üretebilir. Elektromanyetik moment darbelerinin büyüklüğü kalkışta milde yansır ve tekrar devreye alma anı mekanik sistemin parametrelerine bağlıdır. Bu darbeler sürülen mekanik kısımda sarsıntılara sebep olabilir, mil, kaplin ve dişli gibi kısımlar zarar görebilir [15].

8.5.1 Yüksek Gerilimli Yumuşak Yolvericinin Çalışma Prensibi

Asenkron motor yumuşak yolvericinin şematik diyagramı Şekil 8.25’de verilmiştir. Her faz için üç tane ters paralel tristör çifti, bir mikrokontrolör, ateşleme devresi ve analog arabirim devresinden oluşur. Analog arabirim devresi fazarası gerilimlerin ve iki hat akımının işaretlerini alır. Bu akım işaretlerinin biri kalkış periyodu sırasında akımı mevcut değerinde sabit tutmak için geri besleme işareti olarak kullanılır [15].

Üçüncü hat akımı mikrokontrolör ile diğer iki akım işaretlerinden belirlenir. Bunlar aşırı yük, dengesiz çalışma ve hatalara karşı koruma için kullanılır. Fazarası

gerilimlerin işaretleri gerilimin sıfır olduğunu algılama, düşük ve aşırı gerilimlere karşı koruma için kullanılır [15]. Gerilim kontrolörünün tristörleri Şekil 8.25’de



Şekil 8.25 Yumuşak yolvericinin şematik diyagramı

gösterildiği sırada ateşlenir. Kaynak gerilimlerinin üç fazlı ve dengeli sinüslerden oluştuğu ve tristörlerin ideal anahtar olduğu varsayımıyla gerilim kontrolü yaparken tetikleme açılarını belirlemek amacıyla aşağıdaki tetikleme fonksiyonları yazılabilir [16].

$$TW_1 = \alpha + 6 \times M + 6 \times M \times (K-1)$$

$$TW_2 = \alpha + M + 6 \times M \times (K-1)$$

$$TW_3 = \alpha + 2 \times M + 6 \times M \times (K-1) \quad (8.5.1)$$

$$TW_4 = \alpha + 3 \times M + 6 \times M \times (K-1)$$

$$TW_5 = \alpha + 4 \times M + 6 \times M \times (K-1)$$

$$TW_6 = \alpha + 5 \times M + 6 \times M \times (K-1)$$

$M = 60^\circ$ 'lık bir sabittir ve $K=1,2,3$ olarak mevcut periyot numarasını gösterir.

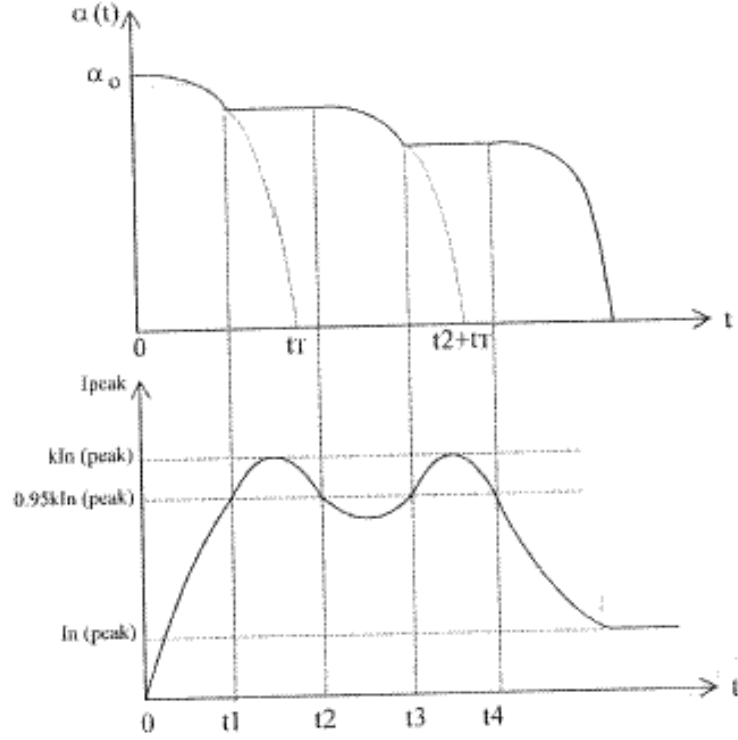
İndüktiviteden dolayı tetikleme açısı yükün empedans açısının altında olmamalıdır. Empedans açısının altındaki bir tetikleme açısı için tristörler akım kıyması yapmayacaktır. Her bir tristör 60° iletimde kalır ve dolayısıyla 150° 'nin üzerindeki tetikleme açılarında iki tristörle iletim için yeterli süre kalmayacağından $\alpha = 150^\circ$ maksimum tetikleme açısıdır. Dolayısıyla tetikleme açısı için $\Phi < \alpha < 150^\circ$ çalışma aralığı geçerlidir [16].

Başlangıç anında kaynak geriliminin sıfır geçişinden itibaren α kadar bir geçikme sonra T_1 tristörü iletime geçer. $\alpha + 60^\circ$ anında T_2 tristörü iletime geçer. Dolayısıyla $\alpha + 60^\circ$ anında stator A ve C fazlarının kaynağa bağlanması ile iletim başlamış olur. Yıldız bağlı motorun nötr bağlantısı yoksa en az iki tristörün aynı anda iletimde olması gerekir. $\alpha + 120^\circ$ anında T_3 tristörü iletime geçer ve stator B fazı da kaynağa bağlanmış olur. Böylece üç fazlı iletim başlar. İletimde olan tristörlerden birinin akımı sıfır olunca o tristör kesime gider ve iki fazlı iletim devam eder ya da o tristöre ters paralel bağlı eşlenik tristör iletime geçerse üç fazlı iletim devam eder [16].

Mikrokontrolörün kullanılması ile akım kontrol metodu gerçekleştirilir. Akım kontrol metodunda kalkış akımı mevcut değerinde sabit tutulur. Şekil8.26'da görüldüğü gibi akım kontrol yöntemi, hat akımlarından birinden alınan geribesleme işaret doğrultusunda α tetikleme açısının cosinüsoidal ve sabit fonksiyon bölümlerinden oluşur. Kalkış akımı operator tarafından $I_{n(tepe)}$ ile $kI_{n(tepe)}$ arasında herhangi bir değere ayarlanabilir. $I_{n(tepe)}$ motor nominal akımının tepe değerini, k ise kalkış akımının nominal akıma oranını gösterir. Motor tipine bağlı olarak doğrudan kalkış akımı farklı motorlar için nominal akımın 5 ila 8 katı arasında değiştiği için k 'nın maksimum değeride bu sayılar arasında değişir. Kontrolör $kI_{n(tepe)}$ 'den daha düşük seçilen bir sınır değer ile harekete geçer. Burada amaç $kI_{n(tepe)}$ etrafındaki akım dalgalanmalarını tutmaktır. Şekil 8.26'da kontrolörün harekete geçtiği daha küçük sınır değer $0,95kI_{n(tepe)}$ 'dir [15].

Şekil8.26'da ilk ateşleme açısı α kontrolör tarafından tahmin edilir ve kontrolör sadece anahtarlama anında kalkış akımının mevcut değerini verir. t_T cosinüsoidal α değişiminin dörtte bir periyodudur. $t = 0$ da motor enerjilendikten sonra ateşleme açısı kontrolör tarafından akım $0,95kI_{n(tepe)}$ sınır değerine ulaşmaya ve geçinceye ($t = t_1$)'e kadar cosinüsoidal olarak değiştirilir. Akım $0,95kI_{n(tepe)}$ değerine geri dönünceye kadar akım kontrolör ateşleme açısını t_1 'deki değerinde $\alpha(t_1)$ 'de sabit

tutar. t_2 - t_3 arasında kalkış akımı azalır. Motor işletme hızına ulaşıncaya kadar kontrolör bu tarzda çalışmasını tekrarlar. Şekil 8.26'da değişimler akım kontrolörün çalışma prensibini göstermek için abartılı ve ölçeksiz çizilmiştir. İşletme hızında α sıfır değerine ulaşır [15].



Şekil 8.26 α tetikleme açısının kalkış akımına göre zamanla değişimi

8.6 Değişken Frekanslı Sürücüler

Endüstride yüksek gerilimli asenkron motorların değişken hız kontrolü için frekans çeviricilerin kullanımı gittikçe artmaktadır. Frekans çeviriciler, yüksek gerilimli motorların kontrolünde geniş bir esneklik sağlarlar. Tam yükten, devrilme momentinin %80'ine kadar motor momentlerini 0 hıza kadar işletme hızına kadar bütün hız aralığında elde edebilirler. Momentteki bu esneklik ile yük kolayca hızlandırılır ve yavaşlatılır. Bu yavaş hızlanma ve yavaşlama mekanik titreşim ve sarsıntıları sınırlar. Frekans çeviriciler yumuşak hız değişimi ve sıkı hız kontrolü sağlar. Genel olarak maksimum sürücü akımları yük akımlarının %100-%150 arasındadır. Frekans çeviriciler herhangi bir yükte kalkış için en iyi kontrolü sağlayabilir. Ancak frekans çeviriciler, motor kontrolörlerinin en pahalı ve karmaşık olanıdır [13].

9. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, son yıllarda önemi giderek artan atıksu arıtma tesislerinin yapısı ve çalışması, kullanılan elektrik motorlarına yolverilmesi incelenmiştir. Bu amaçla atıksu arıtma tesislerinin genel yapısı ve biyolojik arıtma proseslerinden aktif çamur tekniği ele alınmıştır. Daha sonra İSKİ Paşaköy Atıksu Arıtma Tesis'i'nin yapısı ve çalışması incelenmiştir. Bu tesiste aktif çamur prosesinin nasıl gerçekleştiği görülmüştür. Bu prosesi gerçekleştiren ekipmanların fonksiyonları ve yapıları araştırılmış, motor güç ifadeleri verilmiştir. Bu ifadelerden motor güçleri hesaplanmıştır. Tesisin kurulu ve işletme gücü bulunarak buradan trafo seçimleri yapılmıştır.

Tesiste doğrudan yol verilebilecek en büyük motor gücü hesap edilmiş, bu gücü geçen bir motora doğrudan yolverilmesi durumun da gerilim düşümü hesap edilmiş ve bu motora yıldız-üçgen yolverilmesi gerektiği görülmüştür ve hesap edilen güçten küçük motorlara yıldız-üçgen yolvermenin gereksiz olduğu anlaşılmıştır.

Tesiste kullanılan yüksek gerilimli motorların yapılarından dolayı bunlara yıldız-üçgen yolverilemeyeceğinden diğer yolverme yöntemleri incelenmiştir. Bu yolverme yöntemlerinin avantaj ve dezavantajları açıklanmıştır.

Doğrudan yolverme, güç yarı iletkenli statik anahtarla doğrudan yolverme, seri bobinle yolverme ve transformatörle yolverme yöntemleri ile yolverilen yüksek gerilimli asenkron motorun matematiksel modeli SIMULINK programında kurularak kalkış akımı ve kalkış momenti incelenmiştir. Statik anahtarın ateşleme açılarının değiştirilmesi ile kalkış akım ve moment darbelerinin azaldığı görülmektedir. Sonuç olarak şebekenin özelliklerine, motorun kalkış momentine ve yük momentine göre bu yolverme yöntemlerinden biri seçilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Topacık, D., Atıksu Arıtma Tesisleri, Cilt 1, İBB İSKİ Genel Müdürlüğü, Bursa
- [2] Kestioğlu, K., L., Atıksu Arıtımında Biyokimyasal Prosesler, U.Ü., BURSA, 2000
- [3] Muslu, Y., Atıksuların Arıtılması İTÜ Matbaası, Gümüşsuyu, 1994
- [4] Yazıcı, H.F., 2.Pompa Kongresi ve Sergisi, Harbiye, 1996
- [5] KSB Santrifüj Pompa Mühendislik El Kitabı, Ankara, 2001
- [6] Kestioğlu, K., L., Endüstriyel Atıksu Arıtma Tesisi Boyutlandırma Kriterleri, U.Ü., BURSA, 2001
- [7] Dr.İng Schuisky W., Prof.Dr.Y.Müh.Çetin İ., Elektrik Motörleri, İstanbul, 1987
- [8] Çetin, İ., Kafesli Asenkron Motorlara Doğrudan Yolvermenin Bazı Önemli Koşulları, Kaynak Elektrik Dergisi 1, 1993
- [9] Alperöz, N., Direkt Olarak Yolverilebilecek En Büyük Motor Gücünün Hesabı, Kaynak Elektrik Dergisi 30
- [10] Çetin, İ., Kafesli Asenkron Motorlara Yıldız Üçgen Yolvermenin Sorunları, Kaynak Elektrik Dergisi 6, 1994
- [11] İ.Çadircı, M.Ermiş., N.Baltacı, A Solid State Direct On Line Starter For Medium Voltage Induction Motors With Minimized Current and Torque Pulsations, IEEE Tr. On E.C., Vol.14, No.3, September 1999
- [12] J.Nevelsteen, H.Aragon, Starting of Large Motors-Methods and Economics, IEEE Tr. On I.A., Vol.25, No.6, November/December 1989
- [13] A.Kay, H.Paes, G.Seggewiss, Methods for the Control of Large Medium-Voltage Motors: Application Considerations and Guidelines, IEEE Tr. On I.A., Vol.36, No.6, November/December 2000
- [14] A.C. Makinaların Vektör Kontrolü Dersi, 2000
- [15] G.Zenginobuz, İ.Çadircı, M.Ermiş., C.Barlık, Soft Starting of Large Induction Motors at Constant With Minimized Starting Torque Pulsations, IEEE Tr. On E.C., Vol.37, No.5, September 2000
- [16] Karamuk.M, Üç Fazlı Alternatif Akım Kırıcısı ile Beslenen Asenkron Makinanın Benzetişimi, İTÜ F.B.E., Yüksek Lisans Tezi, Haziran 1998

[17] KSB Type Series Booklet, Getec

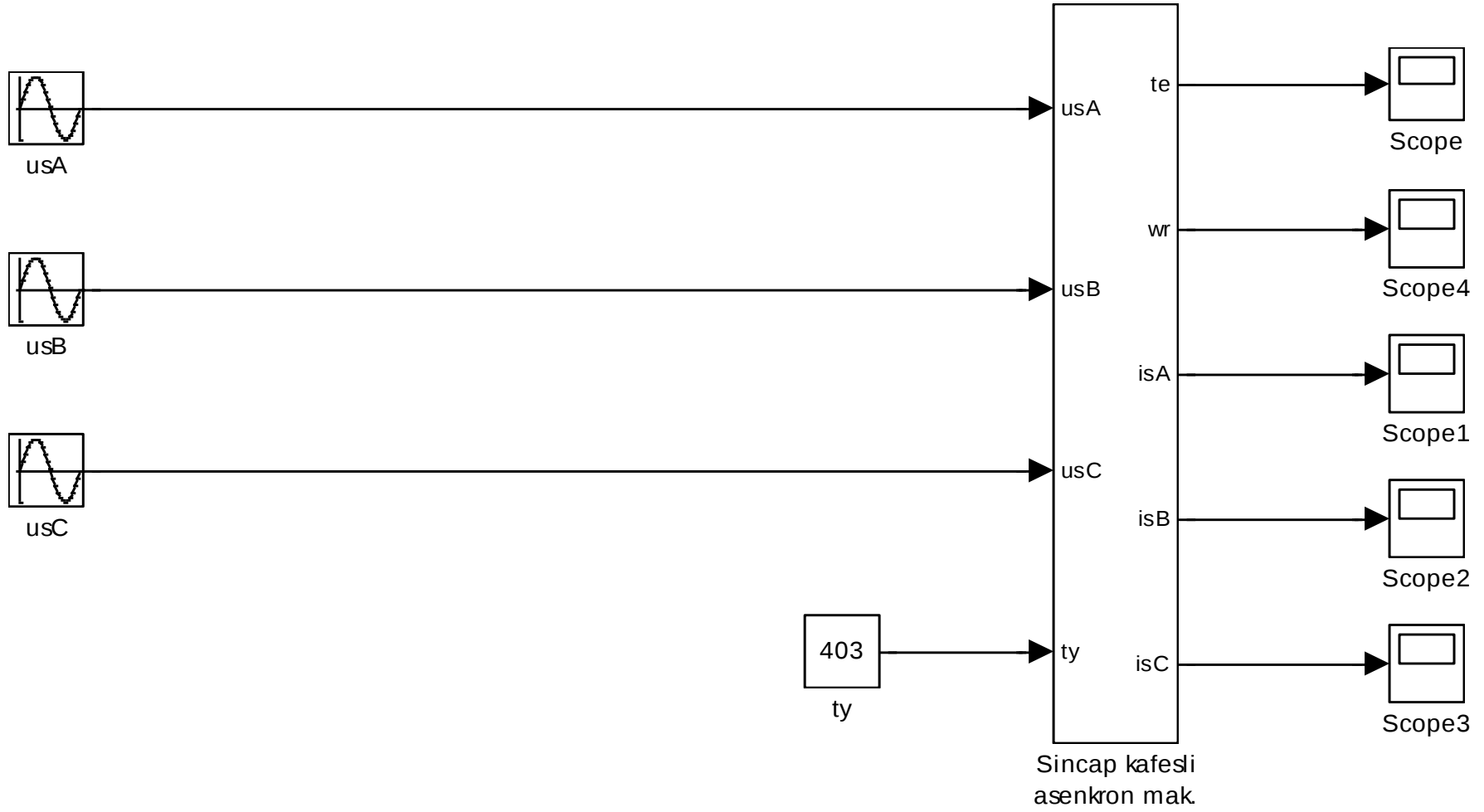
[18] Ömerli Çevre Koruma Projesi, İSKİ Paşaköy İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi Tanıtım Kitapçığı

[19] Sismat Çelik Makina İmalat Arıtma ve Montaj Sanayi A.Ş., Kullanma ve Bakım Klavuzları

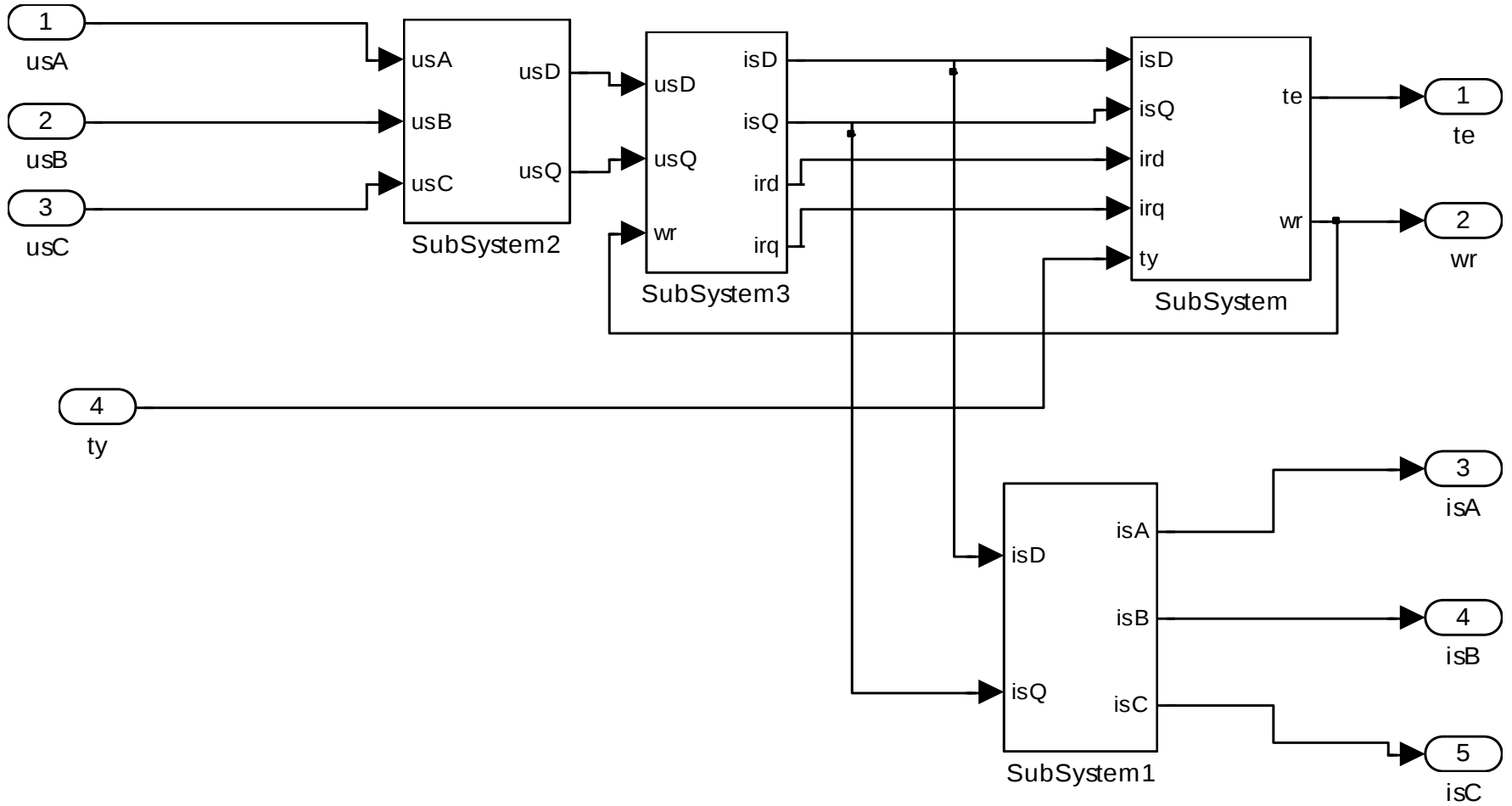
[20] Barnickel, J., SIEMENS AG, D-8520 Erlangen Drives and Standard Products Group Drive Systems Division Sales and Marketing Large Drives

EK A

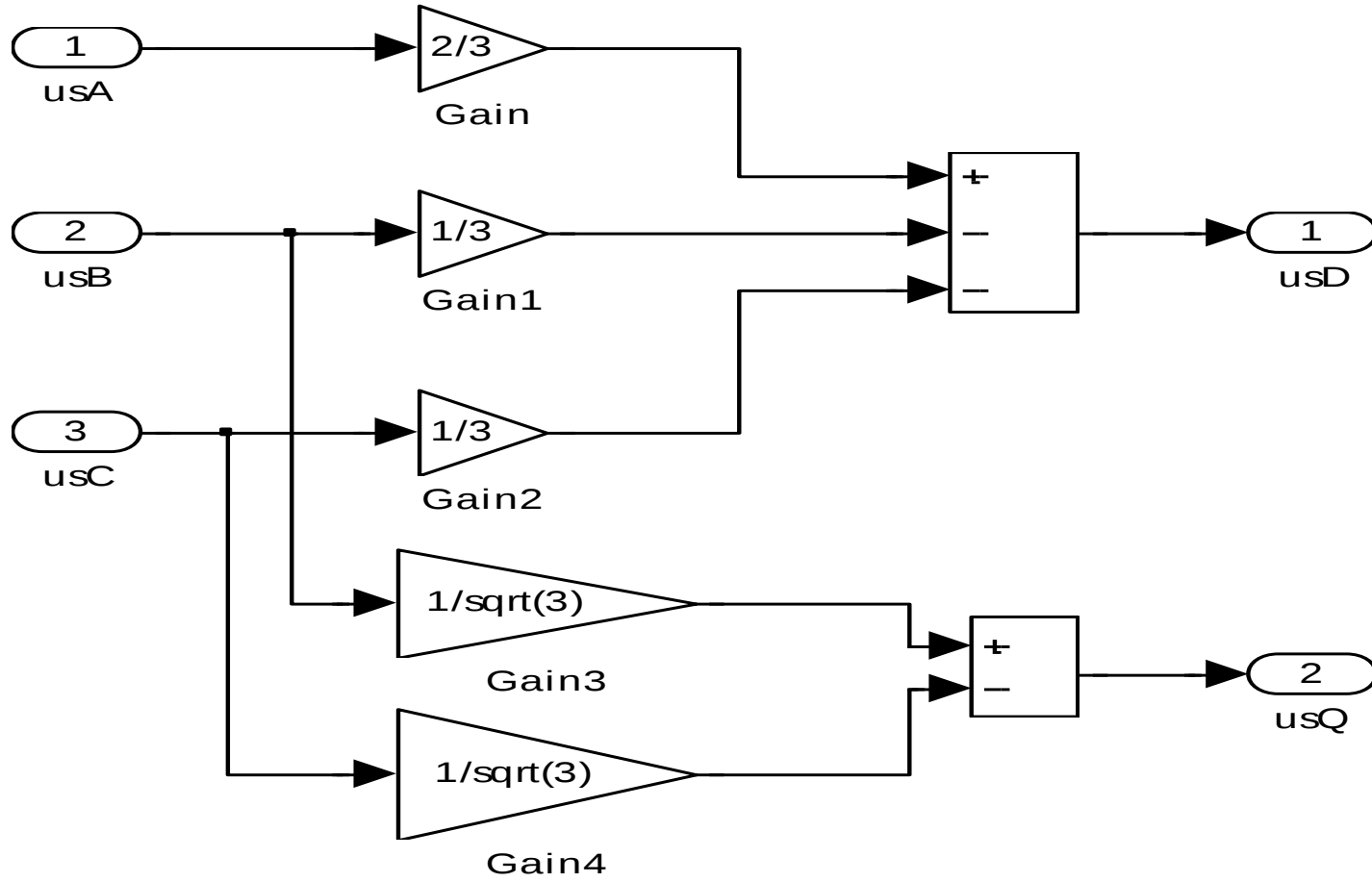
Kafesli asenkron makinanın matematiksel modeli SIMULINK programındaki bloklar yardımı ile oluşturulmuş ve doğrudan yolverme, statik anahtar ile yolverme, seri bobin ile yolverme ve transformatör ile yolverme yöntemlerinin simülasyon blokları oluşturulmuştur. Bu bölümde oluşturulan blokların açık şemaları verilmiştir.



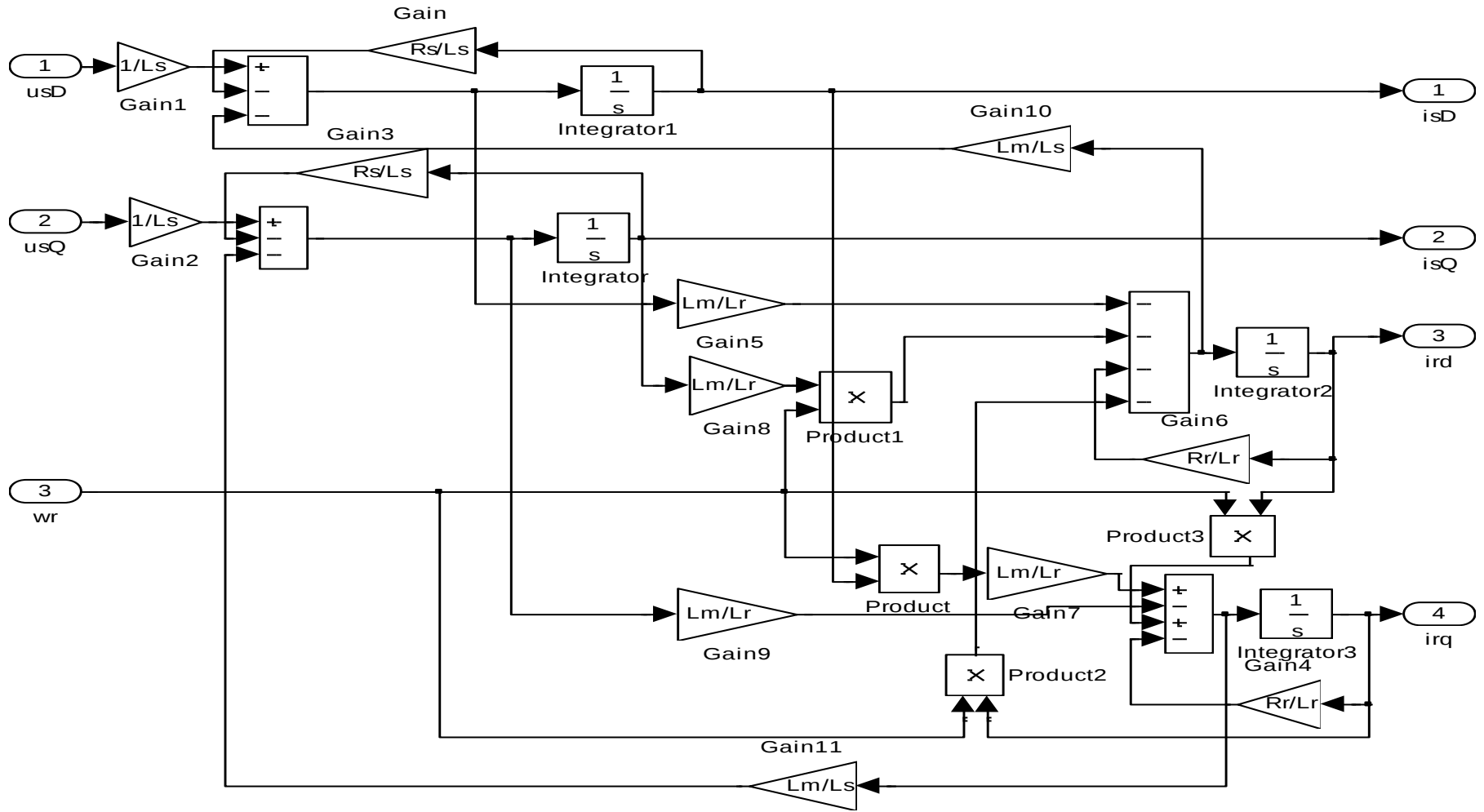
Şekil A.1 Asenkron motorun program şeması



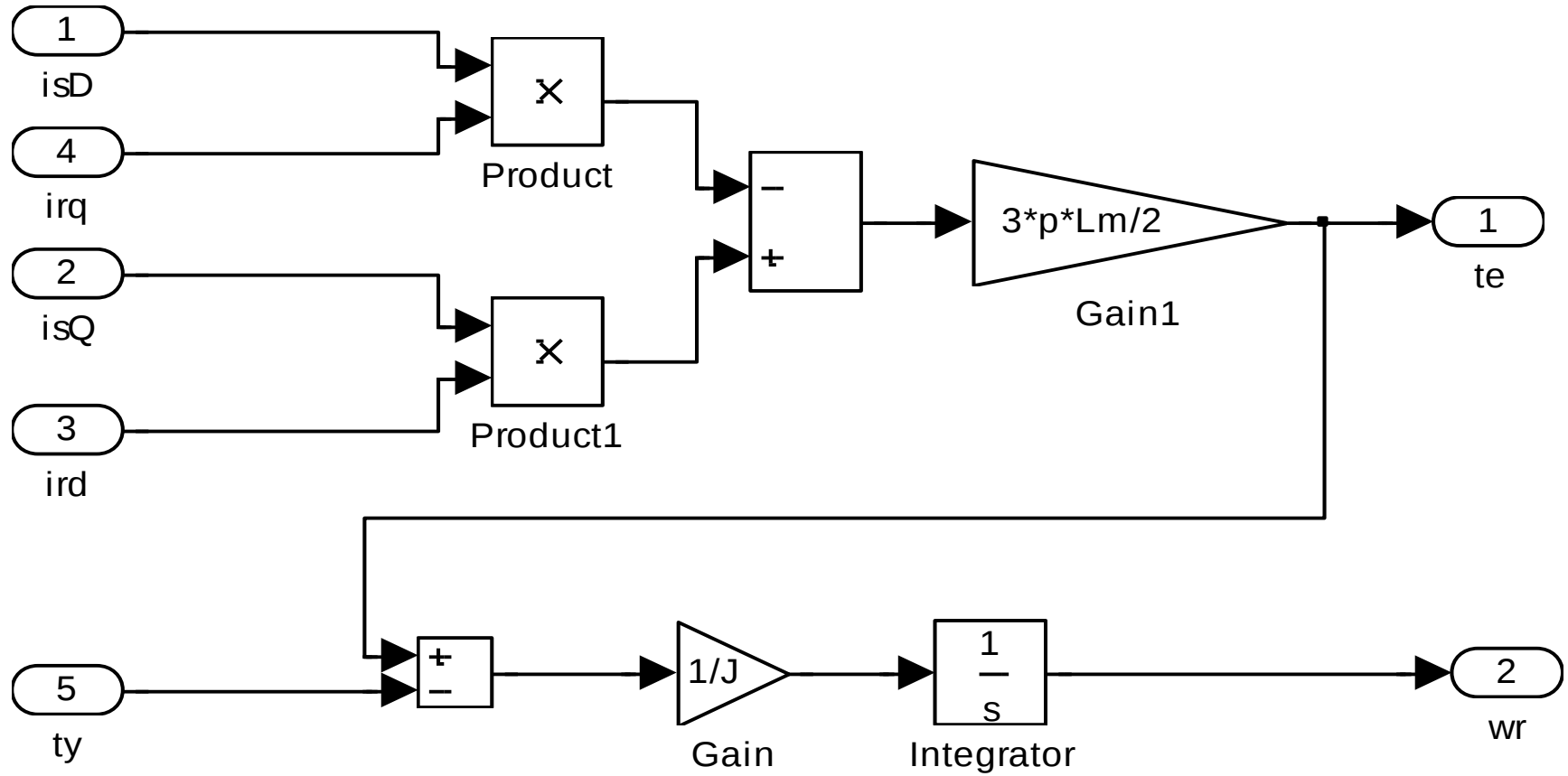
Şekil A.2 Asenkron motorun simülasyon blokları



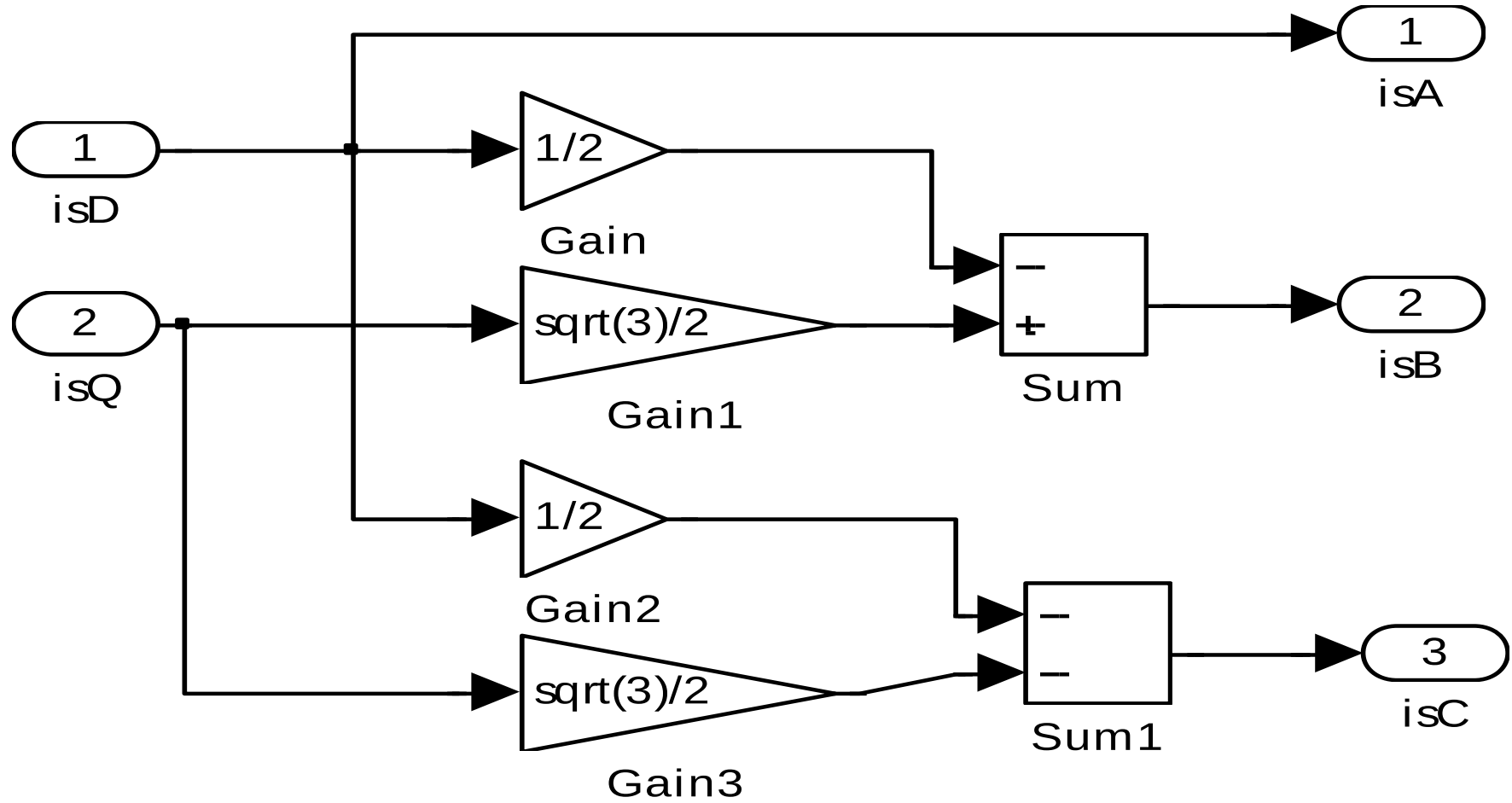
Şekil A.3 3 fazdan 2 faza dönüşüm blokları



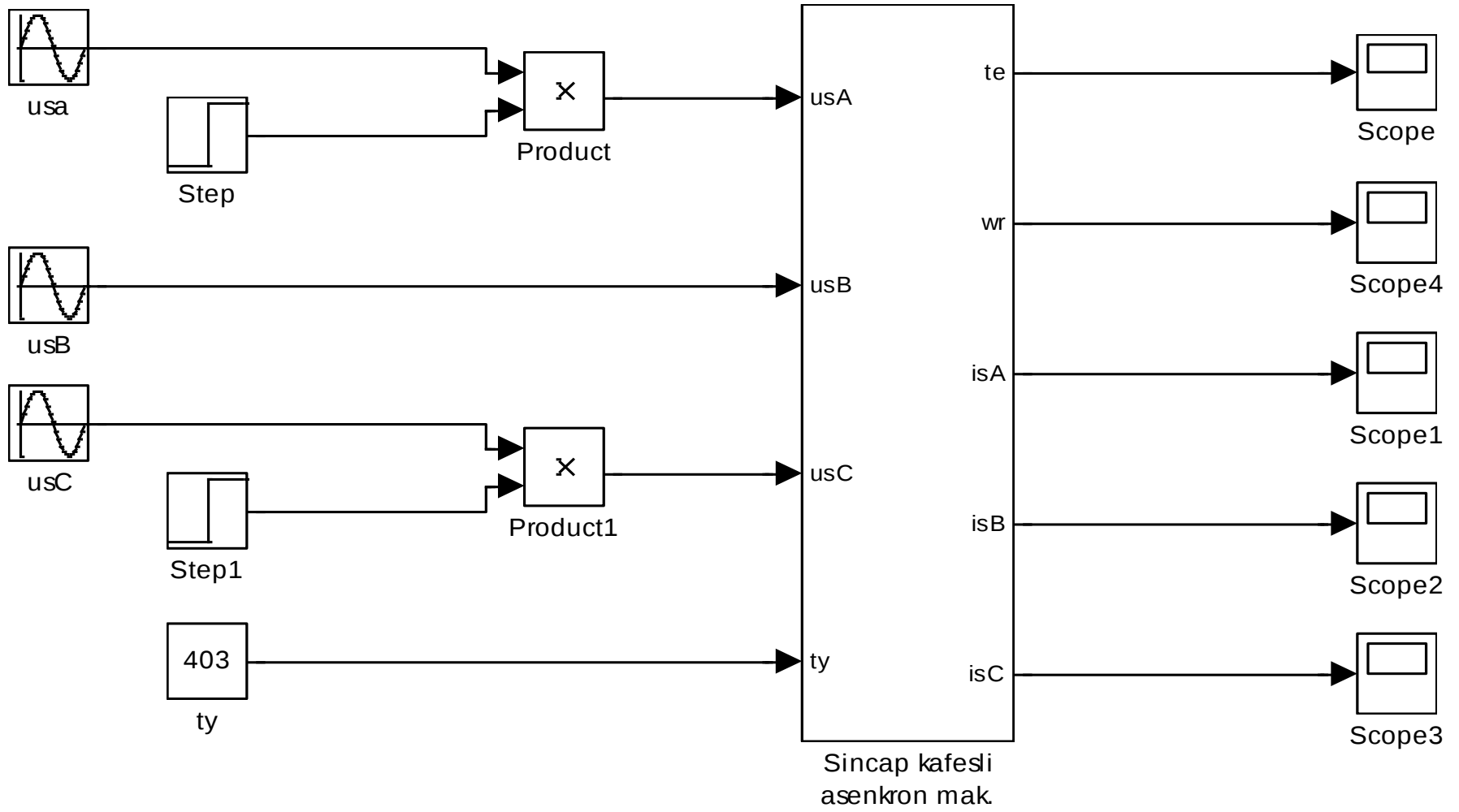
Şekil A.4 3 fazdan 2 faza (akım) dönüşüm blokları



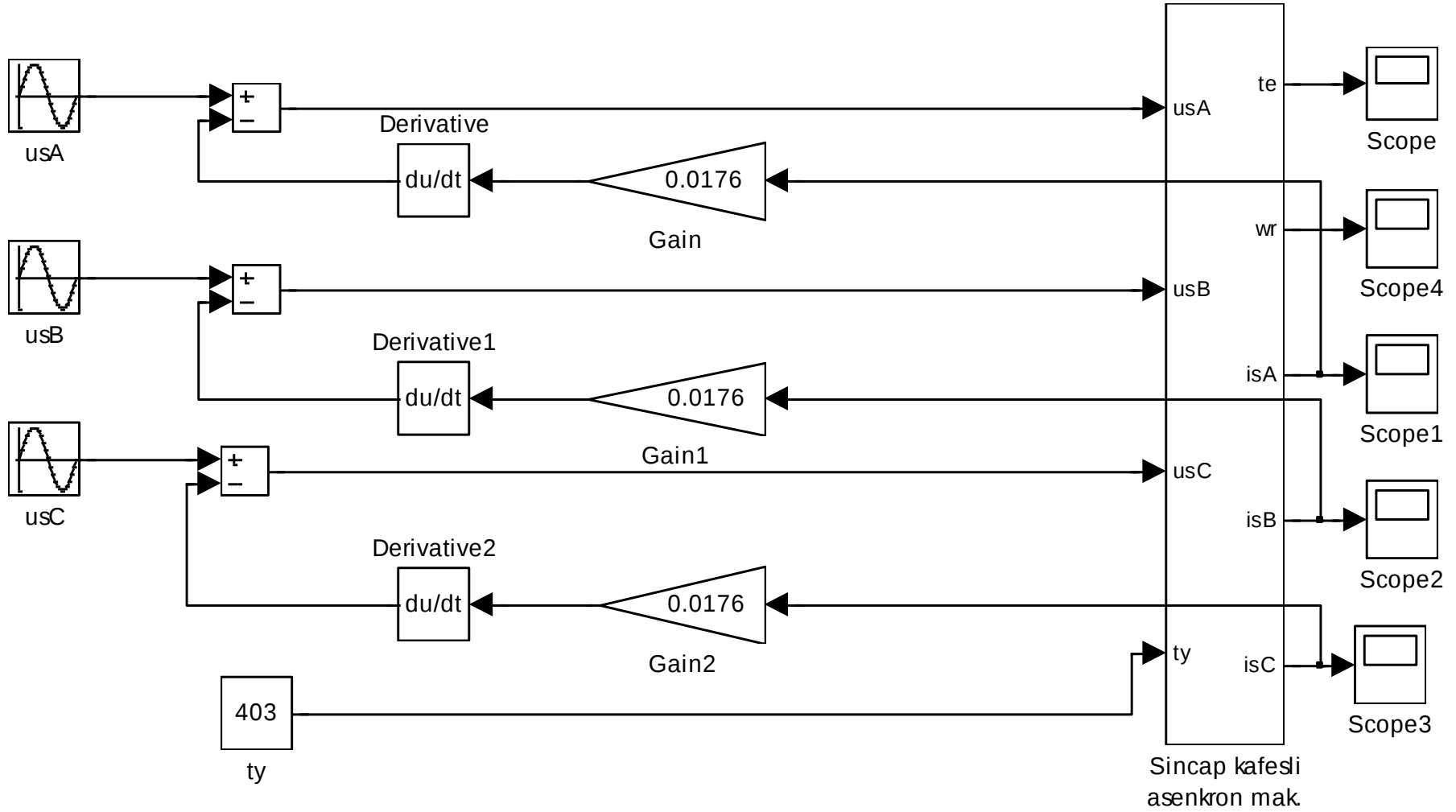
Şekil A.5 Motor momenti ve hız ifadesini sağlayan bloklar



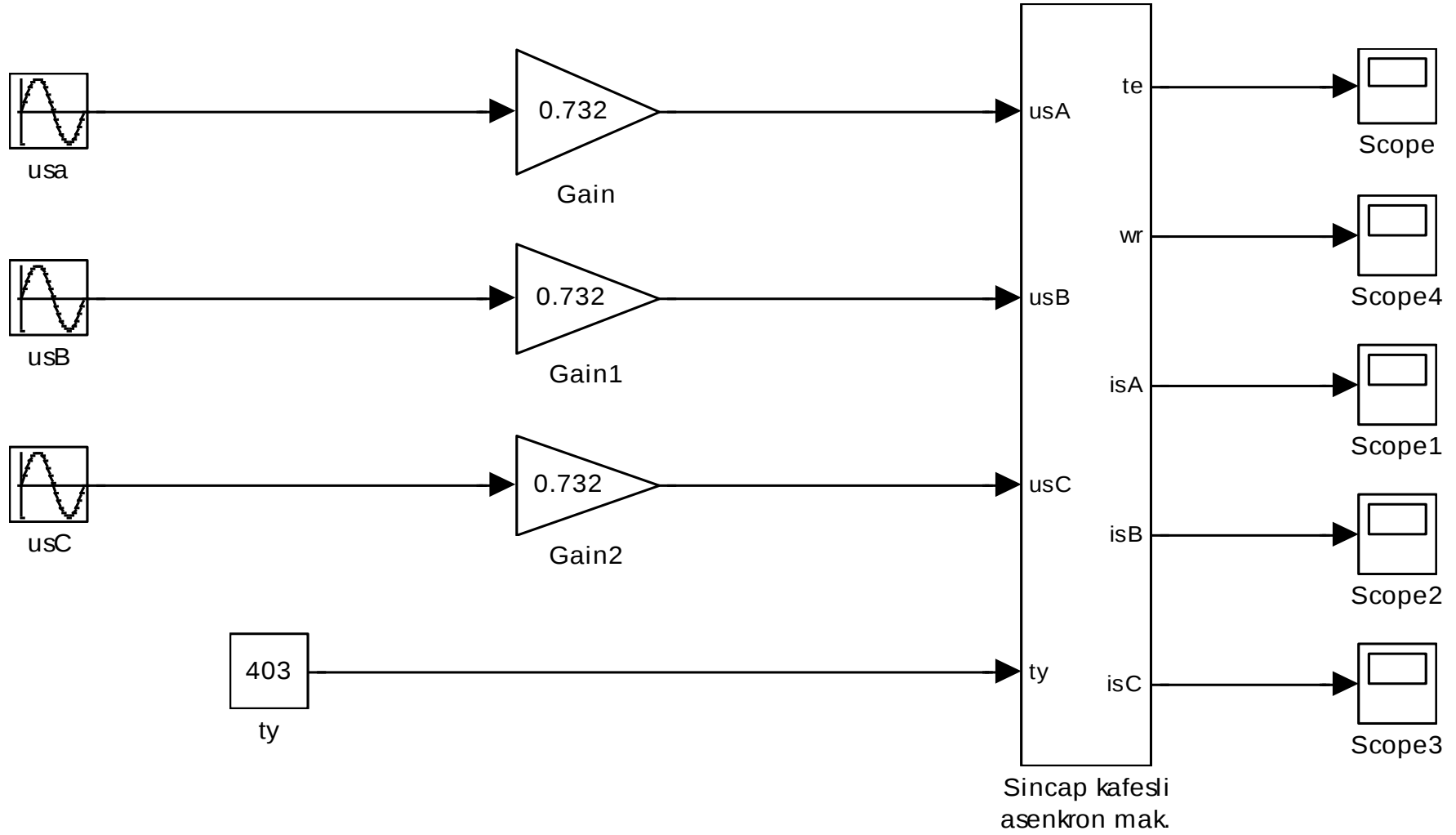
Şekil A.6 2 fazdan 3 faza (akım) dönüşüm blokları



Şekil A.7 Asenkron motor ve statik anahtarın simülasyon blokları



Şekil A.8 Seri bobin ile yolvermenin simülasyon blokları



Şekil A.9 Transformatör ile yolvermenin simülasyon blokları

ÖZGEÇMİŞ

Mehmet İslam İPEK, 1976 yılında Şebinkarahisar’da doğdu. İlköğrenimini Şebinkarahisar İstiklal İlkokulu, orta öğrenimini İstanbul Bahçelievler Ortaokulu ve lise öğrenimini de İstanbul Özel Fatih Erkek Lisesi’nde tamamladı. 1993 yılında girdiği İ.T.Ü. Elektrik Mühendisliği Bölümü’nden 1997 yılında Elektrik Mühendisi olarak mezun oldu. 1998 yılında İ.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Mühendisliği Programı’nda yüksek lisans yapmaya hak kazandı.