

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Klasik Tak, tez, BİL. Den, Dur, Açık
Çev, kont, Sİs, Kul, Dön, ve Gerç,

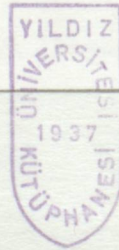
Yüksek Lisans Tezi

Erdal Karataş

1989

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
KÜTÜPHANE DOKÜMANTASYON
DAİRE BAŞKANLIĞI

Kot : R 152
: 129
Alındığı Yer : FEN BİL. ENS.
Tarih : 17.04.1992
Fatura : - - - - -
Fiyatı : 20.000.1L.
Ayniyat No : 1/2
Kayıt No : 48340
UDC : 621.3.....378.242
Ek :





YILDIZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KLASİK TAKIM TEZGAHLARININ BİLGİSAYAR
DENETİMLİ DURUMA AÇIK ÇEVİRİM KONTROL
SİSTEMİ KULLANARAK DÖNÜŞTÜRÜLMESİ VE
GERÇEKLEŞTİRİLMESİ



YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELK.MÜH.Ö.ERDAL KARATAŞ

İstanbul 1988

TEŞEKKÜR

Bu çalışma süresince sağladığı destek ve yardımları nedeniyle tez hocam Y.Doç.Galip Cansever'e teşekkürlerimi sunarım.

Tüm çalışmalarına öneri ve yardımlarıyla katkıda bulunan Altan Başak'a, İlhan Ceyhan ve tezin yazılmasında büyük emeği geçen Müesser Kurtbay ve diğer arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Ö Z E T

Klasik tezgahların sayısal kontrollu hale dönüştürülmesi eldeki klasik tezgahların değerlendirilmesi açısından önemlidir. Ancak sayısal denetimli tezgahların tasarım gereksinimlerinin klasik tezgahlara göre oldukça farklı olması sebebiyle çeşitli zorluklarla karşılaşmaktadır. Bu çalışmada klasik tezgahların programlanabilir kontrol elemanları vasıtası ile sayısal kontrollu hale dönüştürülmesi konusu, step motorlar yardımıyla sayısal kontrollu hale dönüştürülmesi incelenmiştir. Kontrol tipi olarak step motorlara uygunluktan dolayı açık çevrim kontrol sistemi ele alınmıştır.

S U M M A R Y

Although retrofitting numerical control to conventional machine tools has great importance for developing countries, in the view that the present machine tools can be kept in operation it presents several difficulties as the design concept of N.C. Machine tools different from the conventional ones.

In this work retrofitting numerical control to conventional machine tools using programmable drive and control units has been studied attempting to retrofit N.C. to a home made lathe with the aid of stepping motors and an optimization method to improve machine tool performance was suggested.

4.2.1. VR 14

4.2.2. Lazer step motor 14

4.2.2.1. VR Lazer motor 14

4.2.2.2. FR Lazer motor 15

4.2.3. Sek telli ve sek telli motorlar 15

4.3. Hyarta motor 17

4.3.1. Sek faali hyarta motor 18

4.3.2. Iki faali hyarta motor 18

4.3.3. Yemir step motor 19

4.3.4. Dift-tel motor, 3 faza VR motoru iki faali 19

4.3.5. Koprü motor ile hyarta 20

4.3.6. Mini-ajans motor 22

4.4. DO step motorlar 23

4.4.1. Ornek hesaplamalar 24

5. ELEKTRONİK KONTROL DEVRESİLERİ VE ÇEVRE KONTROLÜ

5.1. Servo motor 29

5.2. Lojik devreler 30

5.2.1. 4 faali motor için iki fazlı hyarta 30

5.2.2. 4 faali motor için tek faz-on devreleri 34

5.2.3. 3 faali motor için tek faz-on devreleri 34

5.2.4. 3 faali motor için iki faz-on devreleri 36

5.2.5. 3 faali motor için (peta) devreleri 37

İ Ç İ N D E K İ L E R

ÖZET

SAYFA

İÇİNDEKİLER

1-GİRİŞ	1
2-SAYISAL KONTROLÜN KLASİK TEZGAHLARA UYGULANABİLİRLİĞİ.....	1
3-TAHRİK SİSTEMLERİNİN TASARIMI.....	1
4-STEP MOTORLAR.....	1
4.1.Step motor nedir ve temel karakteristikleri nelerdir...2	
4.2.Step motorların sınıflandırılması.....4	
4.2.1.VR Motor	4
4.2.2.PM Step motorlar.....8	
4.2.3.HİPRİD step motorları	10
4.2.4.Statoru sabit mıknatıslı Hibrid step motorlar.....11	
4.2.5.Tırnak-kutuplu sabit mıknatıslı motor.....12	
4.2.6.Dış-rotar step motoru.....14	
4.2.7.Lineer step motor.....14	
4.2.7.1.VR Lineer motor... ..	14
4.2.7.2.PM Lineer motorlar.....15	
4.2.8.Tek telli ve çok telli sarımlar.....15	
4.3.Uyartım modları.....17	
4.3.1.Tek fazlı uyartım şekli.....18	
4.3.2.İki fazlı uyartım şekli.....18	
4.3.3.Yarım step çalışma.....19	
4.3.4.Çift-tel sarımlı,3 fazlı VR motora iki fazlı yol verme.....19	
4.3.5.Köprü devresi ile uyartım.....20	
4.3.6.Mini-Adımlı sürüş.....22	
4.4.DC step motorların seçimi.....23	
4.4.1.Örnek hesaplamalar.....24	
5-ELEKTRONİK KONTROL DEVRESİNDEKİ AÇIK ÇEVİRİM KONTROLU VE SÜRÜCÜ DEVRELERİ	
5.1.Sürücü sistem	29
5.2.Lojik diziciler.....30	
5.2.1. 4 fazlı motor için iki faz sürüş uyartımı.....30	
5.2.2. 4 fazlı motor için tek faz-on dizicileri	34
5.2.3. 3 fazlı motorlar için tek-faz-on dizicisi.....34	
5.2.4. 3 fazlı motorlar için iki faz-on dizicisi.....36	
5.2.5. 3 fazlı motorların yarım adım (step) dizicisi.....37	

5.2.6.VR tipli 3 fazlı motorun bifilar (çiftelli) sargısı için iki faz-on dizicisi	37
5.2.7.İki yönlü dizicinin iki ayrı şekli.....	37
5.2.8. 4 fazlı hibrid step motorların köprü sürüş dizicisi	38
5.2.9.Genel kullanımlı (evrensel) MSI (Most Scale Integration) diziciler	38
5.3.Motor sürücü	39
5.3.1.Sürücü ve seçicinin bağlantısı.....	39
5.3.2.Sürücüler ile ilgili problemler.....	40
5.3.3.Süpresörler (bastırıcılar).1.....	40
5.3.4.Akım artışının düzeltilmesi.....	44
5.3.5. 4 veya 2 fazlı bir motorun köprü sürücü devresi....	46
5.3.6.Üç fazlı bifilar sargılı VR motor sürücüsü..	49
5.4.Giriş denetimcisi.....	52
5.4.1.Tek adım denetimcisi.....	52
5.4.2.Elektronik sönüm için giriş denetimcisi.....	53
5.4.3.Çok adımlı söndürülmüş artımlı hareket.....	55
5.4.4.Hızlanma ve yavaşlama.....	57
5.5.Mikro işlemci ile çıkış ve iniş denetimi.....	60
5.5.1. 8080 ailesinden bir mikro işlemci kullanımın ana fikri ve genel akış şeması.....	60
5.5.2.Program ve akış şeması.....	63

SONUÇ

Referanslar

Özgeçmiş

1-GİRİŞ

Mevcut klasik tezgahın ,çeşitli giriş,çıkış kontrol,ölçme ve tahrik elemanlarıyla donatılıp iş parçası hakkındaki bilgilerin sayısal olarak verilerek çeşitli parçaların işlenmesini sağlayabilecek hale dönüştürülmesi işlemleri,kısaca alışlagelmiş tezgahların sayısal kontrollü hale dönüştürülmesi işlemleri,sayısal kontrollü tezgahların tarihi ile başlamıştır.

2-SAYISAL KONTROLÜN KLASİK TEZGAHLARA UYGULANABİLİRLİĞİ

Sayısal kontrollü takım tezgahlarını iki ana üniteye ayırmak mümkündür.

-Kontrol edilen ünite

-Kontrol eden ünite

Burada kontrol edilen ünite tezgahın kendisi olmaktadır. Bir kontrol bilgisinin veya komutunun,kontrol edilen ünite tarafından gerçekleştirilebilmesi için arada komutu mekanik hareketlere çevirebilecek tahrik ünitelerinin bulunması gerekir.Bu şekilde sistem tamamlanmakta,kontrol komutu tahrik ünitelerini hareket ettirmekte,tezgah ise işlemi gerçekleştirmektedir.

3-TAHRİK SİSTEMİNİN TASARIMI

Tahrik sistemleri kontrol sistemlerinin genellikle elektriksel olan uyarılarını,hareketi sağlamak için kuvvet veya momente çeviren kontrol sistemi ile tezgah arasında bulunan sistemlerdir.Sayısal kontrollü tezgahlarda özellikle kademesiz ayarlanabilir,dönel ve doğrusal hareket sağlayan sistemler kullanılmaktadır.

Genel olarak kullanılan tahrik sistemleri,

a-Kademeli elektro-mekanik tahrik sistemleri

b-Kademesiz elektrikle tahrik sistemleri

c-Kademeli ve kademesiz hidrolik-pnomatik tahrik sistemleri

d-Sayısal kontrollü step motorlar

şeklinde sınıflandırabiliriz.

Çalışmanın açık devre olarak gerçekleştirilmesi öngörüldüğü için amaca en uygun tahrik şeklinin step motorlarla tahrik olacağı ortaya çıkmıştır.

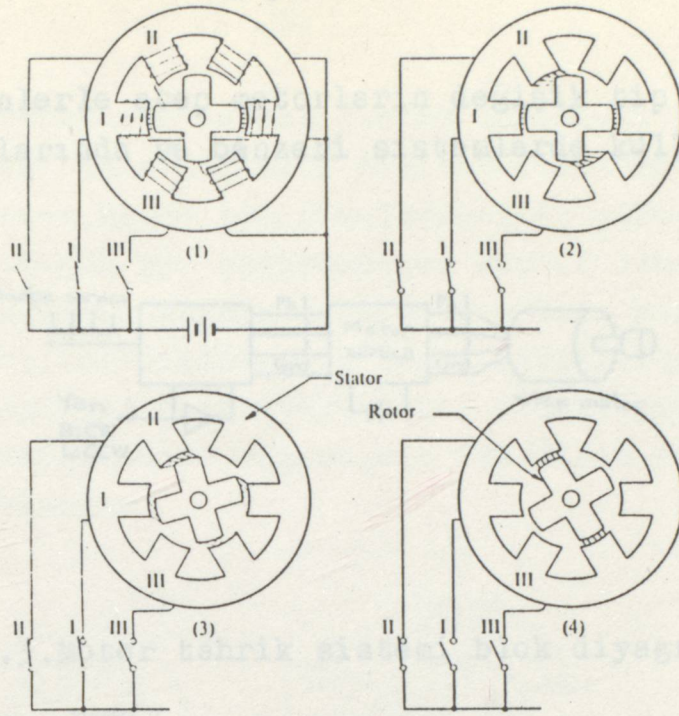
4-STEP MOTORLAR

4.1.STEP MOTOR NEDİR VE TEMEL KARAKTERİSTİKLERİ NELERDİR?

Şek.1.1. Bir tipik modern step motorun kesitini gösterir. Bu tek istifli değişken-relüktanslı denilen motordur. Biz önce bu şekli kullanarak bu makinanın nasıl çalıştığını inceleyelim. Statorunun 6 çıkık kutbu veya dişi vardır. Buna rağmen rotorun 4 kutbu vardır. Her iki rotor ve stator nuveleri yumuşak çeliktendir. 3 set sarım şeklindeki gibi yerleştirilmiştir. Her setin seri bağlı iki bobini vardır. Bir sarım seti "1 faz" olarak adlandırılır. Dolayısıyla bu makina bir 3 fazlı motordur. Akım bir DC güç kaynağından sarımlara I, II, III nolu anahtarlar vasıtasıyla sağlanır. (1) durumunda I nolu anahtar ile faz I'in sarımandan akımgeçer; yani teknik deyim ile "I nolu faz tahriklenmiştir." Tahrik nedeniyle hava aralığında meydana gelen magnetik akı oklar ile gösterilmiştir. (1) durumunda faz I'in tahriklenmiş iki stator çıkık kutbu, rotorun 4 kutbunun 2 si ile aynı hizadadır. Bu da dinamik olarak bir denklik durumudur. II nolu anahtar faz I e ilaveten faz II yide tahriklemek amacıyla kapatıldığında, daram (2) de gösterildiği şekilde faz II nin stator kutuplarındaki magnetik akı yükselir ve yatık magnetik alan çizgilerindeki gerilim nedeniyle saat ibreleri tersi yönünde bir tork (moment) yaratır. Rotor böylece (3) nolu duruma geçer.

Bu şekilde Rotor, bu örnekte 15° olan bir step açısı denilen sabit bir açıda, anahtarlama işlemi sonucu dönmeye başlar. Eğer I nolu anahtar faz I'in enerjisini kesmek üzere açılırsa, rotor durum (4)'e ulaşmak üzere bir (15°) daha döner. Rotorun açılmal pozisyonu böylece bir anahtarlama işlemi ile step açısının birimlerinde denetlenebilir. Eğer anahtarlama bir sıra ile yapılırsa, rotor kademeli hareketle dönecektir. Ortalama hızda bir anahtarlama işlemi ile denetlenebilir.

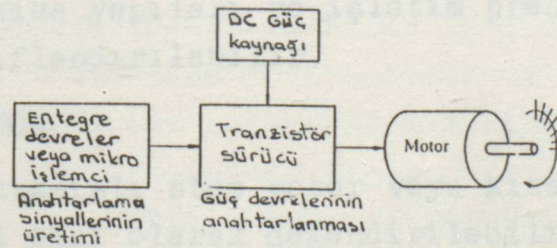
Günümüzde, step çalıştırmalarında elektronik anahtar olarak transistör kullanılmaktadır ve anahtarlama işaretleri dijital IC veya bir mikroişlemci ile üretilmektedir. (Bak. Şek.1.2.)



Şekil 1.1. Değişken-Relüktanslı step motor.

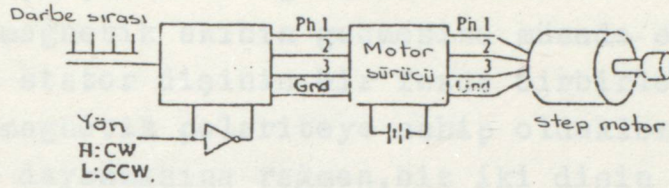
Yukarıda açıklandığı üzere bir step motor dijital elektriksel girişi mekaniksel harekete çeviren bir elektrik motorudur. Aynı veya benzer işlemleri yapabilen öteki cihazlarla karşılaştırıldığında step motor kullanan bir kontrol sisteminin aşağıdaki avantajları vardır.

- (1) Ne pozisyon kontrolü ne de hız kontrolü için geri besleme gerekmemektedir.
- (2) Pozisyonel hata non-kümülatiftir.
- (3) Step motorlar modern dijital malzemeye kullanımda uygunluk taşır.

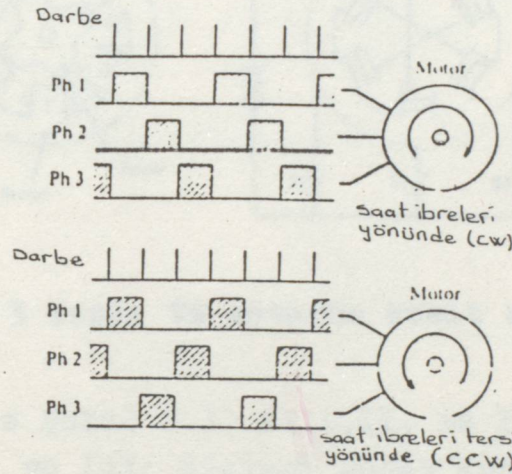


Şekil 1.2. Step motor için modern tahrik sistemi.

Bu nedenlerle step motorların değişik tip ve sınıfları kompüter uygulamalarında ve benzeri sistemlerde kullanılmışlardır.



Şekil 1.3. Motor tahrik sistemi blok diyagramı



Şekil 1.4. Giriş darbe serileri ve tahrik sıralaması.

4.2. STEP MOTORLARIN SINIFLANDIRILMASI

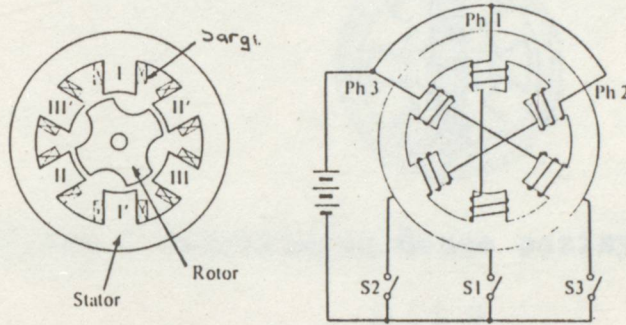
Elektrik motorlarının çok geniş çeşitleri kullanımdadır ve step motorlar makina yapıları ve işletim prensiplerine göre değişik tiplerde sınıflandırılabilir.

4.2.1. VR MOTOR

Değişken mıknatıslı step motor veya kısaca VR motor, step motorların en temel tipi olarak değendirilebilir. Bu tip basit bir motorun kesit diyagramı Şekil 2.1. de temel motor prensiplerinin açıklanmasını kolaylaştırmak için gösterilmiştir. Bu bir 6 stator dişi (çıkık kutbu) olan 3 fazlı motordur. Aralarında 180° olan ve karşılıklı birbirlerine bakan her iki diş faza aittir; yani her karşılıklı dişin bobini aralarında seri veya paralel bağlanmıştır. (şekilde seri bağlıdır.) Rotorun 4 dişi (çıkık kutbu) vardır. Stator

ve rotor çekirdekleri normal olarak lamine-silikon çelikten yapılmışlardır. Fakat daha çok katı silikon çelik rotorları kullanılmaktadır. Hem stator, hemde rotor malzemesinin yüksek geçirgenliğine sahip olmaları, küçük bir magnetomotor kuvvet dahi uygulansa içlerinden yüksek magnetik akının geçmesine müsaade etmeleri gerekir.

İki stator dişinin bir fazda birbirlerine karşı aynı mı yoksa tersimi, magnetik polariteye sahip olduklarını göreceğiz. Bu ötek problemlere dayanmasına rağmen, biz iki dişin ters polaritede olduklarını varsayacağız.

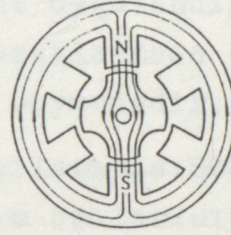


Şek.2.1. 3 fazlı VR motorun kesit sarım yerleştirmesi

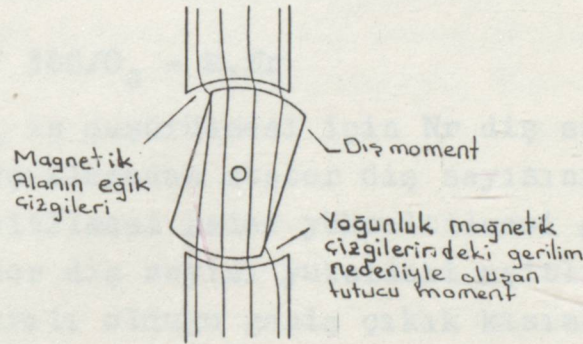
Böylece şekil 2.1. de I, II, ve III nolu dişler kuzey kutbunu ve I', II' ve III' dişleri güney kutbunu tahrik eddiklerinde meydana getirirler.

Her fazın akımı ilgili anahtarlarla ON/OFF modunda kontrol edilirler. Ph1'in sargısına akım verildiğinde veya başka bir deyişle Ph1' tahrik edildiğinde, şek.2.2. de görüldüğü gibi magnetik akı meydana gelecektir. Rotor böylece stator dişleri I ve I' ve rotor dişlerinden herhangi ikisinin aynı hizaya gelecekleri şekilde pozisyona gelir. Bundan dolayı, rotor ve stator dişleri aynı hizaya geldiğinde magnetik relüktans minimuma edilmiş olur. Bu durum bir durma ve denge pozisyonu sağlar. Eğer rotor mili bir dış moment uygulaması nedeniyle, denge pozisyonundan uzaklaşmaya çalışırsa, bir dengeleyici moment (dışardan) şek.2.3. de gösterildiği gibi üretilecektir. Bu şekildeki dışmoment rotoru saat ibreleri yönünde döndürmek üzere uygulanmıştır ve rotor aynı yönde döndürülmüştür.

Bu hem stator, hem rotor dişlerinin uçlarında eğik magnetik akı çizgilerinin oluşmasıyla sonuçlanacaktır. Yoğunluk akı çizgilerinin, maxvel kuvveti olarak bilinen kuvvetli gerilimleri vardır, başka bir deyişle magnetik çizgilerin kısa olma ve mümkün olduğunca düz olma (plastik teller gibi) eğilimleri vardır. Şekil 2.3. te bu etki, dışın uçlarında rotoru, tekrar stator dişleri ile aynı hizaya getirecek şekilde saat ibreleri tersi yönünde bir moment yaratılmasıyla görülmektedir.



Şek.2.2.Faz I tahrikleyen denge pozisyonu



Şekil 2.3.Magnetik alanın eğik çizgileri momenti yaratır

Aynı şekilde görüldüğü üzere, tahrik edilmiş fazda rotor ve stator dişleri aynı hizadan uzaklaştığında, magnetik relüktans büyüktür ve motoru magnetik relüktans minimum olacak şekilde çalıştırır. Şimdi Ph1 enerjisi kesilip, Ph2 enerjilendirildiğinde neler oluyor bakalım.

Anahtarlama yapılır, yapılmaz DC güç kaynağından görülen motor relüktansı birden bire yükselir. Rotor, bunun üzerine relüktansı minimize etmek üzere 30° lik bir adım açısı boyunca hareket eder. Bu her tahrikleme için anahtarlama adımı boyunca hareket bir adım denir. Üç adımda rotor-diş-aralık dönüşü tamamlandıktan sonra, rotor eski orjinal pozisyonuna döner.

Şimdi VR motorun bir kaç temel yapısal özelliklerini göreceğiz:

(a)Hava aralığı mümkün olduğunca küçük olmalıdır:

Bir step motorda stator dişleri ile rotor dişleri arasındaki hava aralığı,yüksek pozisyonlama hassasiyeti elde etmek ve ufak rotor hacminden büyük moment elde etmek için mümkün olduğunca küçük olmalıdır.

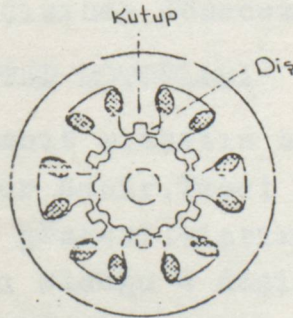
Küçük aralık,aynı magnemotor kuvvet seviyesinde daha yüksek moment yaratan daha fazla magnetik akı verir.Ayrıca açıkça bellidir ki,rotora bir dış moment uygulandığında daha küçük hava aralığında denge pozisyonundan uzaklaşmada daha azdır.Moder motorlarda hava aralığı 30 ile 100 μ m boyundadır.

(b)Daha ufak adım açıları:Step motorun kendine has özelliklerinden biride ufak adım açıları gerçeleştirilebilmesidir.

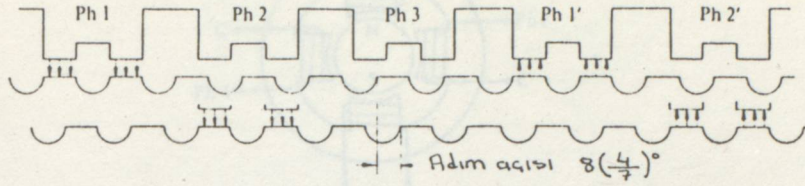
Adım açısı= O_s ile M =faz sayısı, N_r =Rotor dişleri ve adım sayısı= S arasındaki ilişki şöyledir.

$$S = 360/O_s - M.N_r$$

Adım açısı O_s in düşürülmesi için N_r diş sayısı yükseltilmelidir.Yukarıdaki açıklamadan stator diş sayısının da rotor dişleri sayısının yükseltilmesi kadar yükseltilmesi gerektiği çıkarılabilir.Fakat stator diş sayısı yukardaki eşitlikte belirtilmemiştir.Sarımların sarıllı olduğu geniş çıkık kısımlar konvansiyonel olarak kutup diye adlandırılırlar.Bir kutbun iki veya daha fazla stator dişi vardır ve kutbun tüm dişleride her zaman aynı polariteye sahiptir.



Şek.2.4. Her kutbunda 2 diş olan 3 fazlı VR motorun kesiti



Şek.2.5.Önceki şekildeki VR motorunun ayırık ve açık modeli

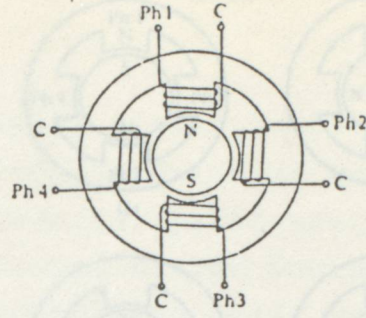
Aslında küçük adım açılı bir ve step motorun kesiti Şekil 2.4. deki gibidir.Şekil 2.4.de rotor dişleri $N_r=14$ ve faz sayısı 3 olduğundan adım sayısı $S=14 \times 3=42$ adımdır Bu modelde adım açısı $\theta_s=360^\circ/42=8,57^\circ$ dir.Şekil 2.5. de bu yapının nasıl bir adımı meydana getirdiği gösterilmektedir.Bu örnek stator dişi sayısının adım açısını belirlemede direkt faktör olmadığını gösterir.

(c)Çok-katlı tip ve tek-katlı tip:Yukarıda belirtilen tüm step motorların tek-katlı step motorlardır.Bu motorlar çok güzel bir özelliğide 3 veya 4 fazın tek bir katta yerleştirilmeleri yani aynı düzlemde oluşturmalarıdır.Öteki VRstep motor tipâ de çok katlı step motor tipidir.Bu tip aynı zamanda kaskat tip olarakta bilinir.Bu modelde her kat bir faza karşı gelir ve stator ve rotorun aynı aralığı vardır.Şimdi (3)üncü fazın (Katın) tahrik edildiğini ve stator ve rotor dişlerinin aynı hizada olduğunu varsayalım.Bu nada öteki faz veya katlarda,her ikisinin de dişleri $1/3$ diş aralığı kadar hizadan çıkmışlardır.

İkinci ve üçüncü katlardaki hizanın bozulmasının yönü birbirlerine terstir.Eğer tahrikleme 3.cü fazdan 1.ci fazına çevrilirse,rotor saat yönünde (CW) soldan görüldüğü gibi bir adım dönecektir.Eğer tahrik ikinci faza çevrilirse rotor saatin ters yönünde (CCW) bir adım açısında dönecektir.

4.2.2. PM STEP MOTORLARI

Rotorunda sabit mıknatıs bulunduran step motora sabit mıknatıslı (PM) motor denir.Temel 4 fazlı bir PM motorun bir örneği şekil 2.6. da gösterilmiştir.Rotorun ve statorun etrafında bobinlerin sarılı olduğu 4 dişi vardır,ve bir sabit silindirik mıknatıs eklenmiştir.Şekil 2.7.de sürücü devrenin temel şeması gösterilmiştir.Her fazdaki C işaretli uç sırayla güç kaynağının pozitif ucuna bağlanmıştır.



Şek.2.6. 3 fazlı PM motorun kesit modeli

Eğer fazlar Ph1 → Ph2 → Ph3 sırasıyla tahriklenirse, rotor şekil 2.8.de görüldüğü gibi saat yönünde sürülecektir. Bu makina-
da adım açısı 90° dir. Eğer stator dişleri sayısı ve rotor magne-
tik kutupları iki kat edilirse 45° adım açılı bir 4-fazlı motor
gerçekleştirilmiş olur.

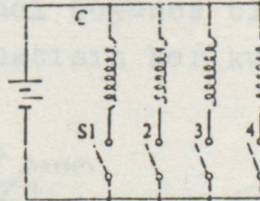
Böylece eğer adım açısı düşürülmek istenirse, PM motorda,
magnetik kutup ve stator gücü sayısı yükseltilmelidir. Ancak, diş
ve magnetik kutup sayısının da bir sınırı vardır.

PM motorun bir özelliği de, eğer tahrik olursa bile rotorun
sabit bir pozisyonda durma konumuna gelmesidir. Bu mekanizmaya
"kilit mekanizması" denir ve önceden belirlenmiş pozisyonlar
"kilit pozisyonlar" olarak isimlendirilir. Genelde tek bir faz
tahriklendiği sürece kilit pozisyonları, tahriklenmiş durma po-
zisyonları (veya denge pozisyonları) ile çakışır. Sabit mıknatısın
kullanımında iki dezavantaj vardır.

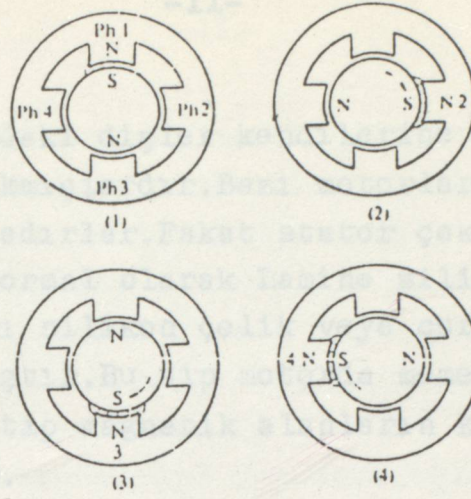
(1) Mıknatıs maliyetlidir.

(2) Maksimum akı yoğunluğu mıknatısın artık mıknatıslığı se-
viyesi tarafından kısıtlanır.

Demir mıknatıs ucuz olmasına rağmen, yapısı gereği olan alçak
artık mıknatıslık nedeniyle yüksek bir moment üretemez.



Şek.2.7. 4 fazlı motorun temel sürücü devresi

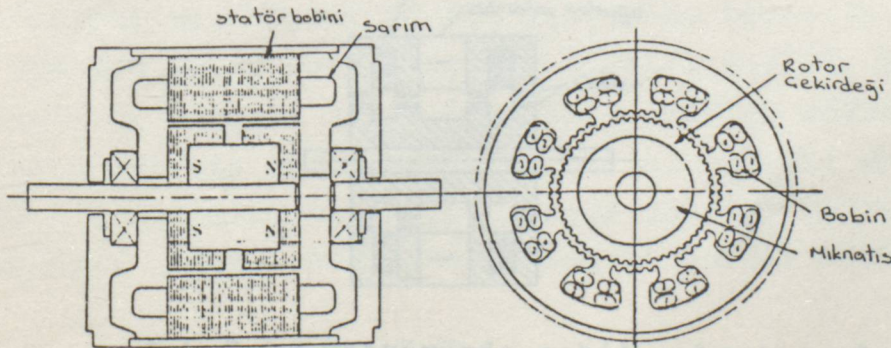


Şek.2.8. 4 fazlı PM motorda adımlar

2.3.HİPRİD STEP MOTORLAR

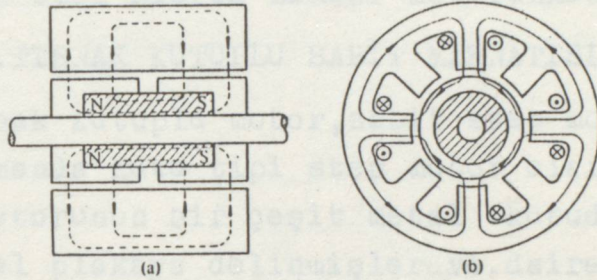
Rotorunda sabit mıknatıs olan diğer bir motor cinsi hibrid step motorlardır.Hibrid terimi,motorun sabit mıknatıs ve değişken-relüktanslı step motorların karışık prensipleri altında çalışmalarını olgusundan gelmektedir.Şekil 2.9.da bugün geniş bir kullanıma sahip hibrid motorların aksiyal diyagramını gösterilmiştir.Sarımlar ve bobin VR motorunununkinden değişiktir.VR motorda sadece bir fazın tek veya iki bobini tek bir kutba sarılıyordu.Fakat 4-fazlı bir hibrid motorda iki değişik fazın bobinleri şekil 2.9.da gösterildiği gibi aynı kutba sarılmıştır.Dolayısıyla bir kutup sadece bir faza ait değildir.Bir kutupdaki iki bobin çift telli olarak adlandırılan şekilde sarılmıştır.Tahriklemede bunlar değişik magnetik polarite üretirler.

Hibrid motorun bir başka önemli özelliği rotor yapısıdır.Rotorun içinde bir silindiriksel mıknatıs yatar ve şekil 2.10 (a) da gösterildiği gibi kendi boyunca bir tek kutuplu alan yaratmak üzere mıknatıslanır.Mıknatısın her kutbu tek şekilli,dişli yumuşak çelik ile kaplıdır.



Şek.2.9.Hibrid motor konstrüksiyonu

İki kısımdaki dişler kendilerine karşı yarım diş aralığı kadar hizadan çıkmışlardır. Bazı motorlarda rotor dişleri kendi aralarında hizadadırlar. Fakat stator çekirdeği hizadan çıkmıştır. Dişli kısımlar normal olarak Lamine silikon çelikten yapılmışlardır. Fakat katı silikon çelik veya curuflu çelikte bazı durumlarda kullanılmıştır. Bu tip motorda moment, hava aralığında dişli yapıdaki bu iki tip magnetik alanların karşılıklı etkileşmesi sonucu yaratılır.

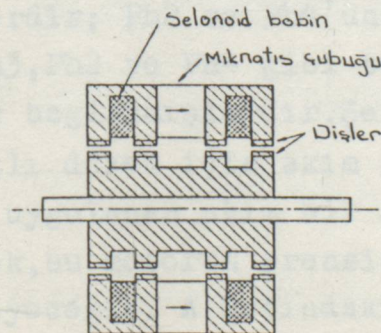


Şek.2.10. Hibrid motorda alan çizgileri. (a) Rotor mıknatısı nedeniyle tek kutuplu alan yaratan akı, (b) Stator akımları nedeniyle yaratılan değişik kutuplu akı

Bu tip motorlar Feertaç ve Donahoo tarafından icat edilmişlerdir ve senkron endüktans motor adıyla alçak hız uygulamasında kullanılmak üzere tasarlanmışlardır. Bugünün hibrid motorları 2 veya tek fazlı kondenser çalıştırılmaları senkron motoru olarak kullanılabilirler. $1,8^\circ$ li motor 50 (veya 60) Hz'de 60 (veya 72) dev./dk. da çalışır. Bu tip motorlarda sarımların çift telli olması gerekmez.

En tanınmış hibrid motor 4-fazlı $1,8^\circ$ adım açılı 200 adımlı step motordur. Bu tip motor birçok imalatçı tarafından üretilmiştir. Tabiki 2° veya 5° adım açılı başka hibrid motorları da vardır. Bir Alman firması GERHARD-BERGER GmbH, 5-fazlı hibrid motorları üretmektedir.

4.2.4. STATORU SABİT MİKNATISLI HİBRİD STEP MOTORLAR:



Şek.2.1.1 Statöründe sabit mıknatıs olan hibrid motorun aksiyol kesidi

Şekil 2.11.aksiyel kesitinde gösterildiği gibi halka tipi sabit mıknatıs statora yerleştirilmiştir,ve bu makinada iki sargıda toroid bobin (halka şeklinde sargı) şeklindedir.Ham mıknatıs, hem de stator akımları tek kutuplu magnetik alanlar üretirler. Bir fazda iki kısımdaki stator dişleri birbirlerine karşı $1/4$ diş aralığı hizadan çıkmışlardır;Rotorun 4 kısmındaki tüm dişler birbirleriyle hizadadırlar.

Bu makinanın sürücü Prensibi,bölüm 2.7.de detaylı olarak anlatılacak olan hibrid Lineer motorunkine benzer.

4.2.5.TIRNAK KUTUPLU SABİT MIKNATISLI MOTOR

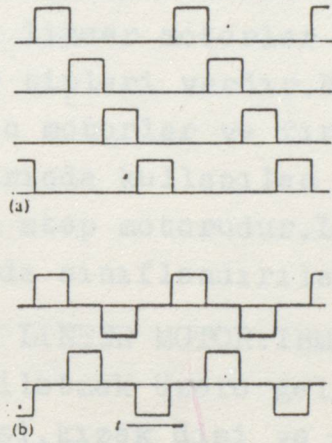
Tırnak kutuplu motor,sabit step motorun bir başka tipidir. Bu aynı zamanda kutu tipi step motor olarakda bilinir.Nedenide motorun statorununun bir çeşit metal kutudan olmasıdır.Dişler yuvarlak metal plakaya delinmişlerve daire sonra çan şekline çekilmiştir.Dişler daha sonra tırnak-kutupları meydana getirmek üzere bükülmüşlerdir.Stator katı iki çan şeklindeki parçayı,ikisinde dişlerini birbirlerinin içine geçirecek şekilde ekleyerek ve solenoid bobininde içlerinde olacak şekilde meydana getirilmiştir.

Kutu tipi motorun özelliği stator dişinin veya tırnak kutuplarınının stator solenoidi akımından değişik kutuplu magnetik alan üretmesidir.

Rotorun silindirik seramik mıknatısı (demir) da bir değişik kutuplu alan üretmek üzere mıknatıslanır. $7,5^{\circ}$ stepmotorun tipik kutup sayısı 24 dür.Bu tip motor genelde 2 katlıdır.Rotor mıknatıslama aralıkları,her iki stator katı altında da birbirleriyle hizaya girdiklerinde her iki kattaki stator diş aralıkları $1/4$ aralık kadar hizadan çıkar.

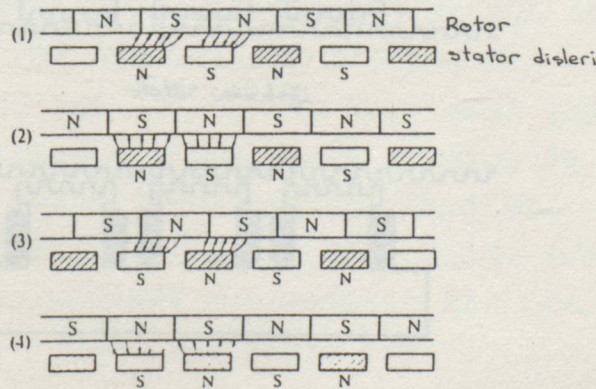
Sarımlar ya 2-faz,ya da 4-fazlı düzendedir.4-fazlı düzende Ph1 ve Ph2 nin sarımları çift telli şekildedir,ve A katına yerleştirilmişlerdir; Ph2 ve Ph4'ünkilerde B katına yerleştirilmiştir.Ph1 ve Ph3,Ph2 ve Ph4 gibi ters işaretli magnetik polorte üretmek üzere bağlanmışlardır.Şekil 2.12.de tahrikleme sırası 2-fazlı ve 4-fazlı düzen için akım grafiği şeklinde gösterilmişti 2-fazlı düzende uygulanan akım bir alternatif kare dalgadır.Şekil 2.43 ü kullanarak,bu motorun prensiplerini 2-fazlı düzendeki uygulamayla inceleyeceğiz. A katındaki stator dişleri ile rotor

magnetik kutupları arasındaki pozisyonel ilişkiyi inceleyelim. Rotor önce (1) konumuna getirilir ve PhA pozitif bir akımla, aynı şekilde verilen kalıpta, magnetik kutupları üretmek üzere enerjilendirilir. Açıkça anlaşılacağı üzere, magnetik çizgiler gerilimi tarafından rotor sola döner. (2) konumu PhA pozitif polaritede enerjili iken ki denge pozisyonudur. Sonra Şekil 2.12., eğer PhA kapatılıp PhB pozitif akımla enerjilendirilirse, rotor aynı yönde dönüşe devam eder. Çünkü B katındaki stator dişleri, A katındaki dişlere nazaran 1/4 diş aralığı ile sola doğru hizadan çıkmışlardır. (3) durumu bu tahrik sonucu oluşan pozisyonu verir. Motoru daha ileri sola döndürmek ve ileriki durma pozisyonuna (4) durumuna getirmek için PhB nin enerjisi kesilir ve PhA negatif akımla tahrik edilir.



Şek.2.12. Tırnak kutuplu PM motor akım dalga şekli
(a) 4 fazlı şema (b) 2 fazlı şema

Tırnak kutuplu motorun düşük imalat maliyeti ve kagıt besleme girişi ve minyatür FLOPPY disk sürücülerinde kafa sürücü gibi birçok uygulamalarının olması özellikleri vardır.



Şek.2.13. Tırnak kutuplu PM motorda adımların oluşumu

4.2.6.DIŞ-ROTOR STEP MOTORU

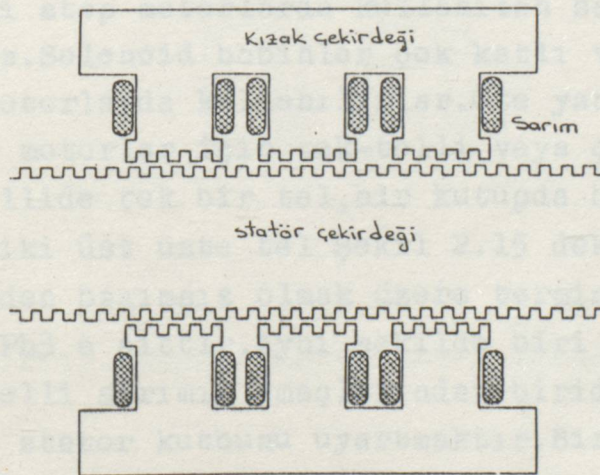
Dönen motorlar iç-rotor tip ve dış rotor tip olarak sınıflandırılabilirler.Şu ana kadar bahsedilen tüm step motorlar iç-rotor tip step motorlardır.Bunlarda stator rotoru çevreler. Dış-rotor tip step motorda rotor, statorun dışındadır.Dış-rotor step motorları çok nadir olmalarına rağmen yinede mevcuttur.

4.2.7.LINEER STEP MOTOR

Şimdiye kadar bahsedilen tüm makinalar dönen motorlardır.Bunlar rotorun saat ve tersi yönünde (statora nazaran) dönebilmeleri için tasarlanmışlardır.

Ancak bazı lineer hareket etmek üzere tasarlanmış motorlar vardır.Bunlara lineer motorlar denir.En az dönen motorlar kadar Lineer motor tipleri vardır.Bunlara DC motorları, senkron motorlar, endüksiyon motorlar ve fırçasız motorlar dahildir.Fakat kontrol uygulamalarında kullanılan ufak lineer motorlar arasında en önemlisi Lineer step motordur.Lineer step motorlar VR veya PM motorlar olarakda sınıflandırılabilirler.

4.2.7.1.VR LINEER MOTOR:IBM tarafından bir seri printer üzerinde taşıyıcı iletmek üzere geliştirilmiş bir motordur.Şekil 2.14 stator dişi,kızak dişi ve sarımlar arası ilişkiyi gösterir.Hem stator hem kızak çekirdekleri Lamine çeliktendir.



Şek.2.14 Stator dişi,kızak dişi ve sarımlar arası ilişki

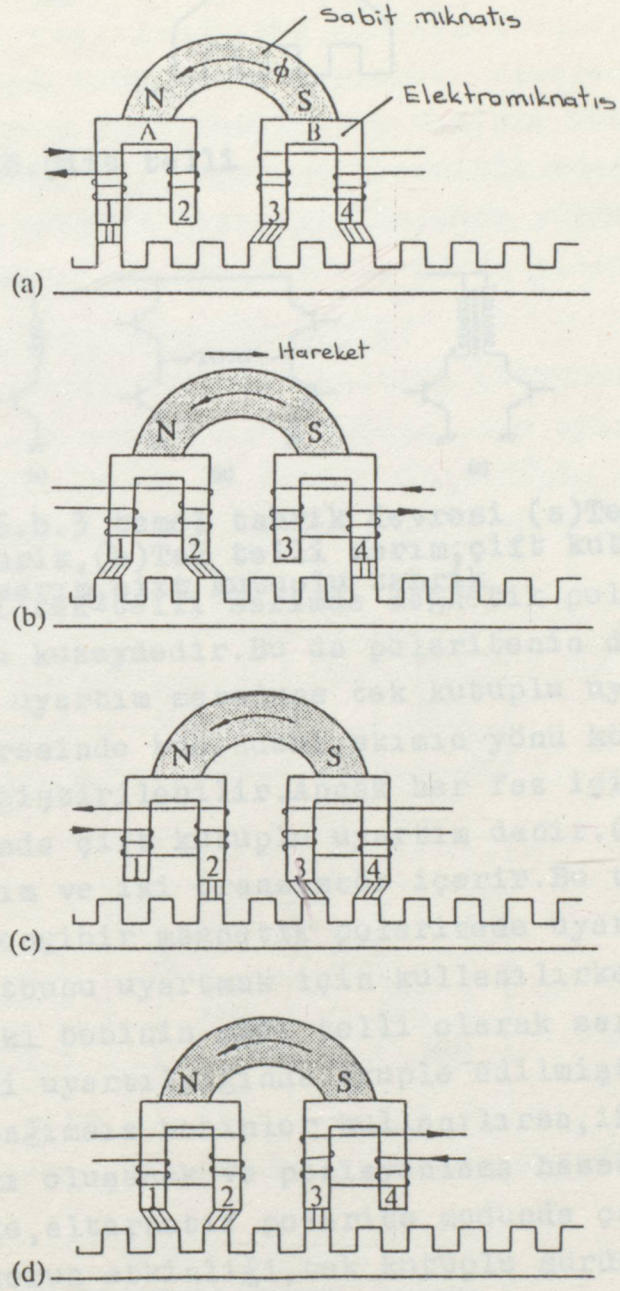
4.2.7.2.PM LINEER MOTORLAR:Sawyer Lineer motoru olarak bilinen bir PM step motorun prensibi Şekil 2.14.de gösterilmiştir.Burada kızak diye isimlendirilen motor,bir sabit mıknatıstan ve A ve B diye iki elektro mıknatıstan meydana gelmiştir.Sabit mıknatıs nedeniyle oluşu akı,yolunu,elektromıknatıs çekirdekleri,çekirdek-stator ve stator-çekirdek arası hava aralığı yoluyla kapatır.Bobinde akımlar olmadığından,mıknatıs akısı,elektro mıknatıs B ni (a) veya (c) durumunda gösterildiği gibi her iki dışten akar.Bobin enerjilendirildiğinde, ancak akı,elektromıknatıs A nın (a) da gösterildiği gibi bir diş üzerinde yoğunlaşır.Bu durum akı yoğunluğunu bu diş üzerinde maksimum yapar,aynı zamanda öteki dişde ihmal edilecek değere kadar düşer

Şimdi şekil 2.14 (a) da elektromıknatıs A nın 1 nolu diş stator diş ile hizaya gelmiştir.(b) de gösterildiği gibi akım B ye geçirilirse kızak sağa doğru,4 nolu diş bir yandaki stator diş ile hizaya getirmek üzere 1/4 diş aralığı kadar sürecektir.Sonra B elektromıknatısı enerjiden kesilip,A elektromıknatısı bir öncekinin tersi polaritede enerjilendirilir.Bu (c) de gösterildiği gibi,A daki (2) nolu diş bir yandaki stator diş ile hizaya getirmek üzere bir kuvvet üretir.

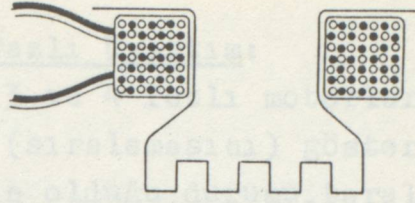
Kızağı aynı yönde ilerletmek için A bobininin enerjisi kesilir ve B bobini bir öncekinin tersi polaritede enerjilendirilir. Bu (d) deki durumdur.

4.2.8.TEK TELLİ VE ÇOK TELLİ SARIMLAR

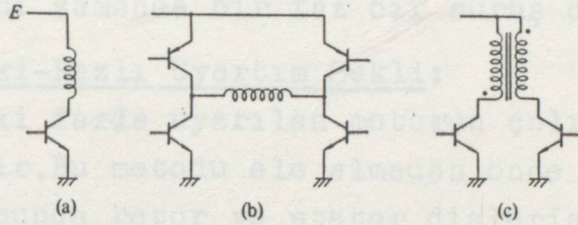
Şimdi step motorlarda kullanılan sarım tiplerini inceleme aşamasındayız.Solenoid bobinler çok katlı ve motorlarda ve tırnak-kutuplu PM motorlarda kullanılırlar.Öte yandan hibrid motorlar ve tek katlı ve motorlar için tek-telli veya çok telli sarımlar kullanılır.Tek-tellide tek bir tel,bir kutupda bir çok kere sarılır.Çok tellide ise iki üst üste tel Şekil 2.15 deki gibi sarılırlar.Bu iki tel birbirinden bağımsız olmak üzere terminalde ayrılırlar.Eğer biri Ph1 e öteki Ph3 e aittir.Aynı şekilde biri Ph2 ye aitse diğeri Ph4e aittir.Çok telli sarımın amaçlarından biride magnetik polariteyi değiştirerek stator kutbunu uyartmaktır.Bir fazın uyartımı şekil 2.16 da gösterilen 3 türden biriyle yapılabilir.



Şek.2.15.Sawyer lineer motor prensibi



Şek.2.16.Çift telli



Şek.2.16.b.3 temel tahrik devresi (a)Tek telli sarım, tek kutuplu tahrik,(b)Tek telli sarım,çift kutuplu tahrik, (c)Çift telli sarım,çift kutuplu tahrik

(a) daki tek-telli sarımda magnetik polarite her zaman ya güneyde yada kuzeydedir.Bu da polaritenin değiştirilmeyeceğini belirtir.Bu uyartım metoduna tek kutuplu uyartım denir.

(b) devresinde bobindeki akımın yönü köprü devresi olması dolayısıyla değiştirilebilir.Ancak her faz için 4 transistör gerekir.Bu metodada çift kutuplu uyartım denir.(c) devresi bir çift çift telli sarım ve iki tranzistör içerir.Bu tranzistörler ile stator kutbu herhangibir magnetik polaritede uyartılabilir.Çünkü bir bobin kuzey kutbunu uyartmak için kullanılırken ötekisi güney kutbunu uyartır.İki bobinin çift telli olarak sarımı,magnetik olarak, herhangi birisi uyartıldığında akuple edilmiştir.Eğer çift telli sarım yerine bağımsız bobinler kullanılırsa,iki bobin arasında endüktans farkı oluşacak ve pozisyonlama hassasiyeti düşecektir.

Genelde,alternatif polarite modunda çalıştırılan sabit mıknatıslı motorun etkinliği,tek kutuplu sürücü modunda elde edilen etkinlikten daha fazladır.

4.3.UYARTIM MODLARI

Step motorların prensipleri anlatılırken tek-fazlı uyartım dan bahsedilmişti.Halbuki tek fazlı uyarma en basit uyarma şekli olup,temel problemlerin analizi için sıkça kullanılmaktadır.Buna rağmen günümüzde çok değişik uyartım metodlarında kullanılmaktadır.

4.3.1. Tek-Fazlı Uyarım:

Tablo 2.1., 3 ve 4 fazlı motorlar için tek-fazlı uyarma metodunun dizilişini (sıralamasını) göstermektedir. Tabloda taralı olan kısımlar uyarımın olduğu durumu, taralı olmayan kısımlar ise uyarımın olmadığı veya akım verilmeyen fazları göstermektedir. Bir motor $Ph1 \rightarrow Ph2 \rightarrow Ph3 \rightarrow \dots$ uyarım sırasıyla saat yönünde dönerse $Ph3 \rightarrow Ph2 \rightarrow Ph1$ uyarım sırasıyla da ters yönde dönecektir. Tek fazlı uyarım aynı zamanda bir faz bir sürüş olarakta bilinir.

4.3.2. İki-Fazlı Uyarım Şekli:

Daima, iki fazda uyarılan motorun çalışmasına iki-faz-sürüş çalışması denir. Bu metodu ele almadan önce uyarım sırasına ve denge pozisyonunda rotor ve stator dişlerinin arasındaki ilişkiyi inceleyelim. Bu sıralama Tablo 2.2. de 3 ve 4 fazlı motor için verilmiştir.

	D	1	2	3	4	5	6	7	8
Fa2 1	■			■			■		
Fa2 2		■			■			■	
Fa2 3			■			■			■

(1) 3 fazlı motor

	R	1	2	3	4	5	6	7	8
Fa2 1	■				■				■
Fa2 2		■				■			
Fa2 3			■				■		
Fa2 4				■				■	

(2) 4 fazlı motor

Darbe

"R" işareti reseti göstermektedir.

Tablo 2.1! "Tek faz-sürüş" çalışmada uyarım sırası

Saat durumu	R	1	2	3	4	5	6	7	8
Fa2 1	■	■	→	■			■	■	
Fa2 2			→	■	■			■	■
Fa2 3	■		■	■		■	■		■

(1) 3 fazlı motor

Saat durumu	R	1	2	3	4	5	6	7	8
Fa2 1	■	■			■	■			■
Fa2 2		■	■			■	■		
Fa2 3			■	■			■	■	
Fa2 4	■			■	■			■	■

(2) 4 fazlı motor

Tablo 2.2. "İki faz-sürüş" çalışmada uyarım sırası

Tablo 2.2.(1) de de görüldüğü gibi uyartım akımı bir fazdan diğerine geçirildiği zaman, Ph2 kesime, Ph1 iletme geçer. Ph3 aynı durumda (uyartımlı halde) kalır.

4.3.3.Yarım Step Çalışma:

Uyartım şekli tek-fazlı ve iki-fazlı uyartımın kombinasyonundan oluşuyorsa bu şekildeki çalışmaya yarım-step çalışma denir. Üç-fazlı motorlar için uyartım sırası tablo 2.3.de verilmiş olup burada işlem basamakları A ve B olarak iki ayrı yolda verilmiştir. A yolunda pozisyonlama sadece tek-fazlı uyartım durumunda yapılır ve bir denge noktasından diğerine hareket ederken iki faz uyarılır.

Saat durumu (A)	R	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Saat durumu (B)	R	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Faz 1										
Faz 2										
Faz 3										

**Tablo 2.3.Yarım step çalışmada uyartım sırası
(3 fazlı motor için)**

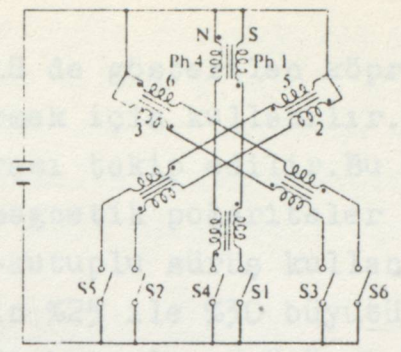
Burada iki-fazlı uyartım, osilasyonu bastırmak için kullanılmıştır. Öteki metodda tek ve iki-fazlı uyartımların denge pozisyonları, pozisyonlama için kullanılmıştır.

Saat durumları (B) deki gibi, bu modda sayılmalıdır. Bu şekil adım açısını yarıya düşürür.

4-fazdan daha fazla fazlı motorlarda yarım-adım yol verme, iki-faz ve üç-faz uyartım karışımı ile veya üç ve dört-faz uyartım karışımı ile yapılır.

4.3.4.Çift-Tel Sarımlı, 3-fazlı ve Motora İki-Fazlı yol verme:

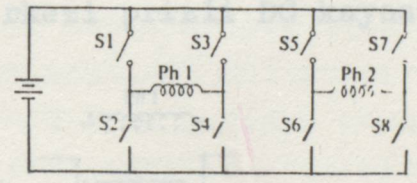
Motor tasarımındaki en önemli gereksinimlerden biriside makinayı istenen performans özelliklerinde mümkün olduğunca küçük yapmaktır. PAWLETKO ve CHAI bunun bir çift-telli sarımlı 3-faz ve motorun iki fazlı uyartımı ile başarılacağını belirtmektedirler. Şekil 2.17 de sargı bağlantılarının diyagramı verilmiştir. Karşıt kutupların bobinlerinin, Akıların aynı zamanda her iki kupta ya içe, yada dışa doğru yönlendirilecek şekilde bağlı olduğuna dikkat edilmelidir.



Şek.2.17. 3 fazlı VR motorun çift telli sargı bobini şematik diyagramı

4.3.5.Köprü Devresi ile Uyartım:

Çift-tel sarımlı hibrid motorun tek kutuplu yol verilmesinde, sarımlardan tam olarak yararlanılmaz; Yani sarımların sadece %50 si iki-faz modunda akımı taşımak üzere kullanılır. Sarımların çift kutuplu yol verme ile tam kullanımı motor çıkış gücünü oldukça arttırır.

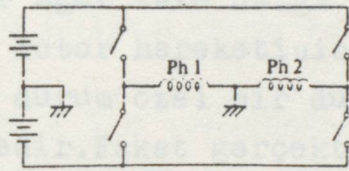


Şek.2.18. 2 fazlı step motor köprü sürücü şeması

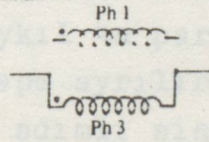
Saat durumu	R	1	2	3	4	5	6	7	8
S1	■	■			■	■			■
S2			■	■			■	■	
S3			■	■			■	■	
S4	■	■			■	■			
S5		■	■			■	■		
S6	■			■	■			■	■
S7	■						■	■	
S8		■	■			■	■		

Tablo 2.4. İki fazlı motorun köprü çalışmasında uyartım sırası

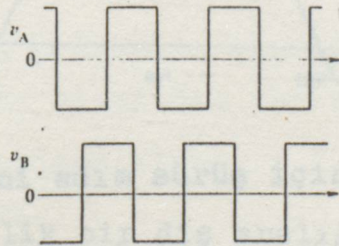
Şekil 2.18 de gösterilen köprü devresi bu motoru çift-kutuplu modda sürmek için kullanılır. Bunun için tablo 2.4 de verilen uyartım sırası takip edilir. Bu şekil ve tablolardan her sarımın, her zaman magnetik polariteler değiştirerek akım taşıdığı görülebilir. Çift-kutuplu sürüş kullanılarak giriş gücünün her birimi için momentin %25 ile %30 büyütülmesinin mümkün olabildiği bilinmektedir. Çift-kutuplu sürüşün tek dezavantajı çift-telli tek kutuplu sürüşünde kullanılan tranzistörlerin iki katı tranzistör kullanılmasını gerektirmesidir. Ancak merkezi prizli bir DC kaynak kullanıldığında şekil 2.19 da gösterildiği gibi anahtarlama cihazları sayısı dörde düşürülür.



Şek.2.19. Merkezi prizli DC kaynaklı köprü sürücü şeması



Şek.2.20. Çiftel sarımlı hibrid motorun, çift kutuplu yol vermede tel bağlantısı



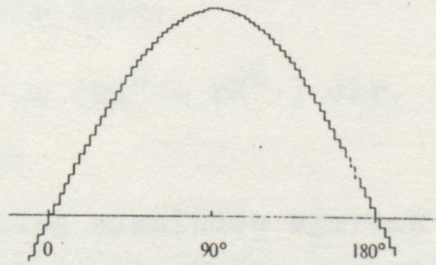
Şek.2.21. Çift kutup sürüş kare dalga gerâlim

Çift-tel sarımlı bir motorun çift-kutup şeklinde çalıştırılması gerektiğinde teller Şekil 2.20 de gösterildiği gibi Ph1 ve Ph 3 ün sarımları her stator kutbunda aynı magnetik kutup işareti yaratabilecekleri şekilde bağlanmalıdır.Çift-kutup sürüşteki her faza uygulanan gerilimin dalga şekli,şekil 2.21 deki gibi kare şeklindedir.

4.3.6. Mini Adımlı Sürüş:

Elektronığın yardımıyla doğal tam bir adımı (step) bir çok küçük adımlara ayırabiliriz.Bu metod mini adımlı veya mikro adımlı step sürüş olarak bilinir,ve çoğunlukla hibrid step motorlarda kullanılır.Küçük adım düşüncesi hibrid motoru senkron motor gibi sinüsoidal bipolar olarak sürme fikrinden kaynaklanır.Bir hibrid step motor eger kare dalga yerine iki fazlı sinüsoidal dalga ile sürülürse rotor hareketinin adımsız ve çok yumuşak olacağı düşünülebilir.Bu durum özel bir durumda bazı motorlar için gerçekleştirilebilmektedir.Fakat gerçekte,kilitlenme etkisi değişken relüktans etkisi ve mıknatısın gerilimde yarattığı harmonikler nedeniyle çoğu defa adımsız ideal bir düzgünlükte bir hareket elde edilemez.Doğal bir adımı bölmek için besleme akımı Şekil 2.22. deki gibi step-dalga şeklinde kullanılır.

Eğer bir saykıl $4n$ parçaya bölünürse,tam bir doğal adım (step) n tane ait stepe ayrılır.Otomatik çekici sistemlerde Lineer hibrid motor 96 ayrı adımlı sinüs dalgası ile çalıştırılır.



Şek.2.22.Mini adım sürüş için adım dalgası akımı

Böylelikle 0.96 mm'lik bir diş aralığından minimum 10µm lik alt bölümlü çekme kafasını sürmek mümkün olur.Bu sistem üzerindeki hat kaliteside çok iyi olacaktır.Grafik çizici step motor uygulamasındaki gibi alt bölümler çok hassas ve hareket çok düzgün olmadığı zaman endüklenen gerilim ve diğer sebeplerden kaynaklanan alt harmoniklere bağlı olarak ortaya çıkan ters etkileri yok etmek için akım üzerine uygun bir üçüncü harmonik bileşen eklenir.

4.4.DC STEP MOTORLARIN SEÇİMİ

Herhangibir uygulama için doğru bir step motor seçmeden evvel aşağıdaki bilgiler belirlenmelidir.

- a)Saniye başına step sayısındaki çalışma hızı,
- b)Ounces ve inches cinsinden moment,
- c)lb-in² deki eylemsizlik yükü,
- d)Gerekli step açısı,
- e)ms cinsinden hızlanma süresi,
- f)ms cinsinden yavaşlama süresi,
- g)Kullanılacak sürüş sisteminin tipi,
- h)Boyut ve ağırlık bilgileri

Bu bilgiler bilindikten sonra aşağıdaki formül ve moment-hız V.s. eğrileri kullanılarak en iyi motor sürüş sistemi belirlenebilir.

1)Moment= $F \times r$ [ounces - inches]

F = Yükü sürebilmek için gerekli kuvvet

r = Yarıçap

2)Eylemsizlik momenti:

Disk için;

$$I = \frac{W \times r^2}{2} \quad [lb - in^2]$$

Silindir için;

$$I = \frac{W}{2} \times (r_1^2 + r_2^2) \text{ dir.}$$

Burada;

W = Pound cinsinden ağırlık

r = Inches cinsinden yarıçap

3)Eşdeğer eylemsizlik:

Bir motor;

a)Sistemdeki sürtünme yüklerini karşılayabilmeli,

b)Rotorun dahil,bütün eylemsizlik yüklerini durdurup başlatabilmelidir.

Temel dönme hareketi bağlantıları şunlardır.

$$T = I \times \alpha / 24$$

T = ounces-inches cinsinden moment

I = lb - in² cinsinden eylemsizlik momenti

α = rd/s² cinsinden açısal hızlanma

α açısal ivmesi, W açısal hızı ve konum değişimi için gerekli zamanın fonksiyonudur.

$$\alpha = \frac{W_2 - W_1}{t}$$

veya hız sıfırdan başlıyorsa,

$$\alpha = \frac{W}{t}$$

olup burada;

W = rd/s cinsinden açısal hız

t = s cinsinden zaman

$$W = \frac{\text{Step/s}}{\text{Step/devir}} \times 2\pi \quad \text{oldugundan dolayı,}$$

çizgisel hız ve açısal hızlanma (ivme) W' (step/s) ve α' (step/s²) cinsinden ifade edilebilir.

4.4.1. ORNEK HESAPLAMALAR

1) Eylemsizlik yükünü döndürebilmek için gerekli momentin hesabı:

$$T = 2 \times I_0 \times \frac{W'}{t} \times \frac{\pi \cdot \theta}{180} \times \frac{1}{24} \quad \text{olup,}$$

burada;

T = ounce-inches cinsinden gerekli moment

I₀ = lb-in² cinsinden eylemsizlik yükü

θ = derece cinsinden step açısı

W' = step/s cinsinden step hızı (seviyesi)

ÖRNEK: I₀ (Eylemsizlik) = 9,2 lb-in²

θ (Step açısı) = 1,8°

W' (hızlanma) = 0,5 sn'deki θ 'dan 1000'e kadar saniye-
deki step sayısı

$$T = 2 \times 9,2 \times \frac{1000}{0,5} \times \frac{\pi \cdot 1,8}{180} \times \frac{1}{24} = 48,2 \text{ ounces-inches}$$

B)Tambur ve ip kullanarak ağırlığı kaldırma ve hareket etme tirmek için gerekli moment hesabı:

Motorun sağlaması için gereken toplam moment.

- a)Ağırlığın hızlandırılması (hareket ettirilmesi)
- b)Tamburun hızlandırılması
- c)Motor rotorunun hızlandırılması ve
- d)Ağırlığın kaldırılması için gerekli momentleride kapsar

Ağırlık ve tambur yarıçapının dönme eşdeğer bağıntısı

$$I (eq) = Wr^2 \text{ olup}$$

$$I (eq) = Ib - In^2 \text{ olarak eşdeğer eylemsizlik}$$

W = Pound olarak ağırlık

r^o =Inch olarak tambur yarıçapıdır

ÖRNEK:Ağırlık = 5 Ib_s (80 oz)

Tanbur = 3" o.d, 1.5" yarıçap

hız = 15 ft/s

Yoklama süresi θ 0,5 s

Motor rotoru eylemsizliği: 2,5 Ib-In²

Tanbur eylemsizliği (3" dia x 2"Lg.steel) 4,5 Ib-in²

$$I(eq) = 5 \times (1,5)^2 = 11,25 \text{ Ib-In}^2$$

$$I(\text{tanbur}) = 4,5 \quad "$$

$$+ \frac{I(\text{rotor})}{\quad} = \frac{2,5 \quad "}{\quad}$$

$$I(\text{top}) \quad 18,25 \text{ Ib-In}^2$$

3" tanbur kullanılarak saniyede 15 ft'lik hız elde edildiğinden Dev/s hızı hesaplanabilir.

$$\text{Hız} = \frac{15 \times 12}{3 \times} = 19,1 \text{ dev/s}$$

Motor step açısı 1,8° veya devâr başına 200 steptir. Bu yüzden

$$W' = 19,1 \times 200 = 3820 \text{ step/sn}$$

$$T = 2 \times I_o \times \frac{W}{t} \times \frac{\pi \times \theta}{180} \times \frac{1}{24}$$

$$T = 2 \times 18,25 \times \frac{3820}{0,5} \times \frac{3,14 \times 1,8}{180} \times \frac{1}{24}$$

T = 364 oz-in (Sistemi hareke geçirmek için gerekli moment)

Eşdeğer ağırlığı kaldırmak için gerekli moment

$$T = W \times r = 180 \times 1,5 = 120 \text{ oz-in}$$

olduğundan toplam moment:

364 oz-in (hızlanma momenti)

+ 120 oz-in (kaldırma momenti)

484 oz-in (toplam moment)

Ö) Katı bir kütlenin dişli-çubuk mekanizması ile yatay olarak hareket ettirilmesi için gerekli momentin hesabı:

Motorun sağlaması gereken toplam moment

- Çubuğunun kapsayan ağırlığı harekete geçirmek,
- Dişliyi harekete geçirmek
- Motor rotorunu harekete geçirmek
- Sürtünme kuvvetlerini karşılama için gerekli momentleri de kapsar.

Ağırlığın dönme eşdeğerininde hesaplamak için

$I(eg) = W \cdot r^2$ formülü kullanılır.

W = İb olarak ağırlık

r = inches olarak yarıçap

ÖRNEK: Ağırlık = 5 İb

Dişli aralığı yarıçapı = 3 in

Dişli yarıçapı = 1,5 in

Hız = 15 ft/s

Yol alma zamanı = 0.5 s

Dişli mekanizması eylemsizliği = 4,5 İb-in² (kabul ediliyor)

Motor rotor eylemsizliği = 2,5 İb-in²

$$I(eg) = W r^2 = 5 \times 1,5^2 = 11,25 \text{ İb-in}^2$$

$$I \text{ dişli} = 4,5 \text{ İb-in}^2$$

$$I \text{ rotor} = 2,5 \text{ İb-in}^2$$

$$I \text{ toplam} = 18,25 \text{ İb-in}^2$$

3"lük diş aralıklı dişli için hız 15 ft/s dir. Bu yüzden;

$$\text{Hız} = \frac{15 \times 12}{3 \times \pi} = 19,1 \text{ devir/s dir.}$$

Motor step açısı $1,8^\circ$ olduğu için step/s deki hız

$$W' = 19,1 \times 200 = 3820 \text{ step/s}$$

Sistemi harekete geçirmek için gerekli moment:

$$T = 2 \times I \times \frac{W}{t} \times \frac{\pi \theta}{180} \times \frac{1}{24} =$$

$$2 \times 18,25 \times \frac{3820}{0,5} \times \frac{3,14 \cdot 1,8}{180} \times \frac{1}{24} = 364 \text{ oz-in}$$

Ağırlığı kaydırmak için gerekli momenti hesaplamak için sürtünme kuvvetini 6 oz kabul edelim.

$$T_{\text{sürtürme}} = 6 \times 1,5 = 9 \text{ oz-in}$$

$$\text{toplam gerekli moment} = 364 \text{ oz-in}$$

$$\underline{9 \text{ oz-in}}$$

$$373 \text{ oz-in olur.}$$

Kurşun civata formülleri ve örnek hesaplar:

$$1) \text{Lineer hız (ipm)} = \frac{\text{Step/s}}{\text{step/devir}} \times 60 \times \frac{1}{p} \text{ olup}$$

p = civata dişi/inch olarak kurşun vida aralığı

$$2) \text{Eksenel kuvvet (Ib)} = \frac{2\pi}{16} \times T \times p \times \text{eff} \text{ olup}$$

T = dounce-inch olarak moment

p = civata dişli/inch olarak kurşun vida aralığı

eff=kurşun civata verimi (örneğin %90 = 0,90)

A-Bilya yataklı kurşun civata ve somun tarafında yatay olarak katı bir kütleyi hareket ettirmek için gerekli moment hesabı

Motorun sağlaması gereken toplam moment

a)Ağırlığı hareket ettirici (hızlandırıcı)

b)Kurşun civatayı hızlandırıcı

c)Motor rotorunu hızlandırıcı

d)Sürtünme kuvvetlerini karşılayıcı

momentleride kapsar.

Ağırlığın döner eşdeğerini hesaplarken

$$I(\text{eg}) = W \frac{1}{p^2} \left(\frac{1}{2\pi} \right)^2$$

W = ağırlık (Ibs)

p = diş aralığı (inch)

I(eg) = polar eylemsizlik değeri (1b-in²)

ve kurşun civata eylemsizliği

I serew = D⁴ x uzunluk x 0,028

Ağırlık = 1000 lb

Hız = 0,15 ft/s

Yolalma süresi = 0,1 s

Yuvarlak civata çapı = 1,5"

Yuvarlak civata uzunluęu = 48"

Yuvarlak civata aralığı = 5 vida aralığı/inch

Motor rotor eylemsizliği = 2,5 lb-in²

Ağırlığı kaydırıcı sürtürme kuvveti = 6 oz

$$I(eg) = W \times \frac{1}{2} \times 0,025$$

$$I(eg) = 1000 \times \frac{1}{25} \times 0,025$$

$$I(eg) = 1,0 \text{ lb-in}^2$$

$$I \text{ civata} = D^4 \times \text{uzunluk} \times 0,025$$

$$I \text{ civata} = 6,8 \text{ lb-in}^2$$

$$I(eg) = 1,0$$

$$I \text{ rotor} = 2,5 \text{ lb-in}^2$$

$$I \text{ takat} = 10,3 \text{ lb-in}^2$$

Hız saniyede 1800 stebe eşit olan 0,15 ft/s dir. Sistemi hareket ettirici moment

$$T = 2 \times I_o \times \frac{W'}{t} \times \frac{3,14 \times 1,8}{180} \times \frac{1}{24}$$

$$T = 484 \text{ oz-in}$$

sürtünme kuvvetini karşılayıcı moment

$$F = 0,393 \times T \times p \times \text{eff}$$

$$\frac{6}{16} = 0,393 \times T \times 5 \times 0,90 \text{ olur.}$$

Burada; F = Ib olarak sürtünme kuvveti

T = oz-in olarak moment

p = vida aralığı/inch olarak kurşun civata aralığı

T = 0,22 oz-in

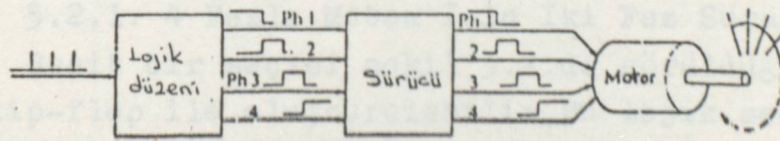
$$\text{Toplam gerekli moment} = \frac{0,22 \text{ oz-in} + 484,00 \text{ oz-in}}{484,22 \text{ oz-in}}$$

5-AÇIK ÇEVİRİM KONTROLÜ İÇİN SÜRÜCÜ SİSTEM VE DEVRELER

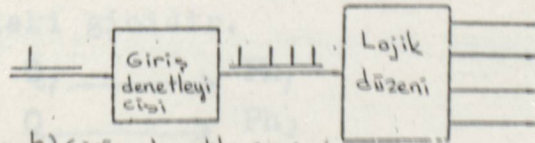
Step motor uygulamalarındaki en büyük problemlerden biri sürücü sistemlerdir. Stepmotor sürücü sistemleri açık ve kapalı çevrim kontrollü olarak ikiye ayrılır. Bu bölümde açık çevrimli sürücü sistemler incelenecektir.

5.1. Sürücü Sistem

Şekil 5.1 deki örnekte 4 fazlı bir step motora ait basit bir sürücü sistem görülmektedir. Blok diyagramı ikiye ayırıp inceleyerek 5.1.(a), lojik diziciden motora olan kısmı göstermektedir. Lojik diziciye bir step komutu uygulandığında, çıkış terminallerini durumları; motor sürücüsünün motoru istenen yöndeki bir step açısıyla döndürecek şekilde kontrol etmesi için değişecektir. Dönüş yönü, yöngiriş sinyalindeki Lojik duruma göre belirlenir. Örneğin bu durum saat yönü CW için HIGH, ters saat yönü dönüş CCW için LOW'dur. Lojik seçicinin tek yönlü olduğu bazı uygulamalarda, dönüş yönünü belirleyici sinyal olmayacaktır. Hareketin tek artımı bir step ile gerçekleştirilirse, şekil 5.1.(a) tüm sistemin durumunu bir step için gösterecektir. Eğer bu artım iki yada daha fazla stepten meydana gelmişse, Lojik diziciye gelmeden önce düzgün darbe dizicileri üreten diğer bir kısma ihtiyaç vardır. Bu kısım şekil 5.1.(b) de gösterilmiştir.



a) Lojik düzeninden motora



b) Giriş denetleyicisi

Şek.5.1. Step motor sürücü sistemine ait blok diyagram

Bu kısım giriş denetleyicisi olarak adlandırılır. Daha hassas uygulamalarda giriş denetleyicisinin fonksiyonu (yaptığı işle) en güvenilir ve verimli olacak şekilde hızlanma, çevirme ve yavaşlama hareketlerini sağlamak için darbe dizileri üreten bir mikroişlemci gibi bir elektronik devre ile gerçekleştirilir. Bu bölümde ilk olarak darbe seçicilerinin ele alınacağı sonra giriş denetleyici ve giriş sürücüleri incelenecektir. Son olarak mikroişlemcili açık çevrim kontrollü bir uygulama gösterilecektir.

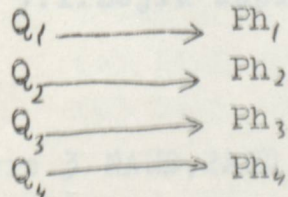
5.2. Lojik seçiciler (Diziciler)

Lojik seçici verilen step komutlarına bağlı olarak sargıların uyartımının sırasıyla kontrolünü sağlayan lojik bir devredir. Lojik seçici NAND ve NOR lardan oluşan Lojik kapılardan ve bir shift registerden (Paralel kaydırıcıdan) oluşur. Günümüzde IC (entegre devre) shift registerler kullanılmaktadır. Fakat özel amaçlı uygulamalar için JK flip-flop'lar ve Lojik kapı çiplerinden oluşan lojik seçiciler dizayn edilebilir.

Kapıların ve Jk flip-flop'ların temel fonksiyonları tablo 5.1. de gösterilmiştir. Bir çok çip kullanılarak lojik seçiciler elde edildiği gibi step motorlar için dizayn edilmiş çok amaçlı lojik seçiciler mevcuttur. Bu kısımda öncelikle TTL entegre devrelerden oluşan bir kaç lojik seçici tipi incelenerek sonra CMOS tip seçici incelenecektir.

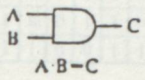

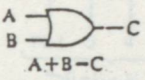
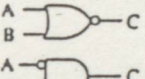
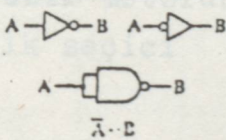
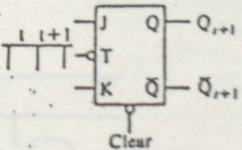
5.2.1. 4 Fazlı Moton İçin İki Faz Sürüş Uyartımı

Basit bir seçici şekil 5.2.de görüldüğü gibi sadece iki JK flip-flop ile oluşturulabilir. Bu lojik seçicinin doğruluk tablosu aynı şekilde birlikte verilmiştir. Seçicinin çıkış uçları ve kontrol edilecek faz sargıları arasındaki karşılıklı ilişki aşağıdaki gibidir.



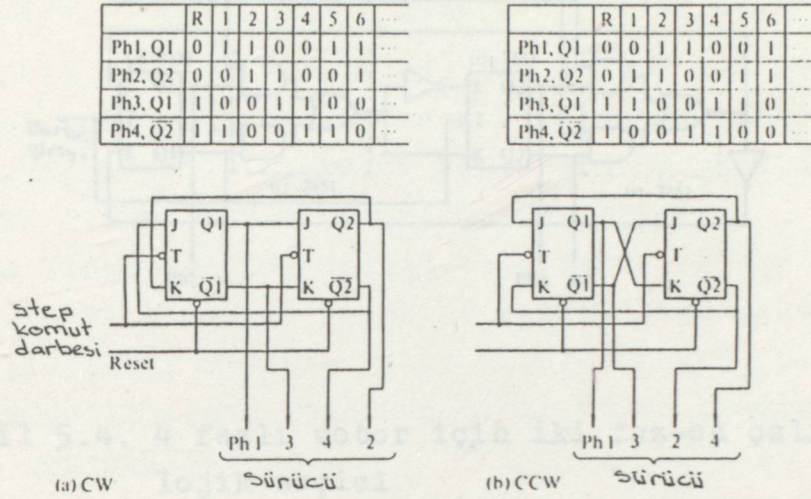
Yani Q high konumunda ise Ph₁ sargısı uyartılacaktır. Tabloda da görüldüğü gibi (a) devresine ait uyartım sırasını gösteren (b) devresinin zıttıdır. Aynı şekilde saat yönü CW ve ters saat yönü CCW dönüşleri (a) ve (b) devrelerinde elde edilmektedir.

Dönüş yönünü değiştirmek için seçicinin bağlantıları (a) ve (b) arasında değiştirilmelidir. Şekil 5.3. de görülen yön tetikleme devresi bu amaçla kullanılmaktadır.

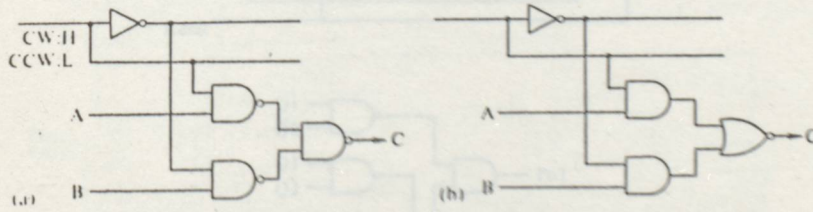
AND	 $A \cdot B = C$	<table border="1"><thead><tr><th colspan="2">Input</th><th>Output</th></tr><tr><th>A</th><th>B</th><th>C</th></tr></thead><tbody><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr></tbody></table>	Input		Output	A	B	C	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0						
Input		Output																								
A	B	C																								
1	1	1																								
1	0	0																								
0	1	0																								
0	0	0																								
NAND	 $A \cdot B = C$	<table border="1"><thead><tr><th colspan="2">Input</th><th>Output</th></tr><tr><th>A</th><th>B</th><th>C</th></tr></thead><tbody><tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr></tbody></table>	Input		Output	A	B	C	1	1	0	1	0	1	0	1	1	0	0	1						
Input		Output																								
A	B	C																								
1	1	0																								
1	0	1																								
0	1	1																								
0	0	1																								
OR	 $A + B = C$	<table border="1"><thead><tr><th colspan="2">Input</th><th>Output</th></tr><tr><th>A</th><th>B</th><th>C</th></tr></thead><tbody><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr></tbody></table>	Input		Output	A	B	C	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0	0	0						
Input		Output																								
A	B	C																								
1	1	1																								
1	0	1																								
0	1	1																								
0	0	0																								
NOR	 $A + B = C$	<table border="1"><thead><tr><th colspan="2">Input</th><th>Output</th></tr><tr><th>A</th><th>B</th><th>C</th></tr></thead><tbody><tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr></tbody></table>	Input		Output	A	B	C	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1						
Input		Output																								
A	B	C																								
1	1	0																								
1	0	0																								
0	1	0																								
0	0	1																								
NOT	 $A = B$	<table border="1"><thead><tr><th colspan="2">Input</th><th>Output</th></tr><tr><th>A</th><th>B</th></tr></thead><tbody><tr><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td></tr></tbody></table>	Input		Output	A	B	1	0	0	1															
Input		Output																								
A	B																									
1	0																									
0	1																									
JK-FF	 J, K, Q_n, Q_{n+1}	<table border="1"><thead><tr><th colspan="2">Input</th><th colspan="2">Output</th></tr><tr><th>J</th><th>K</th><th>Q_{n+1}</th><th>\bar{Q}_{n+1}</th></tr></thead><tbody><tr><td>1</td><td>1</td><td>Q_n</td><td>\bar{Q}_n</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>Q_n</td><td>\bar{Q}_n</td></tr></tbody></table> <p>Clear ucu yükseldiğinde tablonun fonksiyonu değişir. Clear terminali aşağıda ise Q çıkışı aşağı, Q̄ ise yukarıda olacaktır.</p>	Input		Output		J	K	Q_{n+1}	\bar{Q}_{n+1}	1	1	Q_n	\bar{Q}_n	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	Q_n	\bar{Q}_n
Input		Output																								
J	K	Q_{n+1}	\bar{Q}_{n+1}																							
1	1	Q_n	\bar{Q}_n																							
1	0	1	0																							
0	1	0	1																							
0	0	Q_n	\bar{Q}_n																							

Tablo 5.1. Lojik kapılar ve fonksiyonları

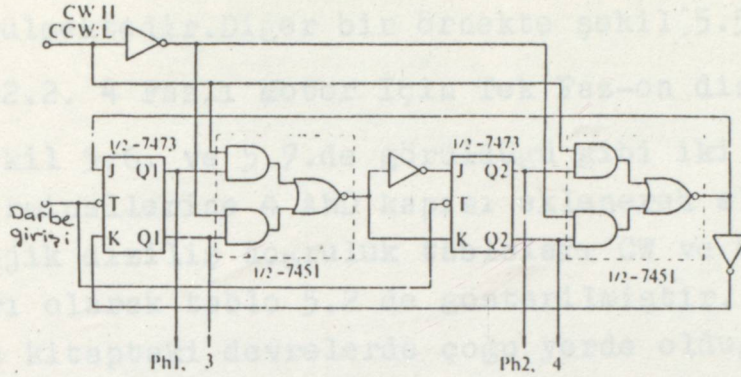
Bu devre 3 NAND, 2 AND ve NOR kapısına bileşiminden oluşmaktadır. Eger (a) devresinde yön komut sinyali high konumunda ise A terminalindeki seviye C çıkış terminaline yansır. Veya eğer yön komutu LOW ise C'deki sinyal B girişi sinyaline aynısı olur. (b) devresinde yön komutu high ise $C = \bar{A}$, Low ise $C = \bar{B}$ olacaktır.



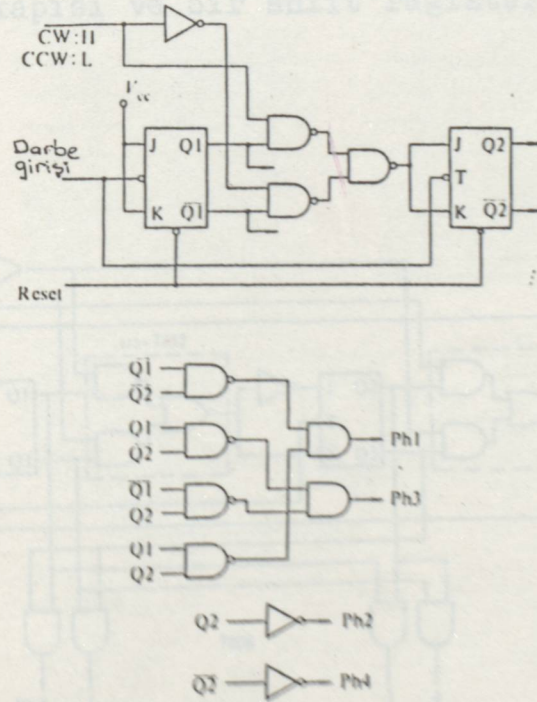
Şekil 5.2. 4 fazlı motorun ikifaz-on çalışması için tek yönlü lojik seçici



Şekil 5.3. Dönüş yönü komutu için kullanılan Lojik seçiciler
(a) high komutu için $C=A$ ve Low komutu için $C=B$ dir.
(b) high için $C=\bar{A}$ ve Low için $C=\bar{B}$ olur.



Şekil 5.4. 4 fazlı motor için iki faz-on çalışmada iki yönlü lojik seçici



Şekil 5.5. 4 fazlı motorun iki faz-on çalışması için diğer bir lojik seçici

Şekil 5.4.de iki yönlü tetiklemeli olarak çalışan 4 fazlı step motorun iki faz-on uyarıtımı için iki yönlü Lojik seçici devresi görülmektedir. Diğer bir örnekte şekil 5.5.de görülmektedir.

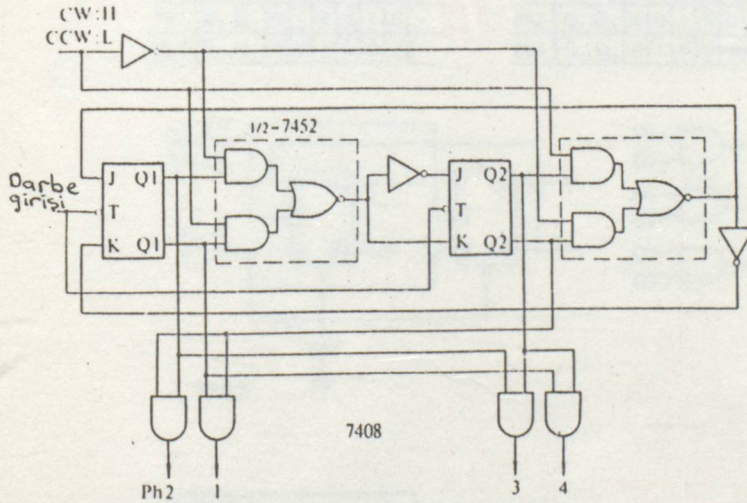
5.2.2. 4 Fazlı Motor İçin Tek Faz-on dizicileri

Şekil 5.6. ve 5.7.de görüldüğü gibi iki faz-on seçicinin çıkış terminallerine 4 AND kapısı eklenerek elde edilmektedir. Lojik diziliş doğruluk tabloları CW ve CCW yönleri için ayrı ayrı olarak tablo 5.2 de gösterilmiştir.

Bu kitaptaki devrelerde çoğu yerde olduğu gibi step komut darbesinin aşağı doğru (negatif kenar) olan kenarlarında çıkışta değişiklikler meydana gelir. Gürültüyü yok etmek ve dalga şeklini düzgülendirmek için seçicinin önüne konulan devre şekil 5.36 da gösterilmiştir.

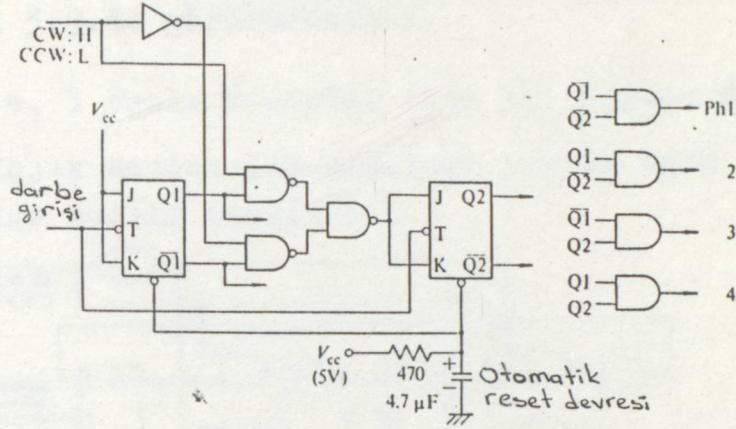
5.2.3. 3 Fazlı motorlar için tekfaz-on seçicisi

3 fazlı bir motorun tekfaz-on sürücüsü için tek yön seçiciler 3 AND kapısı ve bir shift register'den oluşmaktadır. (şekil 5.8)



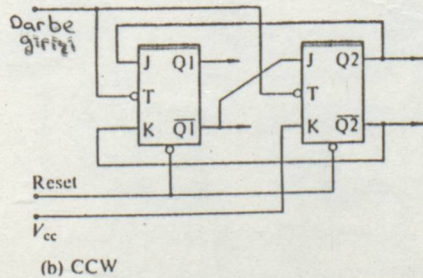
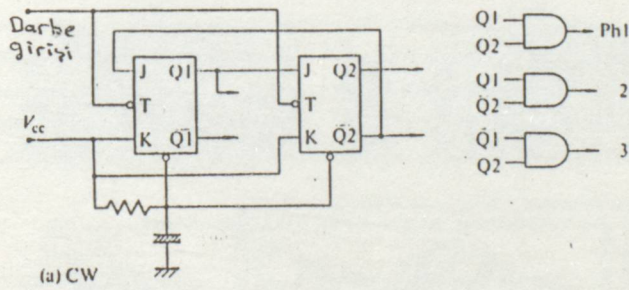
Şekil 5.6. 4 fazlı motorun tekfaz-on çalışması için iki yönlü Lojik seçici.

		CW						CCW											
	R	1	2	3	4	5	6	...		R	1	2	3	4	5	6	...		
Q_1	0	1	0	1	0	1	0	...	Q_1	0	1	0	1	0	1	0	...		
\bar{Q}_1	1	0	1	0	1	0	1	...	\bar{Q}_1	1	0	1	0	1	0	1	...		
Q_2	0	0	1	1	0	0	1	...	Q_2	0	1	1	0	0	1	1	...		
\bar{Q}_2	1	1	0	0	1	1	0	...	\bar{Q}_2	1	0	0	1	1	0	0	...		
Ph1	$Q_1 \cdot \bar{Q}_2$	1	0	0	0	1	0	0	...	Ph1	$Q_1 \cdot \bar{Q}_2$	1	0	0	0	1	0	0	...
Ph2	$Q_1 \cdot Q_2$	0	1	0	0	0	1	0	...	Ph2	$Q_1 \cdot Q_2$	0	0	0	1	0	0	0	...
Ph3	$\bar{Q}_1 \cdot \bar{Q}_2$	0	0	1	0	0	0	1	...	Ph3	$\bar{Q}_1 \cdot \bar{Q}_2$	0	0	1	0	0	0	0	...
Ph4	$\bar{Q}_1 \cdot Q_2$	0	0	0	1	0	0	0	...	Ph4	$\bar{Q}_1 \cdot Q_2$	0	1	0	0	0	1	0	...



Şek.5.7. 4 fazlı motorun tek faz-on çalışması için iki yönlü lojik seçici

		CW					CCW										
	R	1	2	3	4	5	...		R	1	2	3	4	5	...		
Q_1	0	1	0	0	1	0	...	Q_1	0	0	1	0	0	1	...		
Q_2	1	0	1	1	0	1	...	\bar{Q}_1	1	1	0	1	1	0	...		
Q_2	0	0	1	0	0	1	...	Q_2	0	1	0	0	1	0	...		
\bar{Q}_2	1	1	0	1	1	0	...	\bar{Q}_2	1	0	1	1	0	1	...		
Ph1	$\bar{Q}_1 \cdot \bar{Q}_2$	1	0	0	1	0	0	...	Ph1	$\bar{Q}_1 \cdot \bar{Q}_2$	1	0	0	1	0	0	...
Ph2	$Q_1 \cdot \bar{Q}_2$	0	1	0	0	1	0	...	Ph2	$Q_1 \cdot \bar{Q}_2$	0	0	1	0	0	1	...
Ph3	$Q_1 \cdot Q_2$	0	0	1	0	0	1	...	Ph3	$\bar{Q}_1 \cdot Q_2$	0	1	0	0	1	0	...



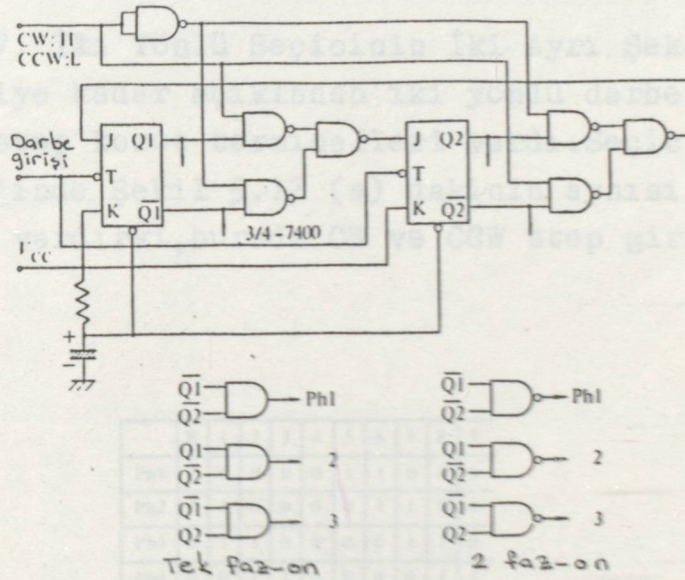
Şek.5.8. 3 fazlı motorların tek yönlü darbe seçicisi

Şekil 5.8.de (a) devresi CW yönünde,(b) devresi CCW yönünde sürüş sağlamaktadır.

Lojik seçici doğruluk tablosu aynı şekilde gösterilmiştir.İki JK flip-flop arasındaki bağlantıları anahtarlamak için kullanılan iki yön-tetikleme devrelerinin bulunduğu,iki yönlü seçici şekil 5.9.da görülmektedir.

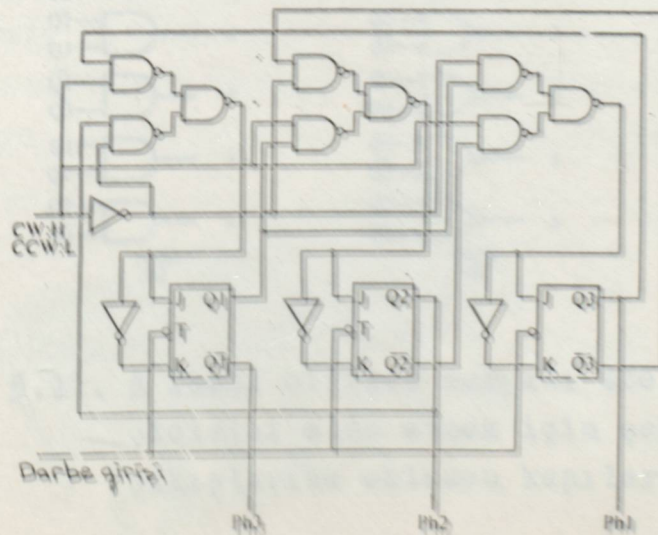
5.2.4. 3 Fazlı Motorlar İçin İki Faz-on Seçicisi

Bu lojik seçici AND kapıları yerine NAND kapıları kullanılarak elde edilir (şekil 5.9.)



Şekil 5.9. 3 fazlı motorların iki yönlü lojik seçicileri

		CW									CCW								
	R	1	2	3	4	5	6	7		R	1	2	3	4	5	6	7		
Ph1.	Q1	1	1	0	0	0	1	1	1	Ph1.	Q1	1	1	0	0	0	1	1	1
Ph2.	Q2	0	0	0	1	1	1	0	0	Ph2.	Q2	0	1	1	1	0	0	0	1
Ph3.	Q3	0	1	1	1	0	0	0	1	Ph3.	Q3	0	0	0	1	1	1	0	0



Sek.5.10. 3 fazlı bir motorun yarım step çalışması

5.2.5. 3 Fazlı Motorların Yarım Adım (step) Seçicisi

Böyle bir devreye ait 3 JK flip-flop kullanılarak yapılan bağlantı şekil 5.10 da görülmektedir.

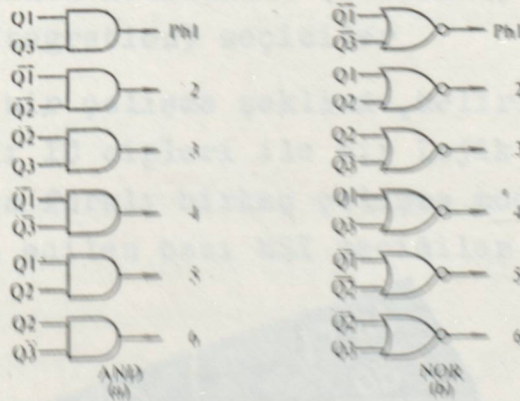
5.2.6. VR Tipli 3 Fazlı Motorun Bifilar (Çifttelli) Sargısı İçin İkifaz-on Seçicisi

Bifilar sargılı 3 fazlı motor için 2 faz-on sürücü sistemine ait seçici tablo 2.4.te gösterilmiştir. Bu devre şekil 5.10 daki devrenin çıkış uçlarında sonra 6 tane AND veya NOR kapısı eklenerek elde edilir. Bağlantılar şekil 5.11.de gösterilmiştir.

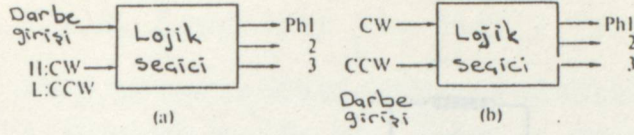
5.2.7. İki Yönlü Seçicinin İki Ayrı Şekli

Şimdiye kadar açıklanan iki yönlü darbe seçicilerinde yön girişi ve step komut terminalleri vardı. Seçici bir blok olarak gösterildiğinde Şekil 5.12 (a) dakinin aynısı olacaktır. Diğer bir seçici vardır ki, burada CW ve CCW step girişleri vardır. Şekil 5.12(b)

	R	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ph1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0
Ph2	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0
Ph3	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0
Ph4	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1
Ph5	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1
Ph6	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0



Şekil 5.11. 3 fazlı bifilar sargılı step motorun lojik seçicisini elde etmek için şekil 5.10 daki devre çıkışlarına eklenen kapılar.



Şek.5.12.Darbe seçicinin iki ayrı şekli

5.2.8. 4 Fazlı Hibrid Stepmotorların Köprü Sürüş Seçicisi

Şekil 2.62 ve 2.63 de hibrid stepmotorun köprü sürüşü için tetikleme sistemi düzenlenmesi gösterilmiştir. Sekiz güç transistörü kullanılan şekil 2.63 deki devre için S1 ve S4, S2 ve S3, S5 ve S8, S6 ve S7 cihaz tetikleme çiftleri aynı anda çalışmalıdır. Şekil 5.4 teki Lojik seçici aşağıdaki bağlantılar ile bu tetikleme cihazlarını sürmek için kullanılabilir.

S1 ve S4 için	$\bar{Q}2$	çıkışı
S2 ve S3 "	Q2	"
S5 ve S8 "	Q1	"
S6 ve S7 "	$\bar{Q}1$	"

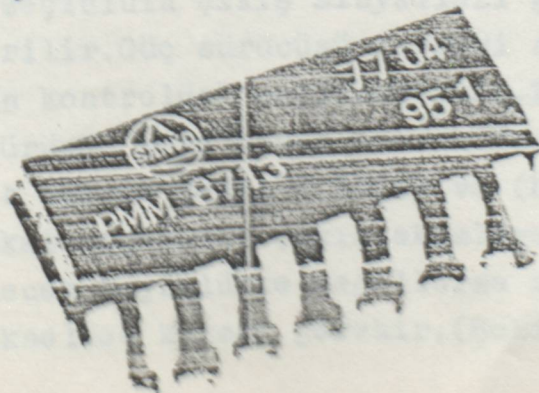
Şekil 2.63 deki sürücü şeması için bu bağlantılar

S1 için	$\bar{Q}2$	çıkışı
S2 için	Q2	"
S3 "	Q1	"
S4 "	$\bar{Q}1$	"

şeklindedir.

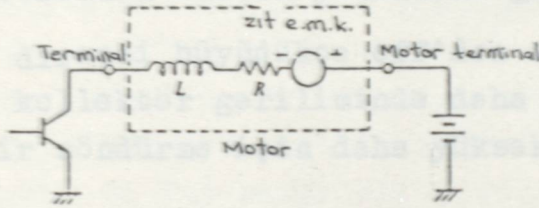
5.2.9. Genel kullanımla (evrensel) MSI (Most Scale Itegration) seçiciler

Belirli bir çalışma şeklinde, belirli bir sürücü çalıştırmak için farklı IC çipleri ile bir Lojik seçici elde etmek yerine, step motorun farklı birkaç çalışma modunda kullanılabilecek şekilde dizayn edilen bazı MSI seçiciler kullanılabilir.



5.3.2. Sürücüler İle İlgili Problemler

Step motorlardaki sargı endüktif özelliğe sahip olup, eşdeğer olarak seri bağlı bir self ve dirençten oluşur. Buna ek olarak motor döndüğü zaman sargıda zıt bir e.m.k. meydana gelir. Bu yüzden bir sargının eşdeğer devresi şekil 5.15 deki gibidir. Bir sürücünün dizaynında gerekli faktörlerin ve bu devre çeşidinin davranışının gözönünde tutulması gereklidir. İlk olarak step motorların en kötü durumları, güç transistörleri ve besleme gerilimleri ele alınmalıdır. Motor parametreleri üretim toleranslarına ve çalışma şartlarına bağlı olarak değişir. Step motorlar en küçük boyuttu en büyük gücü verecek şekilde dizayn edildikleri için gövde sıcaklığı 100° ye kadar yükselebilir. Bu yüzden motor direnci %20 ile %25 arasında yükselir.



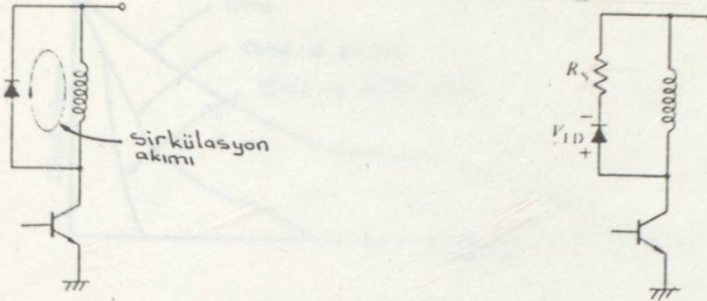
Şekil 5.15. Bir step motor sargısının eşdeğer devresi

5.3.3. Süpresörler (Bastırıcılar)

Şekil 5.15 deki transistör "off" olduğundan $L \cdot di/dt$ ye bağlı olarak bir yüksek gerilim meydana gelir ve bu gerilim transistöre zarar verir. Bu gerilim piklerini (artışlarını) bastırmak ve transistörü korumak için bir kaç farklı metod vardır.

(1) Diod Bastırıcı: Bir diod şekil 5.16 deki polaritede bir bir sargı ile paralel bağlanırsa transistör "off" olduktan sonra bir birikülasyon akımı dolaşacaktır ve bu akım zamanla sönecektir. Bu şekilde off anında akımda büyük bir değişiklik meydana gelmez ve kollektör gerilimi E besleme gerilimi ile diodun iletim yönündeki geriliminin toplamı olur. Bu metod oldukça basittir. Fakat sirkülasyon akımı süresince önemsenebilecek miktarda frenleme momenti meydana gelir.

(2)Diod/Direnç bağlantısı:Şekil 5.17 deki devredeki diodaseri bir direnç bağlanarak sirkülasyon akımı daha erken söndürülebilir.Off anında kollektöre uygulanan gerilim:



Şek.5.16 Diod bastırıcı Şek.5.17.Diod direnç bağlaması

$V_{CE} = E + I \cdot R_s + V_{DF}$ olup burada,

E = Besleme gerilimi

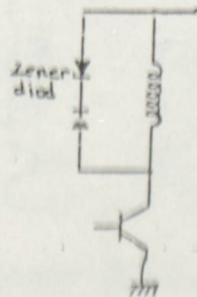
I = Off olmadan evvelki akım

R_s =Bastırıcı direnç

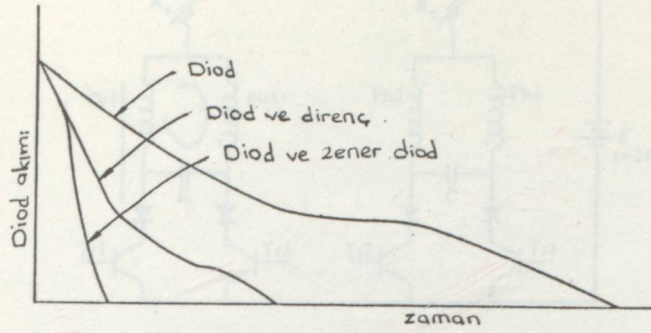
V_{DF} =Diodun iletim yönündeki gerilimi

R_s direnci büyüdükçe off'dan sonraki akım daha çabuk sönecek fakat kollektör geriliminde daha çabuk büyüyecektir.Bu yüzden hızlı bir söndürme için daha yüksek bir maximum gerilim oranı gereklidir.

(3)Zenerdiod Bastırıcı:Zener diodlar çoğunlukla şekil 5.18.de görüldüğü gibi bir dioda seri bağlanarak kullanılır.Daha önceki iki metodla karşılaştırırsa burada daha çabuk sönecektir. Bu metodun bir yararında kollektör geriliminin besleme gerilim ile zener geriliminin toplamından oluşması,yani akımda bağımsız olmasıdır.Bu ise maksimum kollektör gerilim oranının belirlenmesini kolaylaştırır.Şekil 5.20.de 4 fazlı bir motorun zener diod ile bastırılan sürücü devresi görülmektedir. R_1 ve R_2 dirençleri 5.3.4.de açıklanacak olan uyartım akımının çabuk yükselmesi içindir.

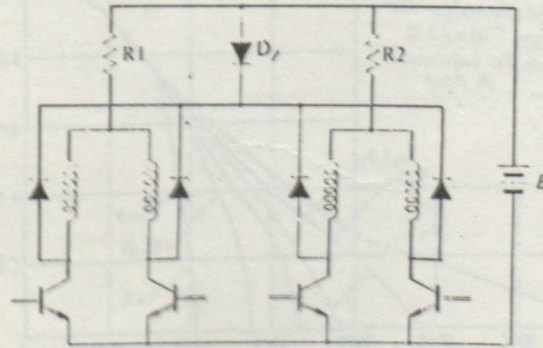


Şek.5.18.Zener diod bastırıcı

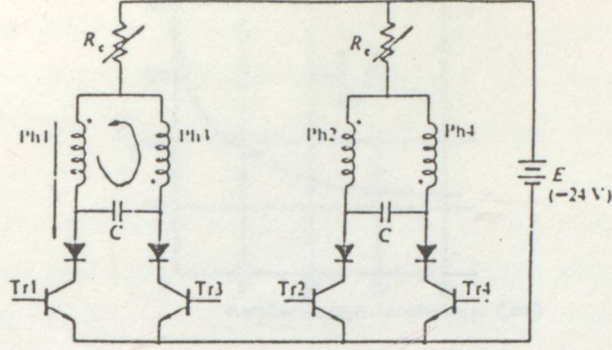


5.19. Bastırıcı tiplerinin karşılaştırılması

(4) Kondansatör Bastırıcı: Bu metod çoğunlukla bifilar (çift telli) sargılı motorlarda kullanılır. Ph1 ve Ph3 ile Ph2 ve Ph4 arasına birer kondansatör konulur. Bu kondansatörler iki türlü kullanılırlar. Birincisi bir transistörün off (kesim) durumunda diot aracılığıyla ona bağlı bir kondansatör: transistörü korumak için kullanılan selften gelen akımı söndürür. Şimdi tek faz-on çalışmada TR1 transistörü off olduktan sonraki durumu ele alalım. Bu durumda TR2 veya TR4 ten biri iletimde fakat Tr3 hala off (kesim) durumundadır. Ph1 ve Ph3 sargıları bifilar (çift telli) oldukları için akım şekilinde kesik çizgilerle gösterildiği yönde sirkülasyon yapacaktır. Geçici sirkülasyon akımı sıfır kondansatörde depolanan yük max. olduğunda TR3 iletimde ise Ph1 sargısı içinden pozitif bir akım akar. Bu rezonans düzeni ile akım verimli bir şekilde kullanılır. Bu nitelik iki faz-on çalışmada da mevcuttur. Dar bir bölgeyle sınırlanan setp oranlı sürücü uygulamalarında kondansatör bastırıcı oldukça uygundur.

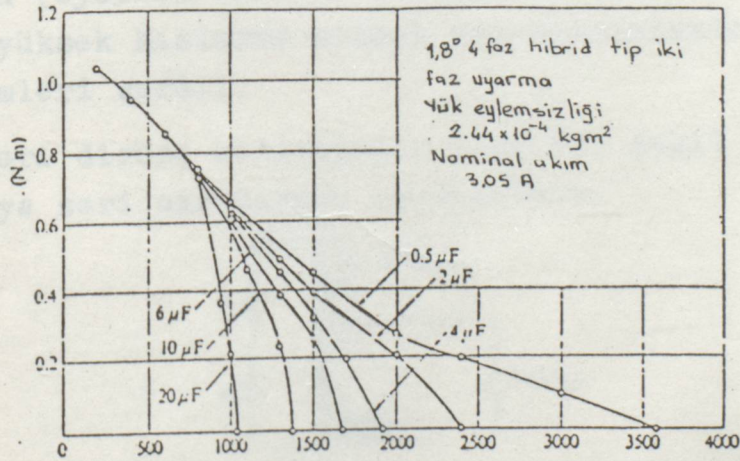


Şekil 5.20. Zener diod bastırıcılı 4 fazlı sürücü örneği

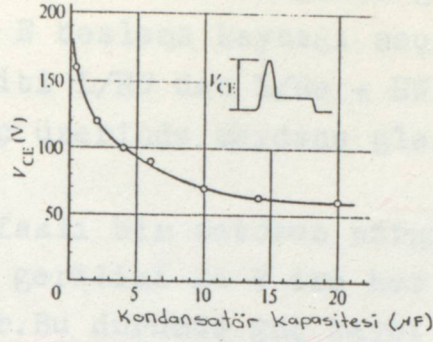


Şekil 5.21, Kondansatör bastırıcılı 4 fazlı sürücü R_c ile gösterilen harici direnç nominal akım ayarı için kullanılır.

Kondansatörlerin diğer bir kullanışında elektiriksel damper (söndürücüdür) dir.Rotor osilasyonlarını söndürmenin bir metodu bir mekanizka ile kinetik enerjiyi ısı enerjisine çevirmektedir.Sabit mıknatıslı rotor osillasyon yaparsa sargıda alternatif e.m.k.meydana gelir.Buna rağmen eğer bir akım yolu yoksa veya devrede yüksek değerli bir direnç varsa bu e.m.k.tarafında hiç bir akım oluşturmayacaktır.Fazlar arasına bir kondansatör bağlandığı zaman şekil 5.21 deki kapalı çevrede osilasyon yapan bir akım akacaktır,ve kondansatörün elektriksel söndürücü olarak çalışması sebebiyle sargılarda ısı elde edilecektir.Kapasite kullanılan ve hibrid motor kullanılarak hazırlanan itme eğrileri şekil 5.22. de görülmektedir.



Şekil 5.22. Fazlar arasına bağlı kondansatör ile itme momenti eğrilerinin değişimleri.



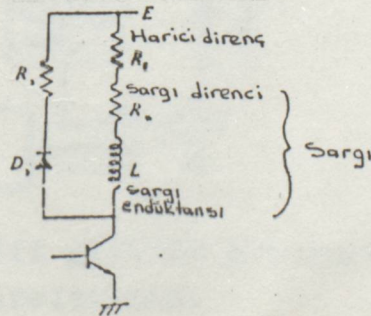
Şekil 5.23 Max.itme oranında kapasitenin değişimi ile kesimdeki transistöre uygulanan gerilim.

Kapasite değeri küçüldükçe daha büyük stepleme seviyelerinde itme momentide büyür ki bu akımın sönme hızının büyümesine de sebep olur.Kesim olayı meydana geldikten sonra kollektöre uygulanan max.gerilim kapasitenin küçütülmesi ile büyültülebilir.(Şekil 5.23)

5.3.4. Akım artışının düzeltilmesi

Bir transistör bir fazı uyarmak için ilettime sokulduğunda endüktansın kendi içinden geçen akıma ters yönde bir akım geçirmek eğilimine sahip olması (Lenz Kanunu) nedeniyle,motor nominal akımda sürülmeden önce sargı endüktansının bu etkisini karşılayacak büyüklükte bir besleme kaynağı olmalıdır.Tetükleme frekansı yükseldiği zaman bir saykıla düşen build-up süresi yükselir ve bunun sonucunda moment küşülür,cevap süresi ise büyür.Bu süreyi küçültmenin (uyartım akımını nominal degerine bir an önce sağlamanın) ve yüksek hızlarda moment karakteristiklerini düzeltmenin bazı yöntemleri vardır.

1)Seri direnç kullanma;En ucuz yol şekil 5.24 de görüldüğü gibi sargıya seri bir direnç bağlamaktır.

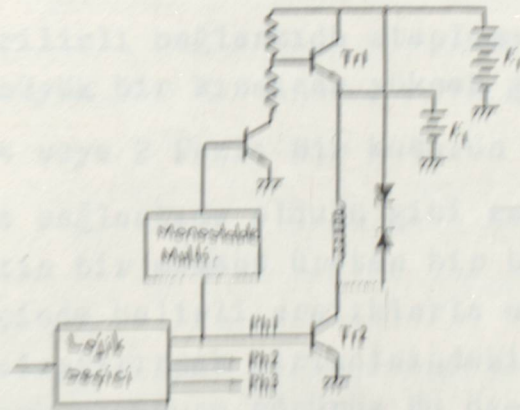


Şekil 5.24. Sargıya Re seri direnci bağlayarak build-up akımını düzeltme ve E besleme gerilimini yükseltme.

Kararlı durum halinde sargıdan geçecek nominal akımı sürmek için uygun bir E besleme kaynağı seçilir. Direnç eklenmesiyle devrenin zaman sabiti L/RW dan $L/Re + RW$ ya düşürülür. Ancak bu metotta seri direnç üzerinde meydana gelen güç kayıpları yüksek olmaktadır.

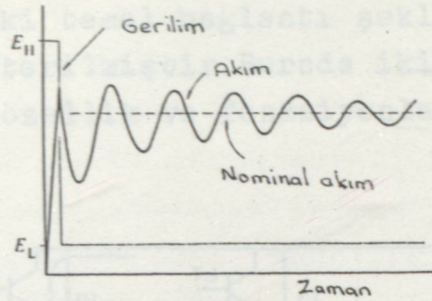
Örneğin 4 fazlı bir motorun sargı direnci $1,5 \Omega$ ve nominal akım 4A ve besleme gerilimi 24 V ise her bir faza $4,5 \Omega$ luk bir direnç eklenmelidir. Bu durumda güç kaybı tek faz-on çalışmada $4,5 \times 4^2 = 72W$, iki faz-on çalışmada ise iki katlı olacaktır.

(2)Çift gerilim kullanma: Sürücüdeki güç kayıplarını azaltmak ve step motorun performansını yükseltmek için çift gerilimli sürücü kullanılır. Bir faz için çizilmiş bağlantı şekil 5.25. te gösterilmiştir. Seçiciye bir step komutu verildiğinde bir faz sargısını uyaracak şekilde çıkış uçlarından birinden high sinyal alınır. Bu çıkış sinyali Tr1 ve Tr2 yi iletme sokarken sargıyada E_H gerilimi uygulanmış olur. Küçük gerilim kaynağını, büyüğünden izole edebilmek için D1 diodu ters biçimde bağlar. Bu durumda akım E_H gerilimine bağlı olarak hızlı bir şekilde oluşur. Monostable (tek kararlı) multivibratörün zaman sabiti, sargı akımı, nominal akımı çok az bir şekilde geçtiği zaman Tr1'i kesime sokacak şekilde bir değerde seçilir. Yüksek gerilim kaynağı (E_H) kesildiği zaman diod iletim yönünde kutuplanır, ve sargı akımı, düşük gerilimli kaynaktan sağlanır. Örnek bir dalga şekli 5.26 da gösterilmiştir. 4 fazlı bir motorun iki faz-on sürüşü için çift gerilimli metod kullanıldığı durumda devre şeması şekil 5.27 deki gibi olacaktır.

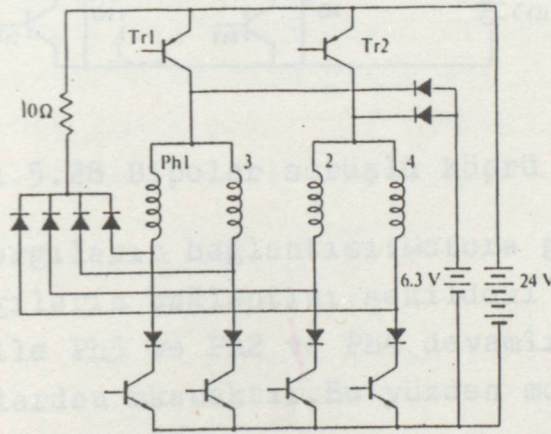


Şekil 5.25, Çift gerilim kullanılarak akım arttırma ve düzeltilmesi

Yüksek gerilim ile beslenen sargının,yeni bir faz devreye girdiğinde tekrar uyartılmasını sağlamak için yüksek gerilimi (E_H gerilimi) anahtarlayan iki transistör kullanılır.



Şekil 5.26 Çift gerilimli bağlantıda akım ve gerilim dalga şekilleri



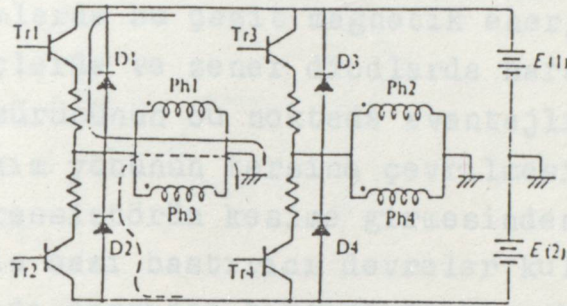
Şekil 5.27 4 fazlı bir motorun iki faz-on çalışması için gerekli çift gerilimli sürücü.

Çift gerilimli bağlantıda stepleme oranı yükseltildiğinde zamanın daha büyük bir kısmında yüksek gerilim uygulanır.

5.3.5. 4 veya 2 Fazlı Bir Motorun Köprü Sürücü Devresi

Bu çeşit bağlantıda olduğu gibi sargıların,devamlı uyartılave daha etkin bir moment üreten bir bağlantı şeklini;her sargının zaman içinde belirli aralıklarla uyartıldığı bir bağlantı şekliyle karşılaştırırsak birincisindeki motor veriminin diğerine göre daha yüksek olduğunu görürüz.Bu özellik küçük güçlü motorlar için çok daha geçerli olmaktadır. 4 fazlı bir hibrid motoru sürerken 4 sargıda devamlı uyartıldığından dolayı bipo lar (çiftyönlü)

sürüş metodu en iyi sürüş şekli olmaktadır.Yine bu bağlantı şekli unipolar (yani akımın sargıdan tek yönlü olarak akması) sürüş ile karşılaştırıldığında momentde %20-35 arasında bir yükselme elde etmek mümkün olacaktır.Bipolar bağlantıda bir motorun köprü devre ile sürüşünde iki temel bağlantı şekli vardır.Bunlardan biri şekil 5.28 de gösterilmiştir.Burada iki güç kaynağı kullanılmıştır. Bu bağlantının özellik ve fonksiyonları aşağıdaki gibi özetlenmiştir.



Şekil 5.28 Bipolar sürüşlü köprü devresi

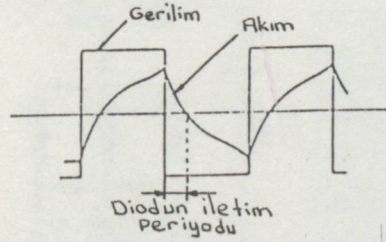
1. Sargıların bağlantısı:Motora gelen ayrı bir bağlantı ucu varsa sargıların bağlantısı şekildeki gibi olacaktır.Alternatif akım,Ph1 ile Ph3 ve Ph2 ve Ph4 devamlı aynı polaritede olacak şekilde sargılardan akacaktır.Bu yüzden motor sanki iki fazlı bir motor gibi düşünülebilir.

2. Transistörlerin korunması:Transistörlerden biri iletimde iken diğeri kesimde olmaktadır.Diğer bir deyişle transistörler aynı anda iletimde olamamaktadırlar.Fakat bu durumda bir transistör daha kesime girmemişken (iletimi henüz kesilmedeyken) diğeri iletime girmektedir.Bu durumu önleyip iki transistörün aynı anda iletimde olmamalarını sağlamak için bir geciktirme devresi kullanmak gerekmektedir.Veya iki transistörün aynı anda iletimde kaldıkları kısa süre içindeki bozucu etkiyi zararsız bir değere indirmek için (veya bu etkiyi yumuşatmak için) şekildeki gibi dirençler eklenebilir.

3. Spike gerilimlerini (anigerilim yükselmelerini) önleyen diodlar:Herhangibir transistör kesime alındığında meydana gelecek ani gerilim yükselmelerini önlemek için güç transistörlerine bağlı diodlar kullanılır.Bu diodların fonksiyonları unipolar

(tekyönlü) sürüş sistemlerinden biraz daha farklıdır. Eğer Tr1 iletimde ise akım yolu şekilde çizgiyle belirtilen yönde olacaktır. Tr1 henüz kesime sokulup, Tr2 iletime alınmışken sargıdan geçen akım hemen tamamen ters yönde olmayacak ve şekilde kesik çizgilerle gösterilen yolda D2 ve E(2) den geçerek bir birka sirkülasyon yaratacaktır. O halde E(2) kaynağının negatif terminallerinden akım verdiği yani bu akımın aküyü şarj ettiği söylenebilir. Magnetik olarak ise bu durum sargılardaki magnetik enerjinin güç kaynağına geri verildiği şeklide söylenebilir. Unipolar (tekyönlü) sürücü sistemlerde bu çeşit magnetik enerji sargılarda, diodlarda, harici dirençlerde ve zener diodlarda harcandığı için, bipolar (iki yönlü) sürücünün bu noktada avantajlı olduğu görülmektedir.

4. Akım yönünün tersine çevrilmesi: Unipolar sürüslü devrede diğer transistörün kesime girmesinden sonra sargı akımını söndürmek için bazı bastırıcı devreler kullanılır. Diğer taraftan bipolar devrede sargıdan ters yönde bir akım geçecek şekilde bir gerilim uygulanır. Kesik çizgi ile gösterilen akım sıfır değerini aldıktan sonra diğer bir akım ters yönlü olarak Tr2 nin içinden geçecektir.



Şekil 5.29 Bipolar sürücü devrelerde akım ve gerilim dalga şekilleri

Sargı üzerindeki gerilim ve bu akım arasındaki bağıntı şekil 5.29 da gösterilmiştir.

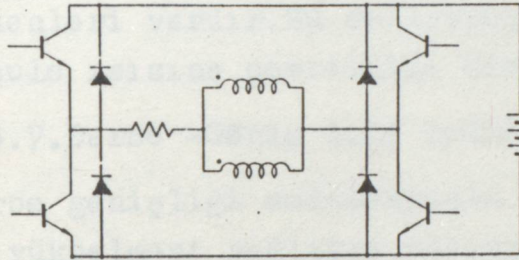
Akım dalga şekli ekponansiyel dalgadan farklı olmakla beraber rotor hareketi tarafından meydana gelen zıt e.m.k.ya bağlı olarak biraz konkavlık özelliğine sahiptir.

Bipolar sürüşe diğer bir örnek bağlantı şekil 5.30 da gösterilmiştir. Burada tek bir güç kaynağı ve her bir faz için 4 transistör kullanılmaktadır. Paralel sargılara bağlı direnç uyarım akımının hızlı bir şekilde büyümesini sağlamak içindir. Ayrıca iletim anındaki çalışmada meydana gelen zarardan transistörleri korumak için kullanılan zaman geciktirme devreleri veya dirençleri kullanmak gereklidir.

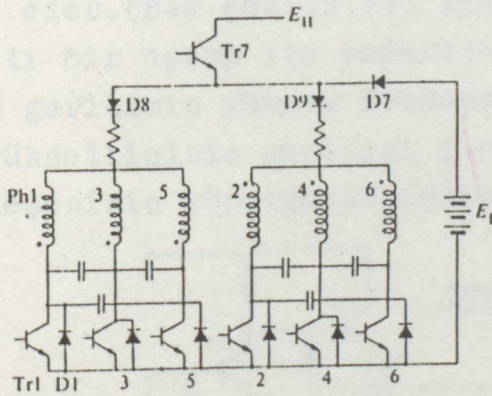
5.3.6. Üç Fazlı Bifilar Sargılı VR Motor Sürücüsü:

Bu tip sürücü şekil 5.31 de görülmektedir. Sürücü aşağıda açıklanan bazı üstün nitelikleri sahiptir.

1-D₁ , D₂ , , D₆ diodları köprü sürücüde bulunan diodların fonksiyonuna benzemektedir. Şekil 5.31.de gösterildiği gibi RESET durumunda Ph1 ve Ph2 sargıları uyartılır. Bu yüzden bir step-komut darbesi geldiği zaman Ph1 kesime Ph3 iletime geçen Fakat Ph2 uyartılmaya devam eder. Geçiş Peryodunda Ph1 deki magnetik enerjinin bazı yollarla serbest bırakılması gereklidir.



Şekil 5.30. Diğer bir köprü sürücü



	R	1	2	3	4	5	6	7	8
Ph1	1	0	0	0	0	1	1	0	0
Ph2	1	1	0	0	0	0	1	1	0
Ph3	0	1	1	0	0	0	0	1	1
Ph4	0	0	1	1	0	0	0	0	1
Ph5	0	0	0	1	1	0	0	0	0
Ph6	0	0	0	0	1	1	0	0	0

Şekil 5.31. Bifilar sargılı 3 fazlı VR motor için çift gerilimli sürücü Ph1 ve Ph2, Ph3 ve Ph6, Ph5 ve Ph2 her biri bifilar şekilde sarılmıştır

Ph1 ve Ph4 ün sarımları bifilar olduğundan magnetik kuplajı sıkılaştırmak için Ph4 sarımından ve D4 diyodundan yukarı doğru bir akım akacaktır. Bu akım Ph2 ve Tr2 transistöründen dolanır. (Şekil 5.31.)

2-Sarımları birleştiren kondansatörler geçici durumun ilk kısmında oluşan geçici akım için bir yol oluşturur. Mesela Tr1 kesime ve Tr3 iletime geçtiği anda geçici bir akım Ph1 den Ph3 e bağlayan kondansatör üzerinden akar.

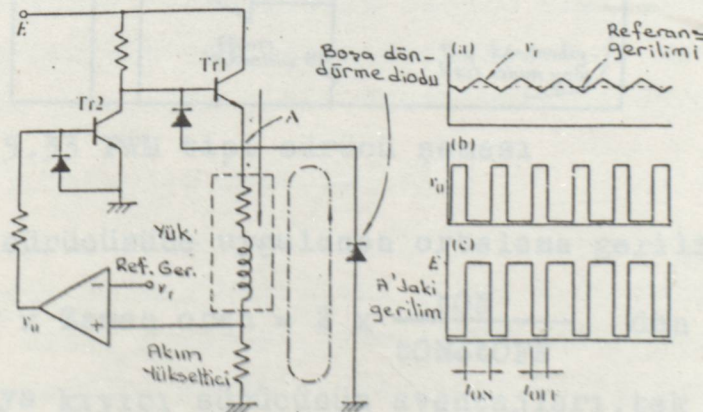
3-D8 ve D9 diodları sargı gruplarını birbirlerinden sadece ortak kuplaj etkisi haricinde izole etmek için kullanılmaktadır.

4-Tr7 iletimde iken D7 diodu, E_L alçak gerilim kaynağını E_H yüksek gerilim kaynağından ayırır.

5-Gerilim düşümü kondansatörler ve bifilar sargı nedeniyle etkilidir. Yani rotor hareketi osilasyonlu ise, her fazın sargısında endüklenen yeri e.m.k.nın bifilar sargıların ortak endüktansı ile hareket ederek kondansatörlerden akan osilasyon akımı üretecek dalgali bileşenleri vardır. Bu osilasyon kinetik enerjiyi kinetik enerjiye dönüştürür ve joule ısısına çevrildiği bir mekanizmadır.

5.3.7. Darbe -Geniş liği modülasyonlu Sürücü

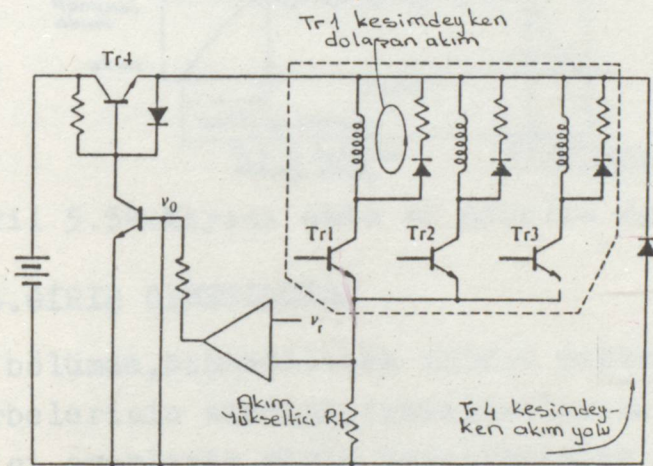
Darbe genişliği modülasyonlu (PWM) sürücü, düşük kayıpla iyi bir akım yükselmesi sağlayan mükemmel bir sürücüdür. Bir PWM sürücünün basit işlevi şekil 5.32 de gösterilmiştir. Burada kesik çizgili dikdörtgen içine konulmuş endüktif yük, bir normal sürücüyü temsil eder. (Bak. şekil 5.33). Akım yükselticisindeki gerilim yüksek kazançlı bir opamp ile referans gerilimle karşılaştırılmıştır. Referans gerilimin yüksek frekans üçgen veya sinüsoidal bileşenin akım yükselticinin gerilimi ile karşılaştırılacak olan gerilimin DC bileşeninin süperpozisyonudur.



Şekil 5.32, PWM (Darbe modülasyonlu devre ve dalga şekilleri)

Referans işaretin DC bileşeni ile yükselticinin gerilimi hemen hemen aynı ise OPAMP'ın çıkışındaki dalga şekli, şekil 5.32(b) deki gibi kare şekli olacaktır. Amplitudun kazancı yük-

sek olduğundan çıkış gerilim saturasyon ile kesim arası dalgalanır. Bu işaret Tr2 tarafından ters çevrilir ve Tr1 transistörünün bazına ON/OFF modunda sürmek için verilir. ON durumunda akım güç kaynağından yüke çekilir ve Off durumunda şekilde kesik çizgili hatla belirtilen bir dolaşım akımı meydana gelir. D1 diodu bu akım yolu için boşa döndürme (Free-wheeling) diodudur. Eğer anahtarlama frekansı birkaç KHZ ile 30 KHZ olacak şekilde seçilmişse yük akımının dalgalı bileşeni çok düşük olur. Bu sürüş şeklinde uygulanan gerilim kesilip, kıyıldığı için, bu sürüş şekline genelde "kıyıca" denir. Bulunan akım istenen değerden düşük olduğu zaman Tr2nin ON aralığı, OFF aralığından daha uzun olur; Bunun amacı kaynaktan daha çok akım çekmektir. Öte yandan, bulunan akım, istenen akımdan daha fazla olursa yük akımını düşürmek üzere OFF aralığı ON aralığından daha uzun olur.



Şekil 5.33 PWM tipi sürücü şeması

Motor sürücüsüne uygulanan ortalama gerilim E_L ,

$$E_L = E \times \text{Zaman oran} = E \times \frac{t_{ON}}{t_{ON} + t_{OFF}} \quad \text{dan bulunur.}$$

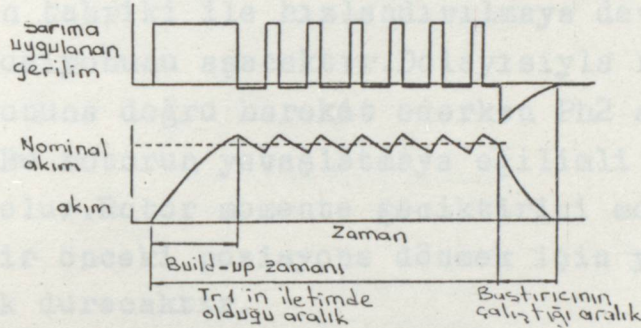
PWM veya kıyıca sürücünün avantajları, tek bir güç kaynağının düşük güç kaybının ve nominal akımdaki sürüş için otomatik olarak ayarlanan gerilimin bulunmasıdır.

Şimdi Şekil 5.33 deki devrenin akım dalga şeklini inceleyelim. Tr1 iletme girdiği anda (tek-fazlı sürüş), akım yükselir. Fakat bu ilgili referans değerinden, taşıyıcı AC bileşeni dahil olmak üzere daha küçüktür., ve Tr4 on durumundadır.

Böylece yüksek kaynak gerilimi Phl sargısına uygulanır ve akım hızla yükselir. Akım V_r/R_r değeri civarında değişken aralığa girdiğinde Tr4 transistörü ON/OFF veya kıyıcı modunda çalışır ve sargı akımı şekil 5.34 de gösterildiği gibi olur ve nominal veya istenen değere ayarlanır. Tr1 kesime girdiğinde, akım diod/direnç bastırıcısının sargıya paralel konması nedeniyle hızla düşer.

Bu tip bir PWM sürücüde, kıyıcı frekansın bir harici kaynak tarafından belirlenir. Bir başka seçenekte kendi kendine osilasyon oluşturan bir mekanizma işletmektedir. Bunda sargıların elektrik zaman sabitlerinden faydalanılır.

PWM nin bir dezavantajı, sürücünün elektrik ve akustik gürültüsüdür.



Şekil 5.34. Kıyıcı akım ve gerilim dalga şekli.

5.4. GİRİŞ DENETİMCİSİ

Bu bölümde, bahsedilecek sürücü sisteminin son kısmı, adım kumanda darbelerinin adedini, zamanlamalarını ve bazı uygulamalarda yön işaretini ayarlayan giriş denetimcisine ayrılmıştır.

5.4.1. Tek-adım Denetimcisi

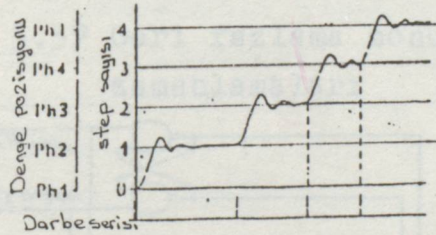
En basiti tek bir adım ile bir artım sağlayan sistemdir. Bu sistemde adım-zaman bağıntısı şekil 5.35.deki gibi olacaktır. Pozisyonlama kesit görünüşü, genellikle osilasyonludur ve sönümü kullanılan motora ve şemasına bağlıdır. Giriş denetimcisi çok basittir, çünkü işlevi sadece seçici ile giriş işareti olabilecek bir çıkış işareti sağlamaktır. Aşağıdaki özelliklere sahip bir örnek şekil 5.36 da gösterilmiştir.

- 1-Giriş işareti uygun bir H seviyesinde tutulmuştur. (Şekilde 5V).
- 2-Gürültü kondansatörde yutulmuştur.

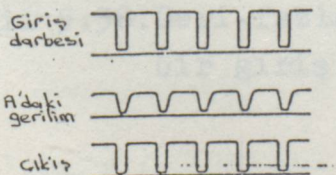
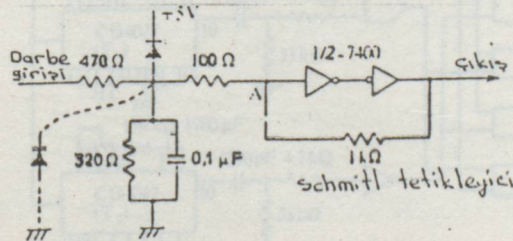
3-Giriş işaretinin kondansatör tarafından şekli bozulduğundan bu bir Schmitt tetikleyicisi tarafından düzeltilmiştir.Schmitt tetikleyicisi için NAND veya NOR kapıları kullanılabilir.Eğer giriş işaretinin herhangi bir kısmı toprak geriliminden düşük olabileceksesık çizgilerle belirtilmiş bir diod eklenmelidir.Birçok kullanılan seçicilerin içinde hazır Schmitt tetikleyicisi vardır.

5.4.2.Elektronik Sönüm İçin Giriş Denetimcisi

Osilasyonsuz bir tek adım uygulaması için "geri-fazlama" denen bir yöntem kullanılır.Şekil 5.37 de pozisyon ile darbe zamanlamaları ilişkisi gösterilmiştir.Motor Ph1 tahrikli iken,denge pozisyonundanbir sonraki denge pozisyona doğru kumanda edilir.Eğer rotor Ph2 ni tahriki ile hızlandırılmaya devam edilirse bir sonraki denge pozisyonunu aşacaktır.Dolayısıyla rotor bir sonraki faz denge pozisyonuna doğru hareket ederken Ph2 açılır ve Ph1 tekrar tahriklenir.Bu rotorun yavaşlatmaya eğilimli bir geciktirici momente sebep olur.Rotor momente geciktirici moment tarafından sıfırlanınca bir önceki pozisyona dönmek için yön değiştirmeden önce bir açılık duracaktır.



Şekil 5.35.Tek Adım cevap



Şekil 5.36.Geniş şekilde dalga şekillendirici olarak

kullanılabilen tek adım çalışma için kullanılgiriş denetimcisi

2-Son adım pozisyonuna gelecek şekilde ilk hareketinin geciktirmek için geri-fazlama darbesiniayarlar.

3-Son darbeyi,yükü minimum osilasyonla nihai pozisyonunda tutması için ayarlar.

5.4.3.Çokadımlı Söndürülmüş Artımlı Hareket

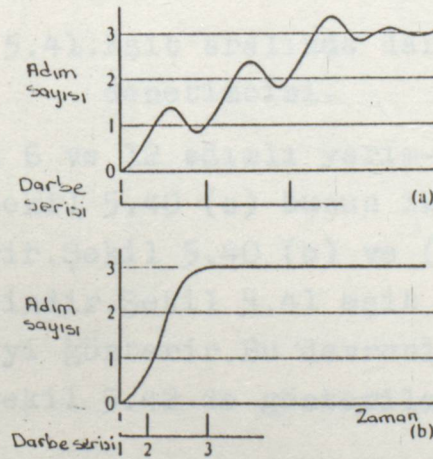
Tek adımlı hareket genelde osilasyonludur.Fakat uygun darbe zamanlamaları ile osilasyonsuz artımlı hareket birkaç adımda gerçekleştirebilir.Burada iki örnek verilmiştir.

1-Geçikmiş son adımlı elektronik sönüm:

Bu teknik şekil 5.39 daki gibi açıklanmıştır.Üç adım hareket edilmesinin arzulandığı varsayılınsın.Eğer üç darbeli bir darbe serisi uygulanırsa (ortalama bir oranda) cevap (a) da gösterildiği gibi olacaktır.Ancak birinci ve ikinci darbeler arası zaman aralığı rotorun tam bir adım atlayacağı şekilde ayarlanırsa,son adım pozisyonu Ph_3 olacaktır.Sonra son darbe,rotoru şekil (b) de gösterildiği gibi,sıfır hiz noktasındaki durumda tutması için uygulanır.Eğer sistem sürtünmesi,rotorun bir adım atlamasına mani olacak kadar bu teknik kullanılamaz.Aynı şekilde bu teknik üç adımdan daha az adım için kullanılamaz.

2-Sabit-darbe-oranlı elektronik sönüm:

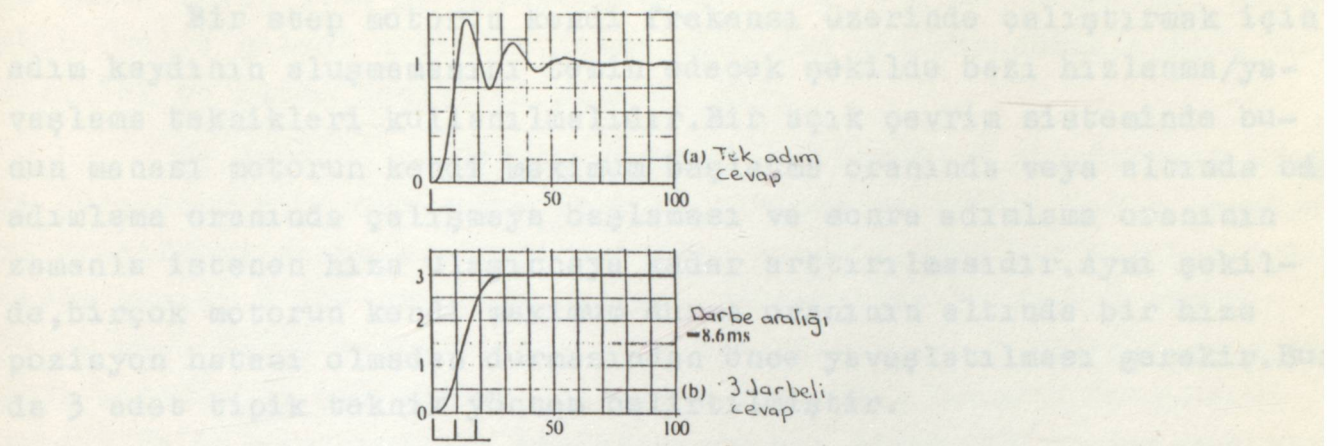
Eğer eşit aralıklardaki birkaç darbe ile bir osilasyonsuz artım hareketi gerçekleşiyorsa,giriş denetimcisi kolay olabilir.Nimura sir harici rotorlu VR tipi motorun söndürülmüş hareketini hem tek fazlı hemde iki fazlı sürüşte 3'ten 6'ya kadar eşit aralıklı darbeleri örneklerini göstermiştir.



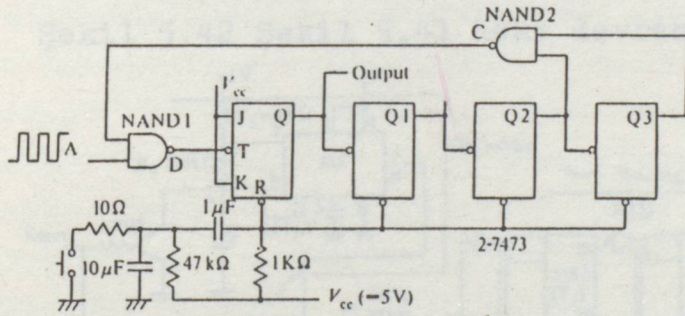
Şekil 5.39.(a) Normal üç adımlı çalışma ve (b) üç adım

DLSED

5.4.4. Hızlanma ve Yavaşlama



Şekil 5.40 Aynı aralık için birkaç darbeleri tek adım hareketi ve osilasyonsuz hareket



Şekil 5.41. Eşit aralıklarda darbe üreten bir giriş denetimcisi.

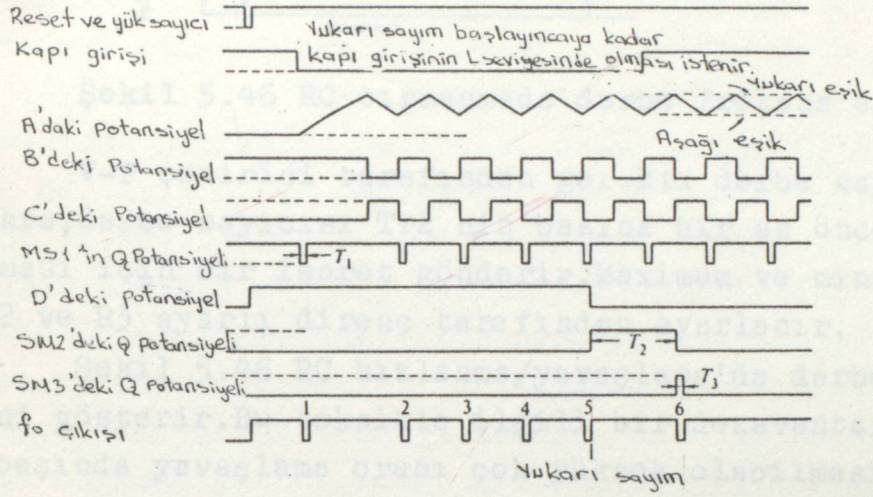
Ayrıca 6 ve 12 adımlı yarım-adım modlu tahrik örnekleride verilmiştir. Şekil 5.40 (a) bunun iki fazlı tahrikte tek adım cevabını gösterir. Şekil 5.40 (b) ve (c) sırasıyla üç adım ve 6 adım tahrikleri içindir. Şekil 5.41 eşit aralıklarda bazı darbeler üreten bir devreyi gösterir. Bu devrenin değişik yerlerindeki dalga şekilleride şekil 5.42 de gösterilmiştir.

yükselir ve 555'de osilasyon başlar. A noktasında oluşan üçgen dalga şekli şekil 5.44 de gösterilmiştir. Geri çevirme (döndürme) müteakip (sonra gelen) darbeler dalga şeklinin minimum noktalarında katılırlar ve darbe genişliği yine T_1 dir.

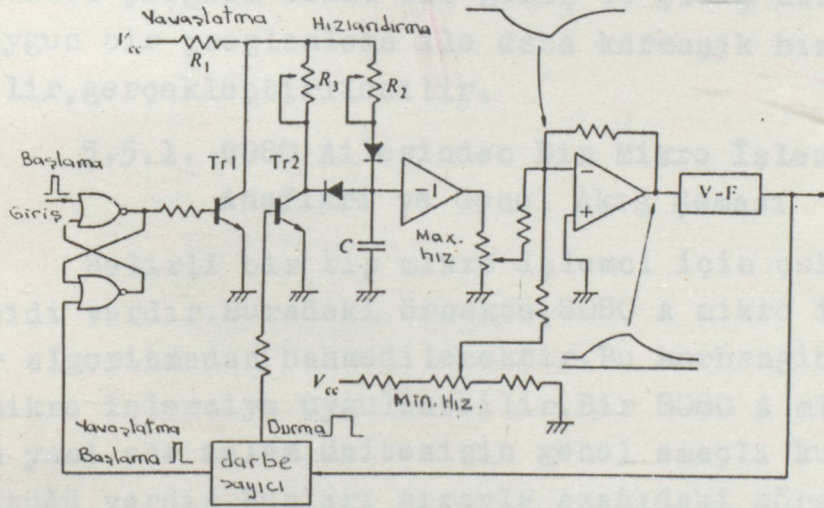
Bu durumda osilasyon periyodu $0,7(RA+RB).C$ dir. Şekilde açıkça görüldüğü gibi osilasyon Periyodu, birinci ve ikinci çıkış darbeleri arasındaki zaman aralığından daha kısadır. Eğer bir hareket için darbe sayısı N ise sayıcıya $N-1$ set edilmelidir. Bu sayıcı burada 74192 veya 74193 tipidir. Sayıcı çalıştıktan sonra D noktası potansiyeli monostabil çip MS2'yi çalışmaya başlatmak üzere L seviyesine ulaşır. Ve T_2 zamanında T_3 genişliğinde bir darbe MS3 tarafından verilir. T_2 zamanı, başarılı bir duruş yapabilmek için döndürmede, geri çevirmede osilasyon periyodundan daha uzun tutulmuştur. Ancak bazı sürtünme yükleri durumunda, son adım aralığını bir öncekinden daha uzun tutmak gerekmez. MS2 ve 3 kademeleri bu durumda gerekmezler.

(2) RC hızlandırma:

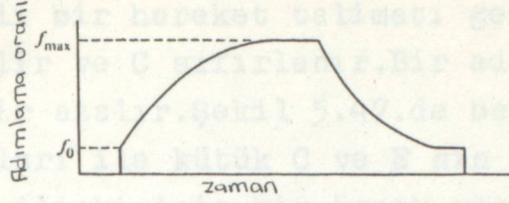
Geride çevirme döndürme oranı, içeri çekme oranından çok daha yüksek olduğunda, step motoru hızlandırmak için daha karmaşık bir yöntem gerekir. Eğer motor/yük kombinasyonu hızla beraber düşen bir moment üretiyorsa, ideal bir hızlandırma tırmanışı adımlama oranı ile azalan bir hızlandırma oranı olmalıdır. Yani hız düşük adımlama aniden yükseltilir, ve yüksek adımlama oranları da daha düşük hızla yükseltilir. Bunu gerçekleştirecek bir yöntem (konvansiyonel teknikler kullanılarak) şekil 5.45 te gösterilmiştir. Giriş terminaline bir start işareti uygulandığında, C kondansatörü boyunca bir üstel gerilim eğrisi belirir, burada zaman sabiti $C(R_1+R_2)$ dir. Bu ise hızlandırma darbeleri üretmek için V-F çeviricinin giriş işaretinin bir kısmı olarak kullanılır. Yavaşlatma için V-F çeviricisine giriş işareti kondansatörü R_3 direnci üzerinden boşaltmak suretiyle elde edilir. Burada darbe sayıcı tarafından verilen bir yavaşlatma-start işareti tarafından başlatılır.



Şek.5.44.Kapılanmış asatörde dalga şekli



Şek.5.45.RC tırmanma için blok diyagram



Şekil 5.46 RC tırmanmada darbe frekans eğrisi

V-F çevirici tarafından gerekli darbe sayısı üretildikten sonra, darbe sayıcısı Tr2 nin bazına bir an önce kondansatörü boşaltması için bir işaret gönderir. Maximum ve minimum hızlar iki adet R2 ve R3 ayarlı direnç tarafından ayarlanır.

Şekil 5.46 RC hızlanma/yavaşlama'da darbe frekansı zaman eğrisini gösterir. Bu teknikle ilgili bir dezavantaj ise yavaşlatmanın başında yavaşlama oranı çok yüksek olabilmesidir.

5.5. Mikro İşlemci İle Çıkış ve İniş Denetimi

Bu bölümde mikro işlemci kullanılarak Lineer hızlandırma/yavaşlatma esnekliğidir. Bir mikro işlemcinin başka bir avantajı da sadece darbe zamanlamalarını üretmesi değil bunun yanında Lojik seçici ve giriş denetimcisi görevini üstlenebilmesidir. Burada açıklanan program basit bir giriş ve çıkış denetimi içindir. Fakat uygun bir programlama ile daha karmaşık hız profili elde edilebilir, gerçekleştirilebilir.

5.5.1. 8080 Ailesinden Bir Mikro İşlemci Kullanımının Anafikri ve Genel Akış Şeması

Belirli bir tip mikro işlemci için çok geniş uygun yazılım çeşidi vardır. Buradaki örnekte, 8080 A mikro işlemci kullanan basit bir algoritmadan bahsedilecektir. Bu herhangi bir 8080 ailesinden bir mikro işlemciye uygulanabilir. Bir 8080 A mikro işlemcinin CPU'sunun yani ana işlem ünitesinin genel amaçlı kullanmak üzere 6 adet kütüğü vardır. Bunları sırayla aşağıdaki görevler için kullanırız.

Kütük B: Bu kütük sargıların mevcut tahrik durumlarının saklanması için kullanılır.

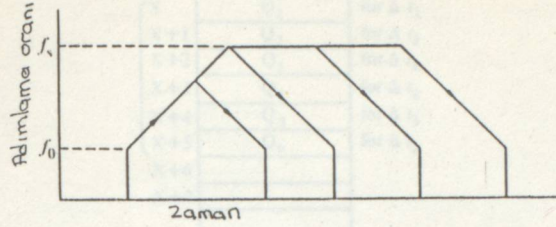
Kütük C ve E: Burada kütük C tamamlanan adımları saymak için ve kütük E bir harekette geri kalan adımların sayısının saklanması için kullanılır.

P adımlı bir hareket talimatı geldiğinde P sayısı kütük E'ye kaydedilir ve C sıfırlanır. Bir adım komutu geldiğinde C bir artar ve E bir azalır. Şekil 5.47.de bazı adım durumları için darbe aralıkları ile kütük C ve E nin içeriklerinin değişimi, aralarındaki ilişki için bir örnek gösterilmiştir. Şekil 5.48 de komuta edilen hız ve zaman ilişkisi görülebilir. Motorun f_s adımı lama oranında çalışmaya başlaması, dönme oranı f_s'e kadar hızlanması ve bu sabit hızda çalışması komutu verilmiştir. Durmadan önce motor yavaşlatılmış ve motorun aşırı çalışmadan durabilmesi için gerekli hızda durması komutu verilmiştir. Burada belirtilen programda motor 6 darbede hızlandırılmış ve yavaşlatmada ters yönde olmak üzere aralıkları kullanarak gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.47.deki örneklerde 13 adımdan daha az adımlı hareketlerde dönme bölgesi yoktur. Motor hızlandırılmış ve sonra yavaşlatılmıştır. 13 ve daha fazla adımlı hareketlerin adım komutları sabit bir oranda verilen dönme bölgeleri vardır.

Daha sonra açıklanacağı gibi, C ve E kütüğünün içindekiler, hafızaların adreslerinin, uygun darbe zamanlamalarının üretildiği verileri saklayarak hesaplanmasında kullanılır.

E-1	0														
C-0	1														
Δt ₁															
E-2	1	0													
C-0	1	2													
Δt ₁ Δt ₁															
E-3	2	1	0												
C-0	1	2	3												
Δt ₁ Δt ₂ Δt ₁															
E-4	3	2	1	0											
C-0	1	2	3	4											
Δt ₁ Δt ₂ Δt ₂ Δt ₁															
E-5	4	3	2	1	0										
C-0	1	2	3	4	5										
Δt ₁ Δt ₂ Δt ₃ Δt ₂ Δt ₁															
E-6	5	4	3	2	1	0									
C-0	1	2	3	4	5	6									
Δt ₁ Δt ₂ Δt ₃ Δt ₄ Δt ₅ Δt ₆ Δt ₅ Δt ₄ Δt ₃ Δt ₂ Δt ₁															
E-15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
C-0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

Şekil 5.47 Darbe aralıklarının ve kütük E ve Cnin verilerinin değişimi



Şekil 5.48. Komuta edilen hız ve zaman değişimi

Kütük D: Bu kütük aşağıdaki gibi dönüş yönüne komuta eden kodun saklanması için kullanılır.

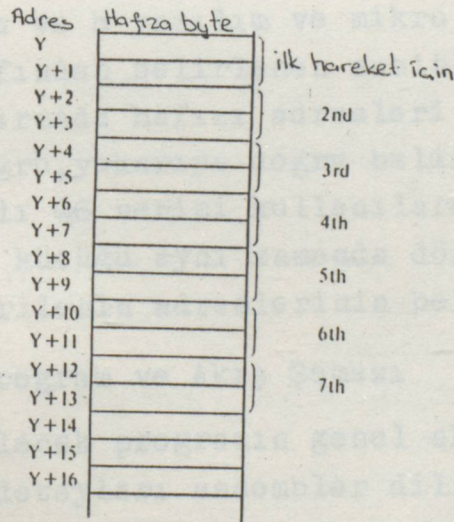
D= 0 veya 00000000 CW yönü için (saat yönü)

D= 1 " 00000001 CCW " " (saat yönü tersi)

Öyle şekilde ayarlayacağız ki, eğer D=2 olursa, işlemci bunu dönüş yönü için verilen sonu olduğuna karar verecek.

Böylece:

D=2 veya 00000010 programın END'i için Şekil 5.49 daki gibi hareketin dönüş yönü ve dönüş adım sayısına ait komutlar. Y adresinden başlamak üzere bir hafıza alanına yüklenir. İlk hareketten önce, Y adresindeki veri D kütüğüne geçer, Y+1 de kütük E ye geçer. İkinci harekette Y+2 ve Y+3 teki veriler sırasıyla D ve E ye geçerler.



Şekil 5.49 Dönümede adım sayısı ve hareket alanı için hafıza

Adres	Hafıza baytı	
X-1		
X	Q ₁	for Δ t ₁
X+1	Q ₂	for Δ t ₂
X+2	Q ₃	for Δ t ₃
X+3	Q ₄	for Δ t ₄
X+4	Q ₅	for Δ t ₅
X+5	Q ₆	for Δ t ₆
X+6		
X+7		

Şekil 5.50 Darbe aralığı verisi için hafıza alanı

Çift kütük H_L: 8080 bir mikro işlemci yazılımında H_L çift kütüğü genelde sıkça, bir verinin hangi hafıza alanından (veya alanına) hangi kütüğe (veya kütükten) iletildiğini belirtmek için kullanılır. Bu programda H_L kütüğü darbe aralığı verilerinin saklandığı hafıza adreslerini belirtmek için kullanılmıştır. H_L kütüğünü yüklemeye önce doğru adresi belirlemek üzere bir hesap yapılmalıdır. Şekil 5.50: X'den X+5'e kadar olan 6 adresten oluşmuş olan darbe aralığı verileri için hafıza alanı gösterir. (X adresi uygun bir sayı olarak bir assembler programı ile belirlenmiştir.) Hızlandırma veya yavaşlatmada daha fazla adım kullanıldığında doğal olarak bu alan genişletilebilir. Gerçek darbe aralığı Δ_{tm}, her hafıza baytında Q_m verisinden ve programın bazı kısımlarının uygulanmasında durumların sayısından hesaplanır ve şu eşitlikle verilir: $\Delta t_m = a \cdot Q_m + b$

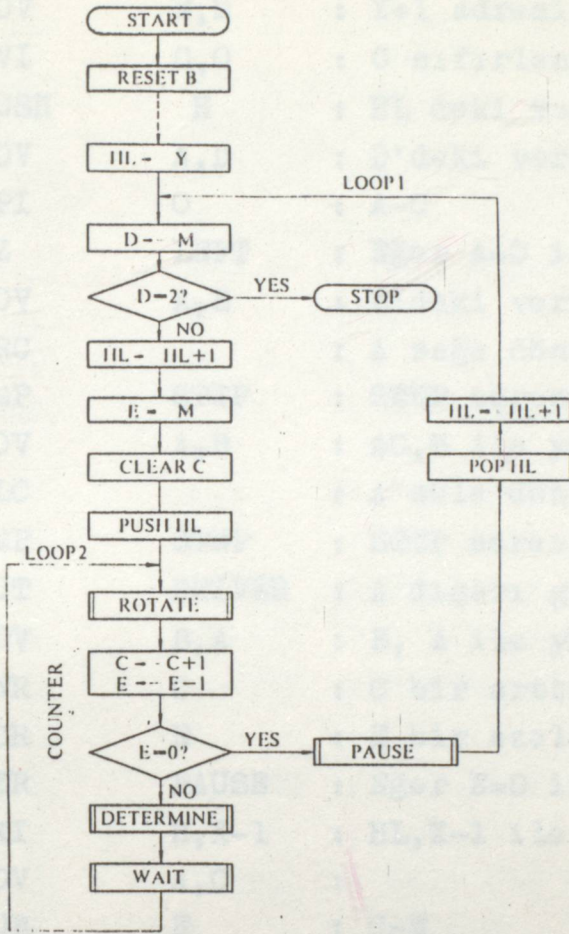
Burada a ve b yazılım ve mikro işlemcideki saat darbeleri frekansı tarafından belirlenen sabitlerdir.

Hızlandırmada hafızayı adresleri X'den aşağı doğru, yavaşlatmada ise X'e doğru, yukarıya doğru belirlenmiştir. Dönme darbesi aralığı X+5'de saklı Q₆ verisi kullanılarak üretilmiştir.

H_L çift kütüğü aynı zamanda dönüş için adım sayısı ve yönü ile ilgili verilerin adreslerinin belirlenmesinde kullanılır.

5.5.2. Program ve Akış Şeması

Bahsedilecek programın genel akış şeması Şekil 5.51'dedir. Her kısmın detayları assembler dili kodlaması ile ilgili şekillerle verilmiştir.



Şekil 5.51 Programın genel akış şeması.

Tablo 5.3. 8080 Assembler dilinde genel program

Komut	Kod	Operand	
	ORG	8200H	: 8200 adresinden başla
RESET :	MVI	A,33H	: AC (AC cümulator) 00110011 ile yüklenir.
	OUT	DRIVER	: AC deki veri dışarı alınır.
	MOV	B,A	: AC deki veri B kütüğüne iletir
	LXI	H,Y	: HL,Y adresi ile yüklenir.
LOOP 1 :	MOV	D,M	: Y adresindeki veri D ye geçirilir
	MOV	A,D,	: D'deki veri AC'ye geçirilir.
	CPI	2	: A-2

Komut	Kod	Operand	
	JZ	STOP	: Eğer A=2 ise stop adresine atla.
	INX	H	: $HL \leftarrow HL+1$
	MOV	E,M	: Y+1 adresindeki veri E'ye geçirilir
	MVI	C,O	: C sıfırlanır.
	PUSH	H	: HL deki veriler aşağı itilir.
ROTATE	: MOV	A,D	: D'deki veri AC ye geçirilir.
	CPI	O	: A-O
	JZ	LEFT	: Eğer A=0 ise LEFT adresine atla.
RIGHT	: MOV	A,B	: B'deki veri AC ye geçirilir.
	RRC		: A sağa döndürülür.
	JMP	STEP	: STEP adresine atla.
LEFT	: MOV	A,B	: AC,B ile yüklenir.
	RLC		: A sola döndürülür.
	JMP	STEP	: STEP adresine atla.
STEP	: OUT	DRIVER	: A dışarı gönderilir.
	MOV	B,A	: B, A ile yüklenir.
COUNT	: INR	C	: C bir arttırılır.
	DCR	E	: E bir azaltılır.
	JZR	PAUSE	: Eğer E=0 ise PAUSE adresine atla.
DETERM	: LXI	H,X-1	: HL,X-1 ile yüklenir.
	MOV	A,C	:
	SUB	E	: C-E
	JC	CSUBN	: Eğer E > C ise CSUBN'e atla.
ESUBN	: MOV	A,E	:
	CPI	N	: E-N
	JNC	SLEW	: Eğer E >> N ise SLEW'e atla.
DECEL	: PUSH	D	:
	MVI	D,O	:
	DAD	D	:
	POP	D	:
	JMP	WAIT	: WAIT'e atla.
CSUBN	: MOV	A,C	:
	CPI	N	: C-N
	JNC	SLEW	: Eğer C > N ise SLEW'e atla

Komut	Kod	Operand	
ACCEL	: PUSH	B	: } ← HL+C
	MVI	B,0	: }
	DAD	B	: }
	POP	B	: }
	JMP	WAIT	:
SLEW	: PUSH	B	: } ← HL+N
	MVI	B-0	: }
	MVI	C-N	: }
	DAD	B	: }
	POP	B	: }
	NOP		: Durumların sayısı ayarı için işlem yok.
WAIT	: MOV	A,M	: WAIT routine
LOOP4	: DCR	A	: A ← A-1
	JNZ	LOOP4	: Eğer A ≠ 0 ise LOOP4'e atla.
	JMP	ROTATE	: ROTATE rutinine atla.
PAUSE	: MVI	A,OFFH	: PAUSE rutini A ← 11111111
	PUSH	B	:
LOOP6	: MVI	B,OFFH	: B ← 11111111
LOOP5	: DCR	B	: B ← B-1
	JNZ	LOOP5	: Eğer B ≠ 0 ise LOOP5'e atla.
	DCR	A	: A ← A-1
	JNZ	LOOP6	: Eğer A ≠ 0 ise LOOP6'ya atla.
	POP	B	: Pause rutinin sonu.
	POP	H	: Hareket komuta verileri için hafıza adresini tekrar al.
	INX	H	: HL ← HL+1
	JMP	LOOP1	: LOOP1'e atla.
Stop	: HLT		
DRIVER	: EQU	2	: Çıkış ucu 2 motor sürücüsü için çıkış olarak kullanılır.
N	: EQU	6	: N 6'ya ayarlanır.
X	: DB	252	: t1'ı üretmek için veri.
	DB	183	: Δ t2 " " "
	DB	149	: Δ t3 " " "
	DB	129	: Δ t4 " " "
	DB	115	: Δ t5 " " "
	DB	104	: Δ t6 " " "

Komut	Kod	Operand	
Y	: DB	1	:İlk hareket için adım sayısı ve
	DB	10	:yönü (CCW 10 adım)
	DB	1	:2.hareket için adım sayısı ve
	DB	5	:yönü (CCW 5 adım)
	DB	0	:3. " " " " "
	DB	23	: (CCW 23 adım)
	DB	0	:4. " " " " "
	DB	15	: (CCW 15 adım)
	DB	1	:5. " " " " "
	DB	3	: (CCW 3 adım)
	DB	0	:6. " " " " "
	DB	33	: "
	DB	1	:7. " " " " "
	DB	18	:
	DB	0	:8. " " " " "
	DB	5	:
	DB	1	:9. " " " " "
	DB	11	:
	DB	0	:10. " " " " "
	DB	60	:
	DB	1	:11. " " " " "
	DB	29	:
	DB	1	:12. " " " " "
	DB	9	:
	DB	0	:13. " " " " "
	DB	1	:
	DB	1	:14. " " " " "
	DB	25	:
	DB	0	:15. " " " " "
	DB	9	:
	DB	2	:Verilerin sonu Print edilecek.
	END		

Bu örnekte Y'den başlamak üzere 30 hafıza baytı kullanılarak onbeş hareket komutlanmıştır.

S O N U Ç

Klasik takım tezgahlarının nümerik hale dönüştürülmesi tezgahların performansını en üst düzeye çıkarması ve çok kısa zamanda hatasız olarak parçaların işlenmesini sağlaması bakımından ülkemizde ve dünyada geniş bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır.

Yapılan bu çalışmada cihazın beslemesi her sürücü kartı için toroid olarak sarılmış bir trafoda yapılmıştır. Sürücü ve interface (bilgisayar ara birim kartı) kartlarının şemalarını bilgisayarda çizdikten sonra baskılı devresini oluşturduk ve önceden yapmış olduğumuz dizayna göre montajımızı tamamladık. Sürücü kartları birbirinden bağımsız, X, Y, Z, eksenleri olarak çalışmaktadır. Uygun program yazıldıktan sonra takım tezgahlarına uyarlanabilir.

Bu çalışmanın en önemli noktası, sürücü kartlarının kumanda ettiği step (adım) motorlarının tezgaha bağlanmalarındaki zorluktur. Hassasiyetin arttırılması için bağlantı sırasındaki kayıtların minimuma indirilmesi şarttır.

7-Konjo, T and Mizuro, Y (1979). Progress and applications of stepping motors (In Japanese).

8-Mizuro, Y. (1974). Octer-rotor-type stepping motor. Proc Third Annual Symposium on Incremental motion control systems and devices, Department of Electrical Engineering, University of Illinois.

9-Intel 8080 Assembly Language Programming Manual Intel corporation, Santa Clara, California (1973).

10-Stepping Motors and their microprocessor controls, Prof. Takashi Konjo, Oxford.

11-Nümerik Kontrollü Tezgahlar ve Cihazları, Prof. Dr. Mustafa Akkurt.

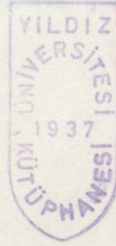
REFERANSLAR

- 1-Pawletko J.Pand Cnai H.D.1976.Three-phase variable-reluctance step motor with bifilar winding.Proc.Fifth Annual symposium on Incremental motion controlsystems and devices. Department of Electrical Engineer Ing.University of illinois.
- 2-Egawa,K.M.(1971).Stator design for a stepping motor. United States.
- 3-Feiertag,K.M.and Donahoo,J.T.(1952) Dynamoelectric machine United states.
- 4-Heine,G (1977) Control methodology of 5.phase PM stepping motors Proc.sixth Annual Symposium on Increment motion control systems and devices.Department of Electrical Engineering University of Illinois.
- 5-Kuo,B.C.(1979).step motors and control systems chapter 14 SRL Publishing Company,champaign,Illinois.
- 6-Maginot,J.and Oliver,W (1974).Step motor drive circuitry and open loop control Proc.Third Annual Symposium on Incremental motion control system and devices.Department of Electrical Engineering University of Illinois.
- 7-Kenjo,T and Niimura,Y (1979).Fundamentals and applications of steppin motors (In Japanese).
- 8-Niimura,Y.(1974).Outer-rotor-type stepping motor.P Proc Third Annual Symposium on Incremental motion control system and devices.Department of Electrical Engineering University of Illinois.
- 9-Intel 8080 Assembly Language Programming Manual Intel corporation,Santa Clara,California (1975).
- 10-Stepping Motors and their microprocesser controls. Prof.Takashi Kenja,Oxford.
- 11-Nümerik Kontrollu Tezgahlar ve Sistemler.Prof.Dr. Mustafa Akkurt.

12-Shimotani,K.and Katooka,T (1976).Improvement of a closed-loop stepping motor by excitation methods.Trans. Institute of Electrical Engineers of Japan.

13-Isert Electronic Eiterfeld-Bahnhafstr.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
MÜHÜRÜ
1937



Elk.MUH.Öğret. Nispeti Karoğlu

ÖZGEÇMİŞ

18.8.1965 tarihinde Malatya'nın Yeşilyurt İlçesine bağlı Gündüzbey kasabasında doğdum. İlk ve ortaokulu burada tamamladıktan sonra Malatya Ş.K.I.Endüstri Meslek Lisesi Elektrik Bölümüne kayıt oldum. 1981-1982 öğrenim yılı sonunda mezun olup, Yıldız Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik Bölümünü kazandım ve 1985-1986 öğrenim yılında öğrenimimi tamamlayarak aynı üniversitenin Yüksek Lisans Elektrik Bölümüne başladım. Tez çalışmamı Klasik Takım Tezgahlarının Nümerik Kontrollü Hale Dönüştürülmesi konusunda yaptım. Halen özel bir şirkette Proje ve Kontrol Mühendisi olarak çalışıyorum.

Elk.Müh.Ömer Erdal Karataş

