

Değişmez momentli bir da motor Surucusu

Yazan: Müjdat TOHUMCU

ÖZET

Bu yazıda doğru akım motorlarının güç vuruşlarıyla denetimi anlatıldıktan sonra, değişmez momentli doğru akım sürücüler için tüm anahtarlama elemanları tranzistörden oluşan bir denetleğin tasarımı anlatılmaktadır. Ayrıca denetleğin çalışması ile ilgili kuramsal ve deneysel sonuçlardan örnekler verilmektedir.

SUMMARY

in this article first the control of de motors by pover pulses is explained. Aftenwards the design of a fully transistorized de convertor for constant torque applications is presented and also theoretical and practical results are given related to its operation.

1. GİRİŞ

Endüstride, süreç denetim en sık adı geçen konulardan biridir. Eğer süreç denetime tabi tutulan dizge bir elektrik motorunu içeriyorsa, denetlenen değişken hız, güç, akım veya moment olabilir. Değişken bunlardan hangisi olursa olsun denetim sorunları benzer olmaktadır. Bunun nedeni de yukarıda adı geçen değişkenlerin birbirine bağımlı değişkenler olmalarıdır.

Doğru akım makinaları denetime en uygun elektrik makinalarıdır. Doğru akım makinalarının denetimi almaşık akım makinalarına oranla çok daha basit ve hassas olarak yapılabilmektedir. Yarı iletken teknolojisindeki hızlı gelişme ile denetimli doğru akım makinalarının uygulama alanları daha da genişlemiştir.

Bu yazıda yüksek güç tranzistörleri kullanılarak gerçekleştirilen bir denetleğin tasarımı anlatılmaktadır. Söz konusu denetleç, değişmez momentli bir doğru akım sürücüsü olarak tasarlanmıştır. Metal işleme makinalarının hemen tümü, bazı taşkırma aygıtları, su pompaları değişmez momentle çalışan elektrik makinaları içerirler. Bunun yanında bazı raylı dizgeler de değişmez momentle çalışan motorlar kullanırlar.

Bu yazının konusu denetleçte, değişmez moment VAR-YOK akım denetimi sayesinde, motor akımını belirli alt ve üst seviyeler arasında tutarak gerçekleştirilmekte, başka bir deyişle motoru sürmek amacıyla bir değişmez akım kaynağı kullanılmaktadır.

2. GÜÇ VURUŞLARIYLA DENETİM VE DOĞRU AKIM KIYICILARI

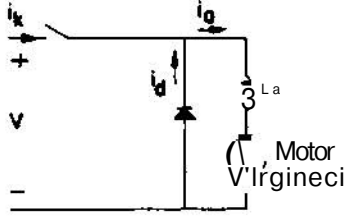
Son yıllarda tiristör ve tranzistör teknolojisinde gözlenen hızlı gelişme doğru akım makinalarının güç vuruşlarıyla denetimini olanaklı kılmıştır. Bu tür denetimin geleneksel denetim yöntemlerine oranla en büyük avantajı güç kayıplarında görülen azalmadır. Uygulamaların daha çok doğru akım makinalarında olmasına karşın, bazı almaşık akım uygulamalarına da rastlanır, özellikle elektrikli taşıtlarda denetleç kayıplarının az olması çok önemli bir noktadır. Bunun da başlıca nedeni, taşıt üzerindeki kaynağın boyutlarının ufak tutulması zorunluluğudur ki bu da kaynakta depolanan enerjiyi önemli ölçüde sınırlar.

Kıyıcı ile denetlenen bir motorun girişi gerilim veya akım vuruşlarından oluşur. Bir denetim devresi aracılığı ile vuruş süreleri veya sıklık, yada her kişi birden denetlenebilir. Bu tür denetimde kayıplar anahtarlama kayıpla-

Müjdat TOHUMCU, ODTÜ

n, denetim devresi kayıpları ve motorda oluşan bir takım ek kayıplardır. Akım vuruşlarını denetleyerek moment ya da hız denetlenebilir.

Kıyıcı ile denetlenen bir doğru akım motorunda, denetim anahtarlama elemanını VAR-YOK konumunda çalıştırarak, denetlenen değişkenin değerini ayarlayacak şekilde belirli oranda bir erkeyi kaynaktan makinaya iletmekte sağlanır. Bir doğru akım kıyıcısı en basit durumuyla Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Doğru Akım Kıyıcı

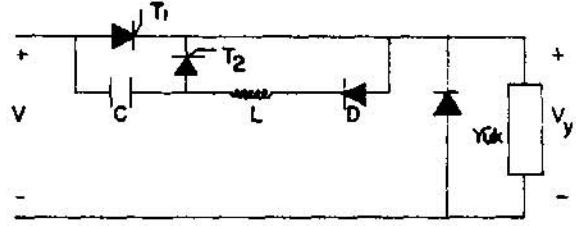
Anahtar herhangi bir uygun anahtarlama elemanı olabilir, fakat uygulamada çoğunlukla tiristörler veya tranzistörler kullanılmaktadır. Motor irgineğine dizi olarak gösterilen endüktansın işlevi motor akımındaki değişimleri yavaşlatmak, dolayısıyla akımı süzmektir. Girişteki diyotun işlevi ise vuruşlu kaynak akımı kesildiği zaman, irgineç akımını taşımaktır. Görüldüğü gibi kaynak ve diyottan geçen akımlar vuruşlar halinde olurken, bunların toplamının oluşturduğu motor akımı sürekli olmaktadır. Kaynak akımının vuruş süresinde, doğru akım motoru ve ona dizi endüktansda erke depolamakta, vuruş kesildiğinde ise depolanan erkenin bir bölümü salıverilmektedir. Kaynaktan makinaya vuruşlar halinde iletilen erke sadece VAR-YOK sürelerini denetleyerek ayarlanabilmektedir.

2.1. TİRİSTÖRLÜ DOĞRU AKIM KIYICILARI

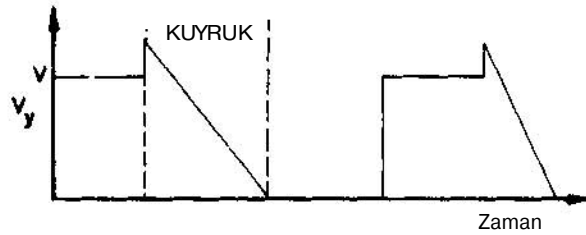
Geleneksel uygulamalar için tasarlanan kıyıcıların hemen tümü tiristör kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Buna neden, varolan tiristörlerin akım değerinin tranzistörlere oranla daha yüksek olmasıdır. Fakat tiristörlü kıyıcılar uygulamada birçok sorunlar doğurmaktadır, örneğin çıkış geriliminde denetlenebilir bir dalga genişliği elde etmek için en az iki tiristöre gerek olması bu sorunlardan biridir, iki tiristörden biri ana anahtarlama elemanı olarak kullanılırken, ikincisi bunu susturmak amacıyla kullanılır. Tiristörlü kıyıcı devreleri çeşitlidir. Bunlardan basit birisi Şekil 2'de gösterilmiştir. Şekil 3 ise bu devrenin çıkış gerilim dalga biçimini göstermektedir.

Devrenin ana anahtarlama ögesi T_1 tiristördür. Devrede alması gereken gerilim var olmadığından değiş (commutation) ancak başka bir tiristörle olmakta, T_2 tiristörünün ateşlenmesi ile susmaktadır. Şekildeki endüktans, sığaç ve bunlara dizi diyot devresi, kıyıcının değiş

devresini oluşturmaktadır. Değiş devreleri kullanılan kıyıcı tipine göre değişik biçimler olabilir.



Şekil 2. Basit bir tiristörlü kıyıcı.



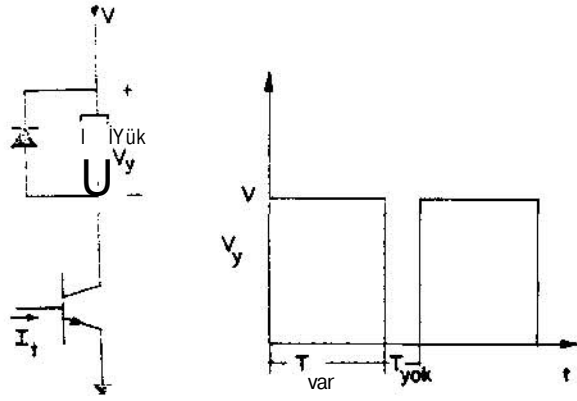
Şekil 3. Şekil 2'deki devrenin çıkış gerilim dalga biçimi

Tiristörlü kıyıcıların en önemli sorunlarından birisi de Şekil 3'de görüldüğü gibi çıkış dalga biçiminde "kuyruk" diye adlandırılan kısımdır. "Kuyruk" süresi genellikle vuruş süresiyle karşılaştırılabilir değerler alıp denetim alanını azaltabilir ki bu da elde edilebilir en yüksek ortalama çıkış gerilim değerini önemli ölçüde düşürebilir. Çıkış gerilimini çeşitli şekillerde düzeltmek mümkün olmakla birlikte tüm bu çabalar beraberinde devreye eklenecek yeni öğeler (sığaçlar, endüktanslar, diyotlar, tiristörler, doyumlu endüktanslar) getirmekte, bunlar da hem devrenin boyutlarını artırmakta, hem de yeni değiş sorunlarına yolaçmaktadır.

özet olarak söylenebilir ki tiristörlü kıyıcıların sorunlarının altında tiristörün susturulma zorluğu yatmaktadır.

2.2. TRANZİSTÖRLÜ DOĞRU AKIM KIYICILARI

Son yıllarda yüksek güçlü anahtarlama tranzistörleri üretimi hızlı bir gelişme göstermiştir. İncelemeler ve deneylerden anlaşıldığına göre tranzistörlü anahtarlar, tiristörlü anahtarlara göre daha az anahtarlama ve geçiş kayıplarına, daha küçük boyutlara sahiptirler. Ayrıca bu tür anahtarlar tiristörlü benzerlerine göre daha hızlıdır. Bunun yanında tranzistörlü doğru akım kıyıcıların mekanik yapıları seri üretimin sorunları gözönüne alındığında tiristörlü benzerlerine oranla daha elverişlidirler, özellikle düşük gerilim, yüksek akım kıyıcıları söz konusu olduğunda tranzistörün tiristöre ciddi bir seçenek olduğu ortaya çıkmaktadır. Şekil 4'de tranzistörlü bir kıyıcı, Şekil 5'de ise bu kıyıcının çıkış gerilim dalga biçimi görülmektedir.



Şekil 4. Tranzistörlü doru akım kısıyıcısı

Şekil 5. Tranzistörlü doğru akım kısıyıcısının çıkış gerilim dalga biçimi.

Bu kısıyıcıda anahtarlama ögesi olarak toprakla yük arasında bağlanmış bir NPN tranzistör kullanılmıştır. Tabana tranzistörü doyuma sokmaya yetecek bir akım uygulandığında, tranzistör toplayıcısındaki gerilim tranzistörün geneliikle kaynak gerilimine göre çok ufak olan doyum gerilimine düşmekte, bu durumda da kaynak gerilimi hemen hemen tümüyle yük üstünde görülmektedir. Bunun sonucu olarak tranzistörün doyuma kaldığı VAR süresinde ($T_{y\alpha}$), kaynak, yük ve anahtar akımları birbirine eşit olmaktadır. VAR süresinin bitiminde ise tranzistörün taban akımı kesilerek, anahtar açılmaktadır. Bu durumda ise yük akımı diyot üzerinden akmaya devam etmekte, yükün üzerinde görülen gerilim ise diyotun geçirenlik gerilimine yani yaklaşık sıfıra düşmektedir. YOK süresinin (T_{y0}) bitiminde ise anahtar tekrar kapanmaktadır.

Görüldüğü gibi bu kısıyıcının da çalışma ilkeleri tiristörlü kısıyıcının çalışma ilkelerine benzerdir. Tek fark tranzistörün susturulmasının, bir sürücü devre aracılığı ile tabana giden akımı keserek kolayca sağlanabilmesidir.

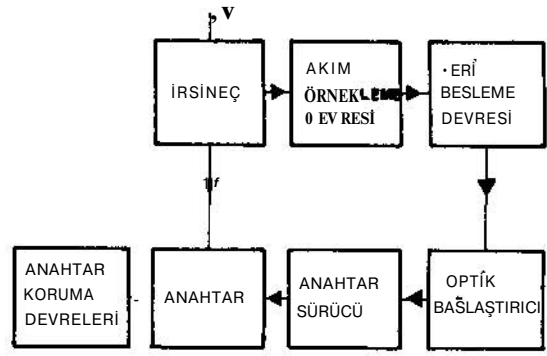
Tranzistörlü kısıyıcıların da birlikte getirdiği birçok sorunlar vardır. Bunların temel nedeni tranzistörlerin henüz akım ve gerilim seviyeleri açısından tiristörler kadar gelişmemiş olmalarıdır. Özellikle gerilim seviyeleri açısından tranzistörler tiristörlere oranla oldukça düşük değerlidirler.

3. MOMENT DENETİMLİ AYRI-UYARILMIŞ DOĞRU AKIM MOTURU

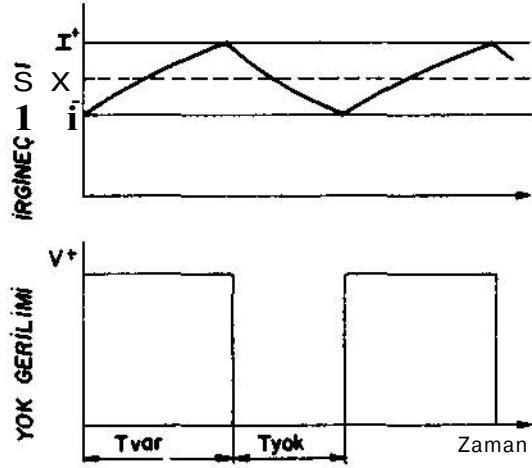
3.1. KURAMSAL İNCELEME

Şekil 6 bu yazının öbek çizimini göstermektedir.

Bu sistemde irgineç akımı geribesleme aracılığı ile belirli alt ve üst seviyeler arasında tutulmaktadır. Bu devrenin akım ve gerilim dalga biçimleri Şekil 7'de gösterilmiştir.



Bu dalga biçimleri çizilirken anahtarlama elemanın, anahtarlama sürelerinin VAR-YOK sürelerine oranla ihmal edilebilir bir seviyede olduğu varsayılmıştır.



Şekli 7. Moment denetimli DA motoru ve gerilim dalga biçimleri

Akım dalga biçiminden de gözlemlenebileceği gibi eğer akım alt ve üst değerleri arasındaki fark ($t - I$), akım ortalama değerine (I) göre düşük seçilirse motor irgineç akımı yaklaşık olarak değişmez kabul edilebilir. Eğer kullanılan motor ayrı-uyarılmış veya dizi bir motorsa, bu durumda akımla birlikte moment de değişmez kabul edilebilir.

Gerçekleştirilen dizgenin kuramsal incelemesine geçmeden önce, incelemede kullanılan varsayımları şöyle sıralayabiliriz:

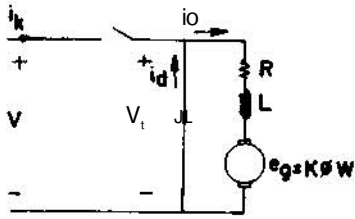
• $\hat{V}_{AR} \approx \hat{V}_{YOK}$ boyunca motor hızı değişmez kalmaktadır.

2. İncelemede irgineç devresinin toplam direnci olarak (R), irgineçin iç direnci ile akım örnekleme kullanılan direncin toplamı olarak alınmaktadır, irgineç devresinin toplam endüktansı (L) ise, irgineçin kendi endüktansı artı irgineçe dizi bağlanan ve akımı süzmeye yarayan endüktans olarak kabul edilmektedir, incelemede irgineç devresi endüktansı (L) değişmez olarak kabul edilmektedir. Akımda görülen artışlarla endüktan-

sın doyuma yaklaşmasından dolayı değerinde görülen düşmeler gözardı edilmektedir.

3. Motorun endükleme (magnetization) eğrisinin doğru olduğu kabul edilmektedir.
4. İrgineçin toplam akı üzerindeki etkisi ihmal edilmiştir.
5. Hesaplanan moment değerleri motorun demir ve sürtünme kayıplarını gözönünde tutacak şekilde düzeltilme niştir.

Tüm bu varsayımlarla kıyıcı ile sürülen doğru akım motoru, eşdeğer devre olarak Şekil 8'deki gibi gösterilebilir.



Şekli 8. Kıyıcı ile sürülen DA motoru eşdeğer devresi

Burada

e_g : irgineçde endüklenen gerilim

i_ϕ : toplam akı

ω : motorun dönme hızı (rad/sn)

L : irgineç devresi toplam endüktansı

R : irgineç devresi toplam direnci

Bu modedeme ile akım ve moment için şu eşitlikler yazılabilir.

$$V = RI_a + [L(d/dt)i_a] + e_g \quad (D)$$

$$T = K\phi I_a \quad (2)$$

VAR-YOK süreleri boyunca motor hızı değişmez kabul edildiği için ve aynı uyanmış doğru akım motoru içinde akı değişmez olduğu için (1) numaralı eşitliğin en sağında görülen $e_g = K\phi\omega$ terimi, yani motorda endüklenen gerilim değişmez olarak kabul edilebilir. Bu durumda motor akımı (1) numaralı diferansiyel denklemden şu şekilde çözülebilir. (Çözümler sırasında, zaman "t", her VAR ve YOK süresi başından itibaren alınmaktadır).

VAR süresi

$$t = 0 \quad ; \quad i_a = I^- , \quad V_t = V$$

$$t = T_{VAR} \quad ; \quad i_a = I$$

YOK süresi

$$t = 0 \quad ; \quad i_a = I , \quad V_t = 0$$

$$t = T_{YOK} \quad ; \quad i_a = I^-$$

$$i_a = I^- e^{-t/T} \quad \text{VAR süresi} \quad (3)$$

$$i_a = I e^{-t/T} \quad \text{YOK süresi} \quad (4)$$

(3) ve (4) numaralı eşitliklerde görülen I_s , I_T ve T değerleri ise şu şekilde tanımlanmaktadır.

$$I_s = (V - e_g) / R$$

$$I_T = e_g / R$$

$$T = L/R$$

Bu iki eşitlikten T_{VAR} ve T_{YOK} süreleri ise şu şekilde bulunabilir:

$$T_{VAR} = T \ln [(I_s - I^-) / (I_s - I^+)]$$

$$T_{YOK} = T \ln [(I^+ - I) / (I^- - I)]$$

Anahtarlama sıklığı fişe;

$$f = 1 / (T_{VAR} + T_{YOK}) \quad \text{olabilir.}$$

Bu durumda motor ortalama akımı

$$I_{ORT} = (T_{VAR} I_s + T_{YOK} I_T) / (T_{VAR} + T_{YOK})$$

$$I_{ORT} = f T_{VA} R / (T_{VA} R + T_{YOK}) [V - e_g] / R$$

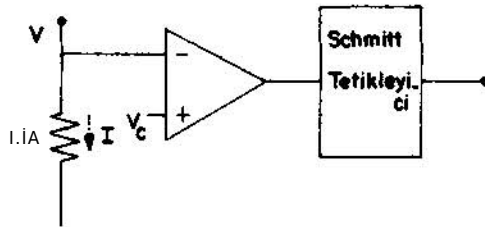
olmaktadır. Ortalama moment ise;

$$T_{ORT} = I_{ORT} \cdot K\phi \quad \text{bulunabilmektedir.}$$

3.2. TASARIM

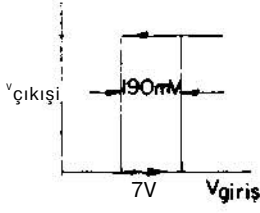
Şekil 6'da öbek çizimi gösterilen dizgenin çalışması şöyle olmaktadır:

Akım, tek bir dirençten oluşan akım örnekleyici devresi üstünden sezilmekte ve elde edilen im geribesleme devresi girişine uygulanmaktadır. Şekil 9'da öbek çizimi gösterilen geri besleme devresi de irgineç akımının belirli bir andaki değerine göre anahtarın açık ya da kapalı olmasına karar vermekte ve buna uygun "im" üretmektedir.



Şekil 9. Geri Besleme devresi öbek çizimi

irgineç akımının değeri ise, geribesleme devresinde V_c olarak gösterilen gerilimi değiştirerek ayarlanabilmektedir. Kullanılan Schmitt tetikleyici devresinin giriş-çıkış gerilim eğrisi Şekil 10'da gösterilmiştir.



Şekil 10. Schmitt tetikleyici giriş-çıkış gerilim eğrisi.

Şekil (9) ve Şekil (10), dizgenin çalışma ilkeleri de göz-önüne alınarak incelendiğinde, şu bağıntılar elde edilebilir:

Bu çalışmada tasarımı yapılan dizgede irgineç akımının alt ve üst seviyeleri arasındaki farkın 200 mA olması amaçlanmaktadır. Başka bir deyişle, şu bağıntılar geçerlidir:

$$I^+ = 1 + 0,1$$

$$I^- = 1 - 0,1$$

Şekil (9)'da V_3 olarak gösterilen Schmitt tetikleyici giriş geriliminin alabileceği en yüksek ve en düşük gerilimler I^+ ve I^- cinsinden bulunup, Schmitt tetikleyici durum değiştirme gerilimlerine eşitlendiğinde ortaya çıkan bağıntılardan, irgineç akımı ile V_c gerilimi arasındaki bağıntı,

$$| = (|^+ + |^-)/2 = 1,35 V_c - 3,5 \quad \text{olarak bulunabilir.}$$

Kolayca tahmin edilebileceği gibi, dizgede tranzistör anahtarlama elemanı olarak kullanıldığı için geribesleme devresinin ürettiği im sayısal devrelerde olduğu gibi ya alçak (0) ya da yüksek (1) durumlu bir gerilimdir. Fakat bu gerilim kaynak tarafından örneklenmiş bir akımdan elde edildiği için, kaynak gerilimi seviyesinde bir gerilimdir. Başka bir deyişle, bu gerilimi üreten elektronik devrenin toprağı ile anahtarlama ögesinin toprağı arasında yaklaşık kaynak gerilimi kadar bir fark vardır. Bunun doğal bir sonucu olarak elde edilen gerilim, anahtarı sürmek için doğrudan kullanılamaz. Tranzistörü sürmek için üretilen imi tabana iletmeden önce izolasyon şarttır, Bu amaçla geribesleme devresinin çıkışında bir optik bağılaştırıcı kullanılmıştır. Optik bağılaştırıcı çıkışı anahtar sürücü devresi ile yükseltildikten sonra, yüksek güç tranzistörünün tabanına uygulanabilir.

Dizgeye, anahtar ögesini korumak amacıyla bir takım koruma devreleri de eklenmiştir. Bunların başlıcaları diğer yarı-iletkenler ile de kullanılan ve anahtarı hızlı gerilim değişmelerinden koruyan direnç-sığaç devresi ve akım koruma devresidir.

Kullanılan dizgede akımın zaten bir tepe değeri ile sınırlı olması, ayrı bir akım koruma devresine gerek olmadığı

izlenimi verebilir. Fakat şu gözden kaçırılmamalıdır ki, geribesleme devresinin herhangi bir nedenle görevini yapamaması, akımın anahtar için çok tehlikeli boyutlara çıkmasına yol açabilir. Bunun için geribesleme devresinden bağımsız bir akım koruma devresi gereklidir. Bu devre, akım belirli bir seviyeye eriştiğinde dizgeyi susturmaktadır. Akım koruma devresinde kullanılmak üzere sezilen akım ise tranzistörün yaylasından örneklenmektedir, böylece akım koruma devresinin geribesleme devresinden bütünüyle bağımsız olarak çalışması sağlanmaktadır.

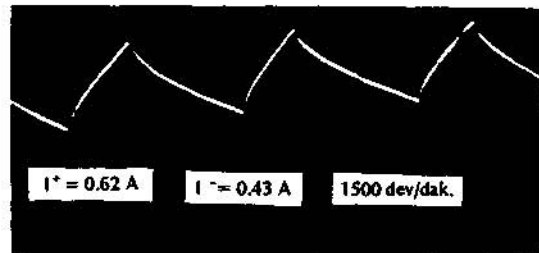
Gerçekleştirilen dizge herhangi bir doğru akım kaynağından çalışabilir. Fakat dizgede kullanılan denetim türünden de anlaşılacağı gibi, böylesi bir dizge için düzenlenmiş bir doğru akım kaynağına gereksinim yoktur. Bu nedenle gerçekleştirilen denetleç 220V, 50 Hz.lik gerilimin bir diyot köprüsü ile doğrultulup, yüksek gerilim sığaçları ile süzülmesi ile elde edilen ekonomik ve kayıpsız denilebilecek bir güç kaynağından çalışacak şekilde tasarlanmıştır.

4. DENEYSEL SONUÇLAR

4.1. DIŞTAN UYARILMIŞ DOĞRU AKIM MOTORU İÇİN SONUÇLAR

Gerçekleştirilen denetleçten elde edilen deneysel sonuçlar, tasarımı yapılan dizgenin arzularını şekilde çalıştığı göstermiştir. Elde edilen deneysel sonuçlardan birisi, ayrı uyarılmış doğru akım motorunun irgineç akımı, Şekil 11'de görülen fotoğraftaki gibidir. Sekilin yanında, fotoğrafın alındığı andaki çalışma koşulları belirtilmektedir.

Şeklin yanındaki bilgilerden anlaşılacağı gibi, akımın alt ve üst seviyeleri arasındaki fark 190 m A olarak gerçekleşmiştir. Tasarım sırasında hedeflenen 200 mA'lık



Şekil 11. Uyarılmış DA motoru irgineç akımı

farktan da küçük olan bu değer, istenirse devre öğelerinin değerlerinde yapılabilecek değişikliklerle daha da düşürülebilir.

Aynı çalışma koşullarındaki tranzistör ve diyot akımları ise Şekil (12) ve Şekil (13)'de gösterilmektedir.

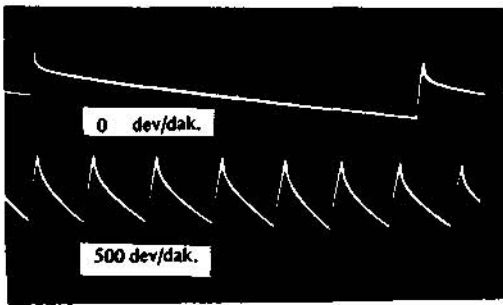


Şekil 12. Tranzistor akımı



Şekil 13. Diyot akımı

Dizgenin $T_{y_{AR}}$ ve $T_{y_{QK}}$ süreleriyle ilgili bağıntılar 3.1 kısmında çıkartılmıştı. Bu bağıntılarda gözükten K_s ve I_r değerleri hızla bağımlı oldukları için, belirli bir akım seviyesinde $T_{y_{AR}}$ ve $T_{y_{QK}}$ sürelerini belirleyen değişken hız olmaktadır. Hızın $T_{y_{AR}}$ ve $T_{y_{QK}}$ sürelerinin üzerindeki etkisi en açık bir biçimde Şekil 14'de görülebilir. Bu şekilde aynı akım seviyesindeki akım dalga biçimi ikr aynı hızda tespit edilmiştir.



Şekil 14.1 ki ayrı hızla Irglneç akımı

Farklılık şekilde çok açık bir biçimde görülebilmektedir. Hızın $T_{y_{AR}}$ ve $T_{y_{QK}}$ zamanları üzerindeki etkisi kumarsal olarak da incelenmiş, bu amaçla belirli bir akım seviyesinde $T_{y_{AR}}$, $T_{y_{QK}}$ ve f değerlerinin hızla göre nasıl değiştiği bilgisayar kullanılarak tespit edilmiştir. Ortaya çıkan tablodan örnek olarak alınmış bazı değerler Tablo 1'de gösterilmektedir.

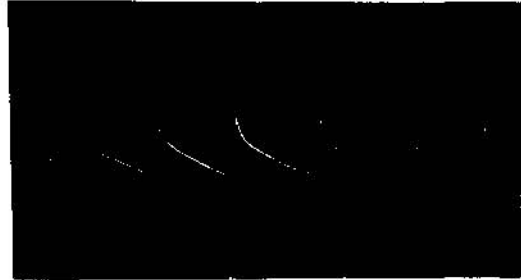
TABLO 1: T_{VAR} , T_{YOK} ve f değerlerinin hızla karşı aldığı değerler

Hız (dev/dak)	T_{VAR} (mikrosaniye)	T_{YOK} (mikrosaniye)	f (Hz)
0	126	6781	145
500	138	1138	783
1000	154	622	1289
1500	173	428	1664
2000	198	326	1907
2500	232	263	2019
3000	279	221	1999
3500	351	190	1848
4000	471	167	1566

Tablo 1'de gösterilen değerler elde edilirken, deneyler sırasında kullanılan motorun eşdeğer devresi kullanılmıştır.

4.2. DİZİ DOĞRU AKIM MOTORU İÇİN SONUÇLAR

Gerçekleştirilen denetleç, dizi bir doğru akım motorunu sürmek amacıyla da kullanılmıştır. Sonuçta dizi doğru akım motorunun da beklendiği gibi değişmez momentle çalıştığı gözlenmiştir. Şekil 15 gerçekleştirilen denetleç ile sürülen bir dizi motorun akım dalga biçimini göstermektedir. Görüldüğü gibi akım dalga biçimi dıştan uyarılmış doğru akım motoru irgineç akım dalga biçimine oldukça benzerdir.



Şekli 15. Dizi motor akım dalga biçimi

5. SONUÇ

Bu çalışma, doğru akım motoru denetiminde güç tranzistörlerinin tiristörlere ciddi bir seçenek olabileceğini göstermiştir. Tranzistörlü dizgelerde denetim sorunları çok daha basitçe çözümlenebilmektedir. Bu dizgelerin anahtar açma-kapama ve koruma devreleri de daha basit olmaktadır. Fakat tranzistörlü anahtarlar akım ve gerilim seviyesi açısından tiristörlü benzerleri kadar uygulamada bazı sınırlamalar getirmektedirler.