

Katı durum da motor Sürücüleri

Yazan:
Alexander KUSKO
Çeviren
Cevdet AYKANAT

UDK: 621.314.6:621 -313 -223-2

ÖZET

Çoğu uygulamalarda, D.A motorları, motorun özelliklerini ayarlayabilen ve belirli istekleri karşılayabilmek için motorun çalışma koşullarını değiştirebilen denetim aygıtları ile donatılırlar. En çok kullanılan denetim ayarlaması motor hızıdır, fakat döndürü kuvveti ve ivme de ayarlanabilir. Motor ve denetim dizgesinin bileşimi bir sürücü dizgesini oluşturur.

Katı - durum sürücü dizgelerinde, motora da güç sağlamak için faz denetimli tristörlü doğrultucu devreleri kullanılır. Doğrultucu devreleri güçlerine, tersine döndürebilme ve frenleme isteklerine bağlı olarak, değişik biçimlerde —yanm dalga veya tam dalga, yanm denetimli veya tam denetimli—, tek-faz ya da üç-faz şebekeden çalıştırılırlar.

Bu yazıda, tek-faz veya üç-faz, katı-durum motor sürücülerinin çalışma ilkeleri anlatılmakta ve değişik sürme biçimlerinin çalışma ilkelerini gösteren akım ve gerilim dalga-şekilleri verilmektedir.

SUMMARY

in many applications, the de motors are provided with control equipments by which their characteristics can be adjusted and their operating conditions with respect to the mechanical had varied to süit particular requirements. The most common control adjustment is motor speed, but torque and acceleration can be adjusted as voell. The combination of the motor and the control, equipment is called a drive system.

Solidstate drive systems utilize phase controlled thyristor rectifier circuits to provide de power for the de motor. The rectifier circuits operate from single —phase or three — phase tine, and in various configurations — half wave, or full ivave, half controlled or full controlled— depending upon horsepoioer ratings, reversibility and broking requirements.

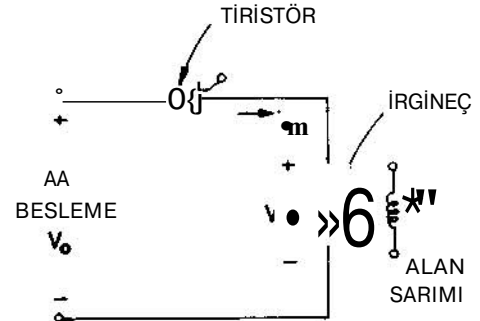
The operating principles of single-phase and three-phase solidstate de motor drives described and the current and voltage uaveforms which demonstrate the operating principles of various drive configurations are discussed in tkis articl.

I. TEK-FAZLI SÜRÜCÜLER

Kesir ve ufak-tam beygir güçlü motor sürücüleri, böyle ufak güçlü sürücülere gereksinme duyulan yerlerde tek fazlı güç kaynağı bulunduğundan ve de daha az sayıda tiristörün daha düşük maliyete neden olduğundan, tek-faz şebekeden beslenecek şekilde yapılırlar. Tek fazlı sürücülerin, açık devre gecikme açısı denetimli kötü düzenlenmiş devrelerin irgineç(1) (armatüre) gerilimi ya da devirölçer (takometre) geri beslemeli iyi düzenlenmiş devrelere kadar değişen çeşitleri vardır.

1.1. YARIM-DALGA SÜRÜCÜLER

Tiristör ve motorun en basit bileşimi Şekil 1'de gösterilen yarım-dalga devresinden oluşur.



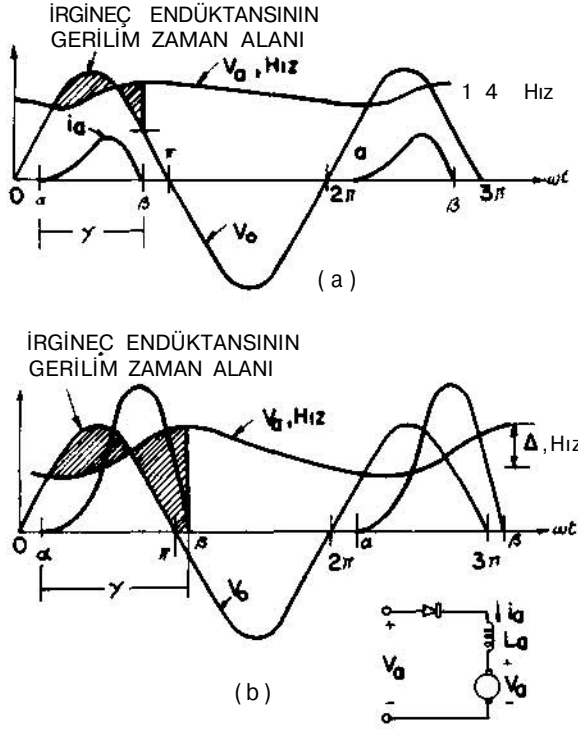
Şekil 1. Yarım-dalga sürücü devresi

irgineç tek bir tiristör üzerinden beslenir ve irginecc koştur bir serbest döngü (free-wheeling) diyot kullanılabilir. Alan sarımı aynı bir yarım-dalga veya tam-dalga doğrultucudan beslenir. Böyle basit bir devre, bir ters bağlama anahtarı ve bir de devinik frenleme direnci ile birleştirilirse, her iki dönme yönünde çalışabilen bir sürme dizgesinin bütün gereklerini sağlar.

(1) Burada Irginec sözcüğünü Fransızca kökenli "endüvi" ve aynı anlama gelen İngilizce kökenli "armatür (armatüre)" sözcüğü yerine kullandık.

Cevdet AYKANAT, ODTÜ
Alexander KUSKO, ABD

Denetimsiz yarım-dalga sürücünün çalışma ilkelerini gösteren dalga şekilleri Şekil 2'de görülmektedir. Dalga şekilleri hafif yük ve ağır yük durumları için ayrı ayrı çizilmiştir.



Şekli 2. Diyotlu yarım-dalga sürücünün dalga şekilleri
a) Hafif yük b) Ağır yük

Şekil 2'deki dalga şekilleri motorun aşağıdaki ilkeler doğrultusunda çalıştığını göstermektedir.

- İrgineç akımı, her çevrimde $\omega t = \alpha$ ve 0 açıları arasında iletim açısı süresince vuruşlar halinde akar.
- İrgineç akımının akışı süresince, akım tarafından yaratılan döndürü kuvveti, motor ve yükün kinetik enerjisini artırır ve motorun hızı A HIZ kadar artar. En alçak hız a 'da, en az yüksek hız da 0 'da oluşur.
- Motor ve yük, bir çevrimdeki akım iletiminin sonundan (β 'dan) bir sonraki çevrimdeki iletimin başlangıcındaki (α 'ya) kadar olan süre boyunca hızdan düşer. Bu dönem boyunca motor kayıpları ve yük döndürü kuvveti, motorun yavaşlaması ile açığa çıkan, motor ve yükün kinetik enerjisinden sağlanır.

$$T_m = - \frac{\partial}{\partial \theta} \left[\frac{1}{2} J \left(\frac{d\theta}{dt} \right)^2 \right] = - J \frac{d^2\theta}{dt^2} \quad (D)$$

- Alan akımı değişmez tutulursa, irgineç gerilimi (emf) motor hızı ile doğru orantılıdır.

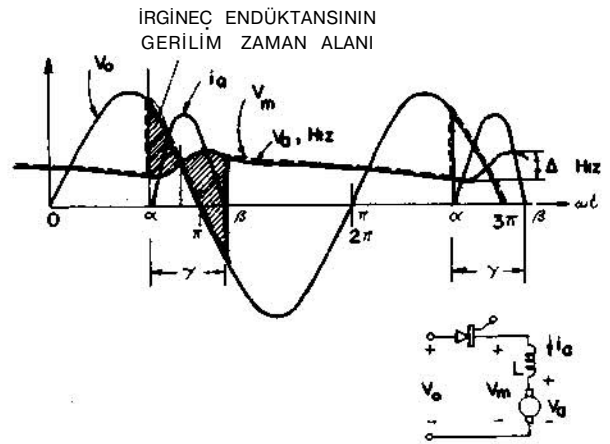
e) Anlık şebeke gerilimi d_o yükselip armatür gerilimi \hat{V}_m 'yi aşınca diyoda artı öngerilim uygulanmış olur, ve böylece $\omega t = \alpha$ motor gerilimi i_m 'nin altına düşüncü $\omega t = \beta$ açısında, diyot üzerine eksi öngerilim uygulanmış olur ve böylece diyot iletimi keser. Motor gerilimi, irgineç gerilimi ve empedans gerilimi $R_a + R_a i_a + L di_a/dt$ toplamına eşittir.

f) Şebeke gerilimi ile irgineç gerilimi arasındaki gerilim farkı irgineç devre direnç ve endüktansın üzerine düşer, α açısından, akımın tepe değerine ulaştığı açığa kadar endüktans tarafından alınan enerji akımın tepe değerine ulaşmasından, $\omega t = \beta$ açısına kadar irginece geri verilir. Gerçekten de alınan enerjinin tümü geri verildiğinde, akım I_o sıfıra düşer ve diyot susar, böylece iletim dönemi sona ermiş olur.

g) Şekil 2. b'de gösterildiği gibi motor yükünün artması, yavaşlama döneminde motorun daha fazla hız kaybetmesine neden olur ve iletim dönemi boyunca hız alması için daha büyük genlikte akım vuruşlarını gerekli kılar.

Yarım-dalga sürücülerin çalışması, endüktansın iletim dönemi boyunca elektrik enerjisi biriktirip boşaltması, ve iletim dönemleri arasında mekanik enerjinin motorun eylemsizliğinde biriktirilip boşaltılması ile tanımlanır. Şekil 2'de gösterilen hız değişimleri bu durumu göstermek için abartılmıştır, bununla beraber yük döndürü kuvvetini karşılamak için bu değişimler gereklidir.

Tristör kullanılarak yapılan denetimli yarım-dalga sürücünün dalga şekilleri Şekil 3'de gösterilmektedir. İletimin α açısında başlayabilmesi için, şebeke gerilimi v_o 'ın irgineç gerilimi v_a 'yı aşması ve de tristörün geçitine ateşleme vuruşları uygulanması gerekir. Devrenin çalışması, endüktans ve eylemsizliğin enerji depolama işlevle-



Şekli 3. Yarım dalga tristörlü sürücünün dalga şekil

ri konularında diyetli devre ile aynıdır. Ateşleme açısı geciktirilirse, motorun şebekeden aynı ortalama akımı çekmesini ve aynı yük döndürü kuvvetini üretmesini sağlamak için motor hız ve gerilimin düşmesi gerekir. Endüktans depoladığı enerjiyi boşaltınca, tiristör susma durumu na geçer ve akım $\omega t = 0$ açısından sıfıra düşer.

Devrenin çalışması ortalama elektriksel nicelikler cinsinden anlatılabilir. İletim dönemi boyunca motor devresinin denklemi

$$V_0 = i_a R_a + L \frac{di_a}{dt} + v_a \quad (2)$$

(2) no'lu eşitlik yeniden

$$t_{on} dt = i_a R_a dt + L di_a + v_a dt \quad (3)$$

şeklinde yazılır ve iletim aralığında tümleştirilirse

$$\int_{\alpha/\omega}^{\beta/\omega} V_0 dt = R_a \int_{\alpha/\omega}^{\beta/\omega} i_a dt + L \int_{\alpha/\omega}^{\beta/\omega} di_a + \int_{\alpha/\omega}^{\beta/\omega} v_a dt$$

$$V_m = R_a I_a + V_a = R_a I_a + K_f \Phi_f N' \quad (4)$$

elde edilir. (4) eşitliğindeki ortalama değerler sadece iletim aralığı üzerindeki ortalama değerlerdir. V_m doğru tucunun motor tarafındaki ölçülmüş değeri olmadıkça, bu değerler ölçü aygıtlarının ölçecekleri, tüm bir çevrim üzerindeki ortalama değerler değildir.

Mekanik dizge için ise eşitlik,

$$T_m = K_t \Phi_f I_a = T_L + J \frac{d\omega_m}{dt} \quad (5)$$

dir. Bu eşitlik tüm çevrim üzerinde tümleştirilebilir ve

$$K_t \Phi_f I_a = T_L \quad (6)$$

elde edilir. (6) Nolu eşitlikte motor tarafından üretilen döndürü kuvvetinin bir çevrim üzerindeki ortalama akım değeri I_a ile doğru orantılı olduğu görülmektedir. Mekanik enerjinin eylemsizlikte depolama işlemi tümleştirilmiş eşitliklerde görülmez fakat anlık eşitliklerde görülür.

Doğrudan motorun uçları arasında görülen dalga-şekli Şekil 3'de v_m ile gösterilmiştir. Bu dalga-şekli iletim aralığında şebeke gerilimi v_0 ve hızdan düşme aralığında armatür gerilimi v_a 'dır.

Yarım-dalga sürücülerin kusurları şunlardır;

- a) iletim aralığının kısa olmasından dolayı akımın biçim-katsayısı (akımın karesel ortalama değerinin ortalama

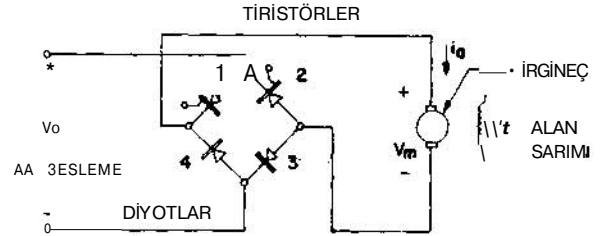
değerine olan oranı) yüksektir. Böylece motor, akımının anma değerinde döndürü kuvvetinin anma değerinden daha aşağı bir değerle sınırlıdır, irginece koşut bir serbest döngü diyot ile bazı düzelmeler elde edilebilir.

- b) Büyük döndürü kuvvetli yük koşullarında, güç motora her çevrimde bir vuruş olarak verildiği için motor güc-rütlülü çalışır.

- c) Yarım-dalga sürme devresinin şebekeden çektiği DA bileşeni kaynak trafosunu doyuma sokar. Üstün yanları ise düşük maliyeti ve devrenin basit olmasıdır.

1.2. TAM-DALGA SÜRÜCÜLER

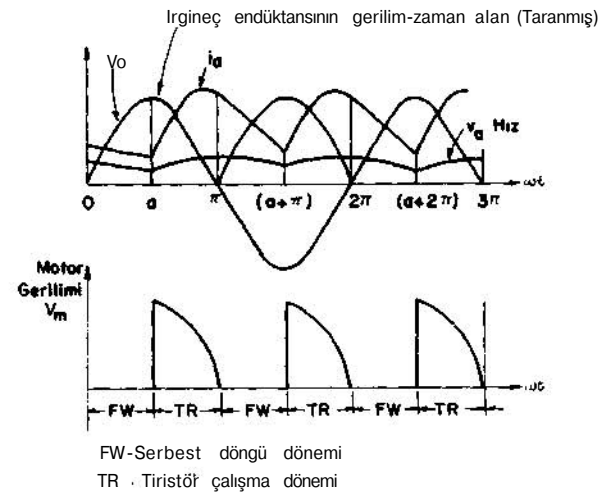
Bir yarım denetimli tam-dalga sürücü genellikle Şekil 4'de gösterildiği gibi iki tiristör ve iki diyottan oluşur. Diyotlar irgineç uçları arasında serbest döngü bir yol oluşturacak şekilde yerleştirilirler.



Şekil 4. Tiristörlü tam dalga sürücü devresi

1 no'lu tiristör şebeke geriliminin artı yarım-çevriminde ateşlenir ve akım 3 no'lu diyot üzerinden şebekeye geri döner. Eksi yarım-çevrimde 2 no'lu tiristör ateşlenir ve akım 4 no'lu diyot üzerinden geri döner, irgineç gerilimi şebeke gerilimini izleyip yön değiştirmeye başlayınca 3 ve 4 no'lu diyotlar iletime geçer ve böylece irgineç uçları bu iki diyotlu serbest-döngü yol üzerinden kısa devre olur.

90° lik ateşleme açısı için gerilim ve akım dalga-şekilleri Şekil 5'te gösterilmektedir.

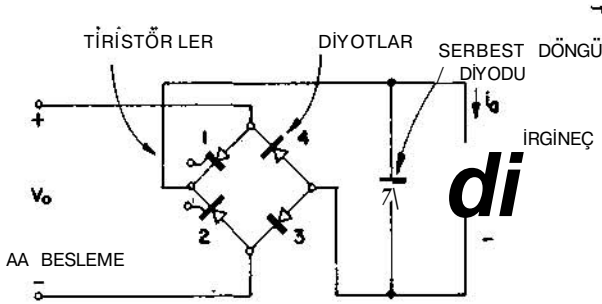


Şekil 5. Tam-dalga sürücü devresi

Bu durumda motor, her çevrimde iki güç vuruşu ile beslenmekte ve hızdan düşme aralığı daha kısa olmaktadır. $\omega t = \alpha$ açısından 1 no'lu tiristör ateşlenince şebeke gerilimi doğrudan ırginece uygulanmış olur ve bu gerilim ırgineç akımı i_a 'nın oluşmasına neden olur.

Meydana gelen döndürü kuvveti motoru hızlandırarak hızının A HIZ kadar artmasına neden olur. Sonunda, $\omega t = \pi$ açısından, ırgineç gerilimi yön değiştirmeye başlar, bu eksi gerilim serbest döngü yolu oluşturan diyotları ilettime sokar ve böylece ırgineç akımı ya ırgineç endüktansının artı eksi gerilim-zaman alanları eşitleninceye kadar, ya da 2 no'lu tiristör ateşleninceye kadar, akmaya devam eder.

Şekil 4'deki devrenin kusuru, tiristörlerin geçit uçlarının ortak bir katot durumuna göre sürülememeleridir. İki tane yalıtılmış ayrı ikincil sarımı olan vuruş trafosu kullanılması zorunludur. Aynı işlevi gören diğer bir devre ise Şekil 6'da gösterilmektedir. Bu devre de, tiristörlerin ortak bir katot bağlantıları olmasına karşın fazladan bir serbest döngü diyot kullanılması gerekmektedir. Ufak motorlarda ırgineç L/R oranı öylesine küçük olabilir ki, serbest döngü diyot iletim aralığının artmasına herhangi bir katkıda bulunmaz. Fakat şebeke kaynağı aniden kesilirse köprü devresine biraz koruma sağlayabilir.



Şekli 6. Tiristörlü tam-dalgı sürücü devresi ortak katot.

"Kesintili İletim" sözcüğü, ırgineç akımının her yarım-çevrimde bir sonraki tiristör ateşlenmeden sıfıra düştüğü duruma verilir. Bu durumdaki çalışma yarım-dalgı devresinin çalışmasıyla benzerdir. "Sürekli iletim" sözcüğü ise ırgineç akımının hiç kesilmediği fakat ya tiristör ya da diyotlar üzerinden akmaya devam ettiği duruma verilir. Tiristörler iletimde iken ırgineç devresine verilen enerjinin, bir kısmı endüktansta depolanır, bir kısmı yükün kinetik enerjisinde depolanır ve diğer kısmı da mekanik yükü sağlamak için kullanılır. Serbest döngü dönemi boyunca endüktansta depolanan enerji geri alınır ve yükün eylemsizliğinde depolanan kinetik enerji ile birlikte mekanik yükü döndürecek gücü sağlamak için mekanik enerjiye çevrilir. Serbest döngü ırgineç akımı motorda elektromanyetik döndürü kuvveti üretmeye devam eder.

İletim dönemi için armatür-devre eşitliği,

$$*o = \langle \% + R_3 i_d + L_3 \frac{di_d}{dt} \rangle; cc_{<w} t < 7r \quad (7)$$

dir. Sürekli ırgineç akımı için, serbest döngü dönem eşitliği ise,

$$0 = \langle \text{ög} + R_9 i_3 + L_9 \frac{di_d}{dt} \rangle, \pi < \omega t < \varphi + \pi \quad (8)$$

dir. Her iki eşitlik kendi aralıklarında tümleştirilirse,

$$\begin{aligned} \int_{\alpha/w}^{\pi/w} \dot{u}_o dt &= \int_{\alpha/w}^{\pi/w} \dot{v}_d dt + R_9 \int_{\alpha/w}^{\pi/w} i_a dt + L_9 \int_{\alpha/w}^{\pi/w} \frac{di_d}{dt} dt \quad (9) \\ 0 &= \int_{\pi/w}^{(\alpha+\pi)/w} \dot{v}_d dt + R_9 \int_{\pi/w}^{(\alpha+\pi)/w} i_a dt + L_9 \int_{\pi/w}^{(\alpha+\pi)/w} \frac{di_d}{dt} dt \quad (10) \end{aligned}$$

elde edilir. (9) eşitliğindeki son terim aralık boyu süresince endüktans tarafından tutulan manyetik akının artış miktarıdır. (10) eşitliğinde aynı yeri tutan terim ise aynı miktarın eksi değerlisidir. İki eşitlik birlikte toplanır ve yarım-dönem zamanına bölünürse,

$$v_m = V_a + R_a i_a \quad (11)$$

elde edilir. Burada,

$$V_m = 0.45 V_o (1 - \cos \alpha) = \text{motora uygulanan ortalama gerilim}$$

$$V_a = K_a \langle i \rangle f N = \text{üretilen ortalama ırgineç gerilimi}$$

$$i_a = T / K_t \langle i \rangle = \text{ortalama ırgineç akımı}$$

(11) eşitliği motorun döndürü kuvveti-hız özelliğini göstermek için yeniden düzenlenebilir.

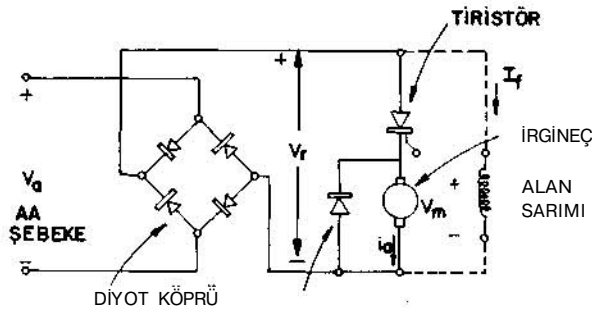
$$N = \frac{0.45 V_o (1 + \cos \alpha) - (R_a / K_t \Phi_f) T}{K_a \Phi_f} \quad (12)$$

(12) eşitliği sürekli DA kaynaklardan beslenen motorların bilinen döndürü kuvveti-hız özelliğini gösterir biçimdedir. İkinci terim, döndürme kuvveti T tarafından meydana getirilen hız düşmesini gösterirken, birinci terim boştaki hızı göstermektedir. Boştaki hız, $\alpha = 0^\circ$ de en yüksek değerinden, $\alpha = 180^\circ$ de sıfıra kadar değiştirilebilir. Dikkat edilmesi gereken bir nokta ise bu eşitliğin ırgineç akımının sürekli olduğu çalışma durumlarında geçerli olduğudur. "Sürekli iletim", en iyi hız düzenlemesini ve en yüksek akım biçim-katsayısını elde edebilmek için oldukça istenen bir durumdur. Bu durum, serbest-döngü bir akım yolu temin ederek ve dış ırgineç devresine devrenin zaman-değişmesini artıracak bir şok bobini koyarak sağlanır.

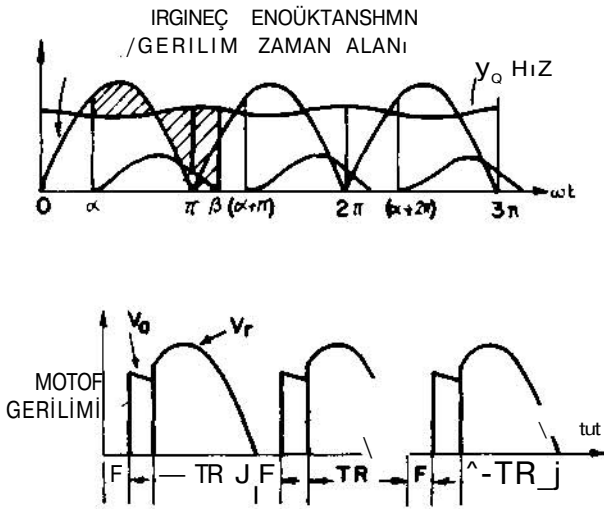
1.3. GAUDET-SÜRÜCÜ DEVRESİ

Gaudet devresinde, tam-dalga denetimine eşdeğer bir denetimi ırgineç devresine sağlamak için yalnızca bir tiristör kullanılır. Devre Şekil 7'de gösterilmektedir. Devre tam-dalga doğrultulmuş #, gerilimini veren bir diyot köprüsünden ve de doğrultulmuş gerilimin her yarıçevriminde denetimi sağlayabilmek için şebeke sıklığının (frequency) iki katı sıklıkta ateşlenen bir tiristörden oluşur, frginece koşut bir serbest döngü diyotta kullanılmaktadır. Alan sarımı, ortak tam-dalga diyot köprüsünden beslenebilir.

Gaudet devresi için bazı gerilim ve akım dalga şekilleri Şekil 8'de gösterilmektedir.



Şekil 7. Gaudet sürücü devresi



Şekli 8. Gaudet sürücü devresinin dalga şekilleri

Tiristör $wt = a, n + a, \dots$ açılarında ateşlenmektedir. Tiristör $wt = a$ ve $wt = n + a$ açıları ile belirlenen aralıkta iletimdedir; $wt = ir$ açısından sonra kesime girer ve bu sırada ırgineç akımı i_a serbest döngü diyot üzerinden akmaya başlar ve ırgineç endüktansı üzerindeki artı-eksi gerilim-zaman alanları eşitleninceye kadar, $wt = /$ Şaısına kadar, akmaya devam eder ve bu açıda sıfıra düşer. İrgineç akımı, bir sonraki çevrimdeki işlemi başlatmak için $wt =$

$n + a$ açısında tiristör ateşleninceye kadar sıfırda kalır. Düşük hız ve/veya ağır yük durumlarında iletim sürekli olabilir. Devre sıfır hıza kadar çalışabilir. Bu hızda, serbest döngü diyot üzerindeki gerilim düşümü tiristörü kesime sokacak ters öngerilimi sağlar. Devrenin en önemli özelliği, tam-dalga işlemini elde edebilmek için sadece bir tiristör kullanılması nedeniyle oldukça ekonomik bir devre olmasıdır. Aynı zamanda, bir tek köprü doğrultucusu devresi ırgineç ve alan devrelerinin ikisini birden besleyebilir.

1.4. KESİNTİLİ İLETİM

ikinci bölümde belirtildiği gibi, tam-dalga doğrultucudan beslenen ırginecin akımı, ayn ayrı vuruşlar halinde ya da belirli bir dalgacığı olan sürekli bir doğru akım halinde olabilir. "Sürekli iletim" birinci duruma, "Kesintili iletim" ise ikinci duruma verilen sözcüklendir. Kesintili iletim, yüksek biçim katsayısı ile sonuçlanır, fakat daha önemlisi motorun açık-devre hız-döndürü kuvveti eğrileri iki bölgeye ayrılır, ırgineç akımı kesintili ise, artan yük döndürü kuvveti ile motorun hızı süratle düşer. Herhangi bir düzenleme dizgesinde, sürekli iletim bölgesine göre oldukça daha fazla kapalı-devre kazancı gerekir.

Sürekli iletim bölgesindeki, hız-döndürü kuvveti eğrileri yalnızca ortalama akım ve gerilim değerlerinden hesaplanabilir. Fakat kesintili iletim bölgesinde eğrilerin hesaplanması uzun ve zordur. Her a ve hız değeri için anlık ırgineç akımının $t = a / w$ 'dan $0 / w$ 'ya kadar olan eşitliğin bulunması ve sonrada ortalama değerini ve döndürü kuvvetini bulmak için tümleştirilmesi zorunludur.

Motorun hız-döndürü kuvveti eğri takımları hesaplamalara hiç el atmadan Şekil 9'da gösterildiği gibi çizgisel yöntemlerle ve motorun basit bir modeli kullanılarak belirlenebilir. Kaynağın, tek fazlı tam-dalga serbest döngü diyotlu bir doğrultucu olduğunu ve motorun ırgineç devresinde sadece endüktans olduğunu ve direnç olmadığını varsayalım. Verilen bir a değeri için hız-döndürü kuvveti eğrisi çabucak çıkarılabilir.

$\alpha = 90^\circ$ 'lik ateşleme açısı göz önüne alınıp; seçilen N_1 hızına karşılık gelen #_o ırgineç gerilimi bulunur, iletim aralığı, endüktans gerilimine karşılık gelen \hat{u}_o ve i_a arasındaki taranmış gerili m-zaman alanı, ırgineç akımı I/in tepe değeri ile doğru orantılıdır. Akım dalga şeklinin altındaki alan ise ortalama akım ve dolayısıyla döndürü kuvveti T , ile orantılıdır. Böylece bulunan $N_1 - T_1$ noktası hız-döndürü kuvveti eğrisi üzerinde işaretlenir. Daha düşük hızlar seçildikçe,iletim aralığının 180° olduğu N_1 hızına ulaşır. Bu hız için ve daha ağır yükler için sürekli akım durumu geçerlidir. Burada sunulan modelde, hız artan döndürü kuvveti ile değişmez kalacaktır, fakat gerçek bir motorda ırgineç direncinden dolayı hız az da olsa düşecektir.

Çizim yöntemi diğer ateşleme açıları, örneğin $\alpha = 15^\circ$ ve $\alpha = 135^\circ$ açıları için tekrarlanabilir. Bu üç durum Şekil 9'da özetlenmiştir. Ateşleme açısı 180° 'ye yaklaştıkça hızın sürekli iletim bölgesine düşüş eğimi daha dik olmaktadır. Eğer doğrultucu yeteri kadar küçük açıda ateşlenir ve yeteri kadar yüklenirse, sürücü sadece sürekli-iletim bölgesinde çalışacaktır.

Kesintili-iletim, yüksek akım biçim katsayısı ve aşırı hız düzenlemesi vermekle kalmaz, motor hızının vuruş yükü sonucunda düştüğü alçak hız düzeyi, sürücünün kesintili iletim bölgesine düşüp sürekli iletim bölgesine geri dönmesi gereken durumlarda oldukça önemli bir sorun olur. Black tarafından yazılan (3) no'lu kaynakta bu durum incelenmiş ve düşük hızlarla sürekli iletimi sağlamak ve vuruş yüküne karşı hız tepkisini düzeltmek için irgineç devresine dışarıdan eklenecek irgineç ekdüktansı için eşitlikler verilmiştir.

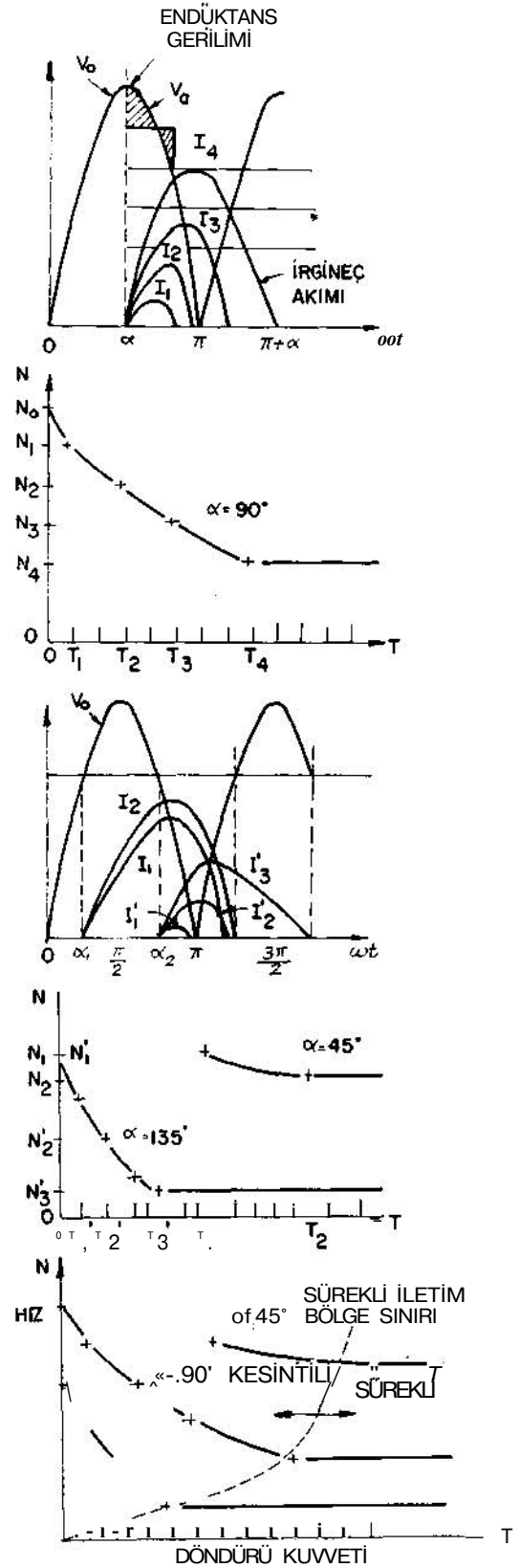
1.5. ENDÜSTRİDE KULLANILAN TEK-FAZLI SÜRÜCÜLER

Tek-fazlı endüstriyel sürücüler, piyasada 115 V veya 230 V'ta çalışan yarım-dalga ya da tam-dalga devreler olarak bulunur. En düşük beygirgüçlü ve en ucuz olanları 115 V ve yarım-dalga çalışma koşulları için tasarlanırlar. En yüksek beygirgüçlü olanları ise 230 V, tam-dalga koşulları için tasarlanırlar. Şebekeden çekilebilecek en yüksek akım değeri sürücünün çıkış beygir gücünü sınırlar.

110 V'luk yarım-dalga sürücüler yaklaşık olarak bir beygirgücüne kadar, tam-dalga sürücüler ise yaklaşık olarak beş beygirgücüne kadar yapılırlar. Kesir beygirgüçlü motorlar 1/8, 1/6, 1/3, 1/2 ve 3/4 beygirgücü büyüklüklerinde yapılırlar. Standart taban motor hızları ise T150, 1750, 2500 ve 3500 devir/dakika'dır. 230 V'luk tam-dalga sürücüler ise tipik olarak 1, 1/2, 2, 3, 5 beygirgüçlerini kapsar.

Denetim dizgeleri, motor döndürü kuvvetinin anma değeri için 20:1'e kadar, daha düşük döndürü kuvvetleri için ise 100:1'e varan hız-erimleri sağlar. Standart denetim dizgesi, irgineç gerilimini hız ölçümü olarak kullanılır ve taban hızda yüzde üçe varan bir hız düzenlemesi yapabilir. Devirölçer (takometre) hız duyarımı (speed sensing) ile, taban hızının yüzde 0.1'ine varan üstün bir hız düzenleme elde edebilir.

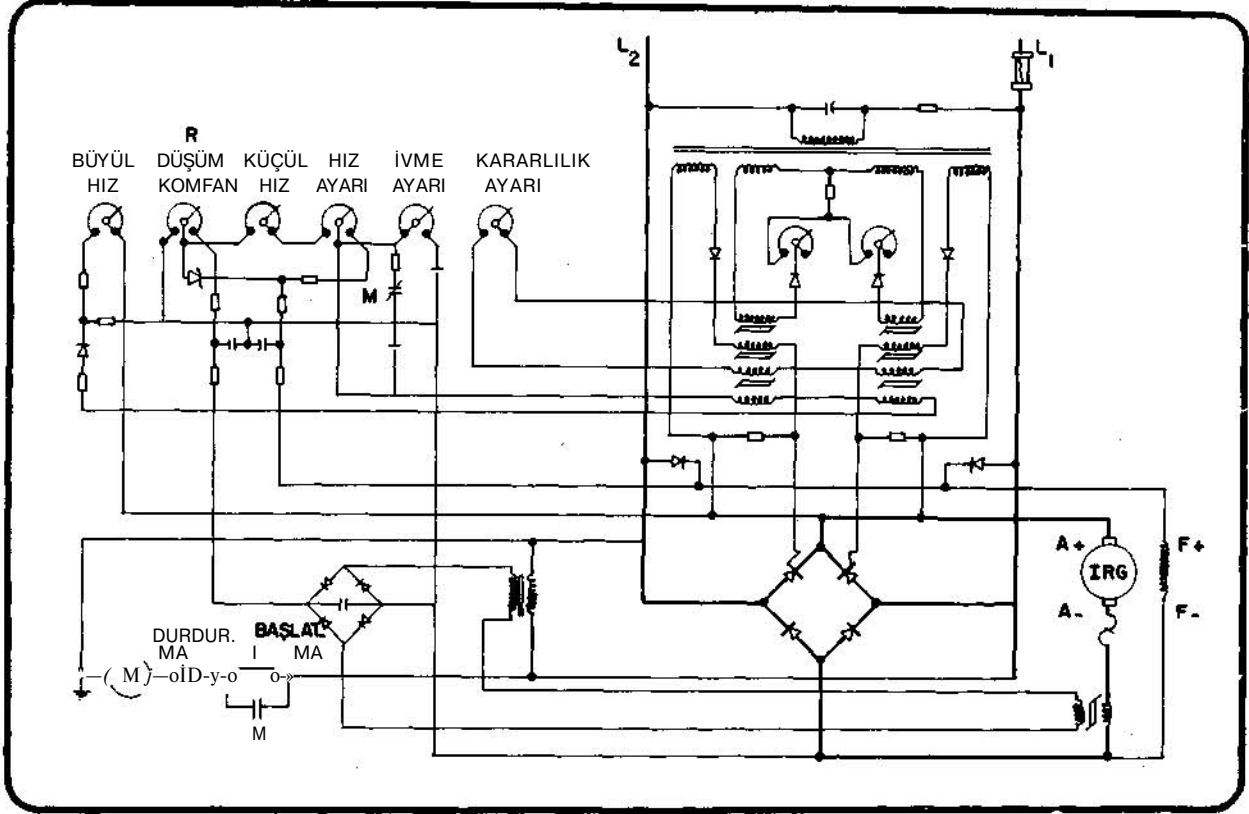
isteğe bağlı olarak alan uyarımını zayıflatarak hız erimini büyültme, hız almayı sınırlama, frenleme, tersine döndürme, belirli bir hıza ayarlama işlemleri için ana sürücüye ek aygıtlar kullanılabilir. Sürücüler su geçirmez ve körük havalandırılmalı gibi değişik motorlarında sürebilirler.



Şekil 9. Serbest döngü diyotlu tam-dalga sürücü devresi için dönüştürme kuvveti - hız eğrilerinin oluşturulması.

Ticari sürücülerde, aynı güçteki motorları sürmek için aynı güçte DSD'lar (Denetimli Silisyum Doğrultucu) kullanılır. Bu sürücüler arasındaki değişiklikler ise ateşleme imlerinin üretilmesi, DSD'lann korunması gibi sorunlardır. Tek-faz bir dizgenin basite indirgenmiş işlevsel öbek çizimi Şekil 10'da gösterilmektedir.

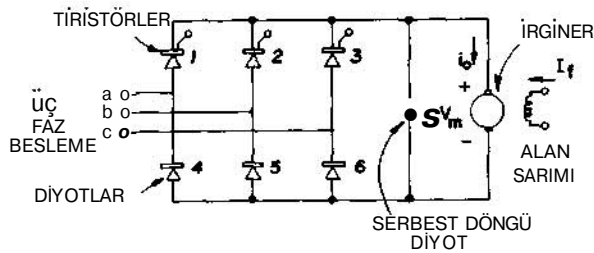
Tek-fazlı sürücülerin çalışma ilkeleri ve bunlar üzerine ticari bilgiler Kusko tarafından kaleme alınmış (4) no'lu kaynakta verilmiştir. İki yönlü tiristör (triyak) kullanarak ters-döndürme işlevini gören sürücü, Mc Murray tarafından kaleme alınmış (5) no'lu kaynakta anlatılmıştır.



2. ÜÇ-FAZLI SÜRÜCÜLER

2.1. YARIM-DENETİMLİ KÖPRÜ

Tam-erim (full-range) denetimin yapılabilmesi için sadece üç tiristör gerektiğinden, üç-faz yarım-denetimli köprü devresi D.A motor sürücüleri için çoğunlukla kullanılan devredir. Devre Şekil 11'de gösterilmektedir.



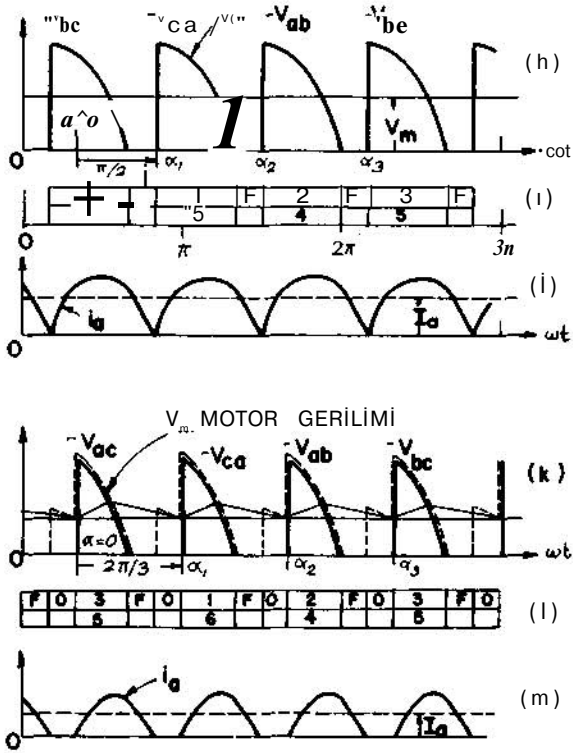
Şekil 11. üç-faz yarım denetimli köprü devresi.

Köprünün geri kalan öğeleri diyotlardır. Tam-denetimli devreler motor gerilimini ters çevirip motorun şebekeyi geri beslemesi işleminin sağlanması gereken durumlarda kullanılır. Bu devrenin aynı zamanda ufak iletim açılarında dalgacık (ripple) oranı oldukça düşüktür. Yarım-denetimli köprü devresi, düşük hız yüksek döndürü kuvvetli işlem durumlarda iletim açısını artırmak için serbest döngü bir diyot ile birlikte kullanılır.

İrginece uygulanan gerilim, Şekil 11'de görülen 1,2 ve 3 no'lu tiristörlerin ateşleme açıları değiştirilerek denetlenir. 4, 5 ve 6 no'lu diyotlar sadece akım için en eksi durumda olan şebeke ucuna dönüş yolu sağlar. Motora, köprü tarafından uygulanan anlık gerilim $\#_m$ ile irgineç gerilimi $\#_i$ arasındaki gerilim farkı birincil olarak irgineç devre endüktansı ve ikincil olarak irgineç direnci üzerine düşer. Serbest döngü diyot bir akım iletim döneminin sonunda, motor gerilimi endüktansın aldığı enerjiyi boşaltması ile eksi gerilime geçmeye başlayınca iletme geçer.

Devrenin değişik ateşleme açıları için çıkış dalga-şekilleri Şekil 12'de görülmektedir, $a = 0^\circ$ ateşleme açısı için, motor gerilimi alışılmış çevrim başına altı-vuruşlu doğrultucu çıkışı gibi görünecektir.

Ateşleme açısı, Şekil 12. b'de görüldüğü gibi, $\alpha = 30^\circ$ 'ye kadar geciktirilirse, tiristörlerin tetiklenmesi gecikir fakat buna rağmen diyotların ilettime geçmesi gecikmez ve böylece sadece birbirini atlayarak takip eden vuruşlar etkilendir.



Şekil 12. Yarım-denetimli köprü devresinin gerilim ve akım dalga şekilleri

irgineç akımı sürekli ve dalgacık oranı çok düşüktür. Ortalama irgineç akımı I_a ;

$$I_a = \frac{V_m(q) - E_g(N, 4 \gg f)}{R_a} \quad (13)$$

eşitliği ile verilir. İletim sürekli olduğu sürece, Ohm kurallı ortalama niceliklere uygulanabilir.

Şekil 12'de görüldüğü gibi $a = 60^\circ$ 'ye geciktirilmiş ateşleme açısı için, tiristörler öyle ateşlenir ki akım her 120° 'lik iletim aralığı süresince sadece bir diyot üzerinden dönüşünü tamamlar. Bu ateşleme açısında motor geriliminin dalga-şekli üç-faz yarım-dalga devrenin $a = 30^\circ$ 'deki çıkış dalga-şekli ile özdeşdir. Gerçektende, $a_x =$

60° 'den büyük tüm ateşleme açılarında bu iki ayrı devrenin çıkış dalga-şekilleri, yarım-dalga devre faz-nötür geriliminin bölümlerini kullanırken yarım-denetimli köprü devresinin faz-faz geriliminin bölümlerini kullanması dışında özdeşdir.

Şekil 12'de görüldüğü gibi, $a_x = 90^\circ$ 'ye geciktirilmiş ateşleme açısı için köprü öğelerinin çıkış-vuruş oasına iletim açısı 120° 'den azdır. Akım, iletim dönemini tanımlar ve serbest döngü diyotu ilettime zorlayarak endüktans boşaltır, (Şekil 2. i). Eğer serbest döngü diyot yoksa, motor gerilimi eksiye geçecek ve akım sıfıra daha çabuk ulaşacak ve kesintili olacaktır. Böylece, endüktansda biriken enerjinin bir kısmı şebekeye geri verilecek ve kalan kısmı irginece verilecektir.

Gösterilen son ateşleme açısı $a_x = 120^\circ$ 'dir. Motor geriliminin her vuruşu üç ayrı aralıktan oluşur. $\omega t = 120^\circ$ 'den 180° 'ye kadar tiristör iletimdedir ve böylece faz-faz geriliminin bir bölümü motora uygulanmış olur. Bir dönem sonra serbest döngü diyot ilettime girer ve motor gerilimini sıfırda tutar. Endüktans tamamen boşalınca serbest döngü diyot iletimden çıkar ve motor gerilimi üretilen irgineç gerilimine yükselir. Şekil 2. m'de görüldüğü gibi irgineç akımı kesintilidir.

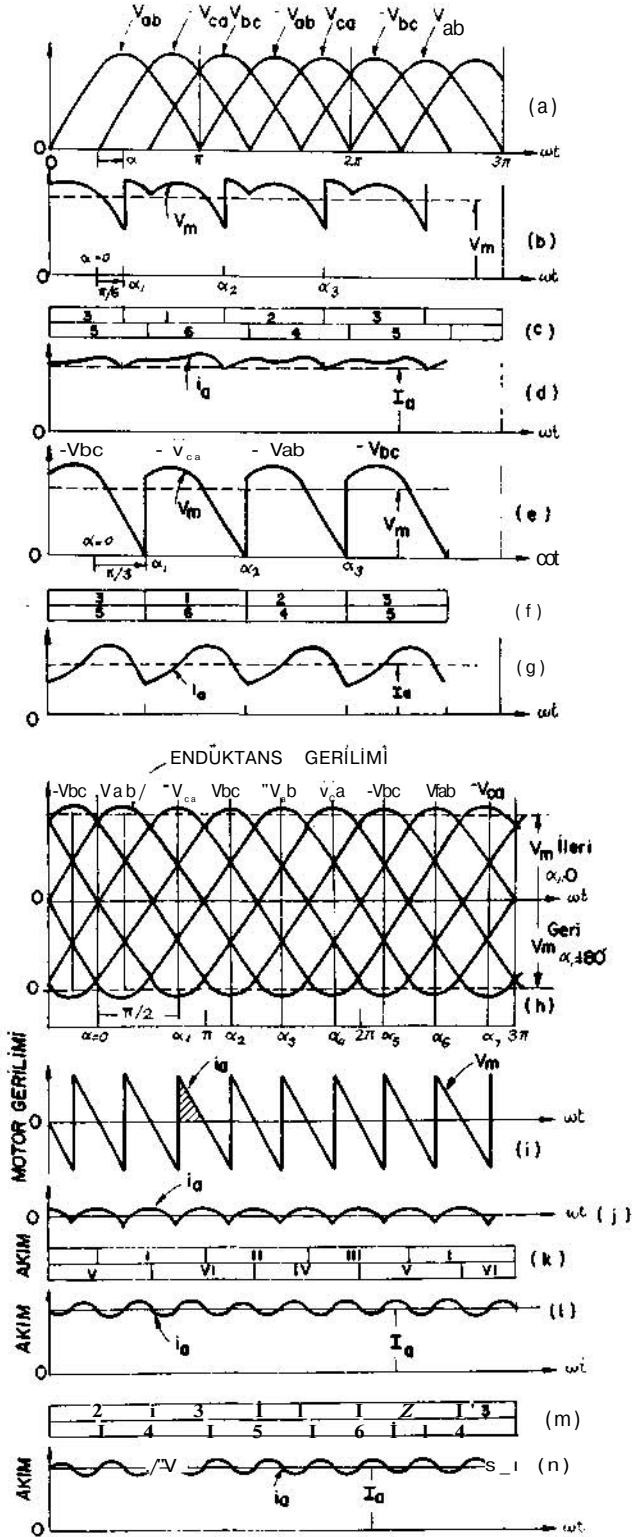
Yarım-denetimli köprü tam-erim denetimi elde edebilmek için $a_x = 0^\circ$ 'den $a_x = 180^\circ$ 'ye kadar uzanan ateşleme açısı aralığı gereklidir, $a_x = 30^\circ$ 'ye kadar dalga-şekli esas olarak çevrim başına altı vuruşludur. $a_x = 30^\circ$ 'den 180° 'ye kadar çevrim başına üç vuruşludur. Akımın kesintili olmaya başladığı ateşleme açısı ve dalgacığın tepeden tepeye değeri, irgineç devresinin zaman değişmesine bağlıdır.

2.2. TAM-DENETİMLİ KÖPRÜ

Tam-denetimli köprü devresi Şekil 14'de görülmektedir. Bu devrede altı tiristör vardır ve serbest döngü diyot dışında hiç diyot yoktur. Tiristörler birbirini izleyen her 60° 'de ateşlenir ve dalgacık her zaman çevrim başına altı vuruşludur. Tam-denetimli köprünün çıkış geriliminin dalgacık oranı yarım-denetimli köprününküne göre daha azdır, fakat tam-denetimli köprünün kullanılma yeri esas olarak reküperasyon(2) (regeneration) gereken durumdur. Ters akım bağlantı anahtarı ile ya da alan uyarımının yönünü değiştirerek, irgineç geriliminin yönü değiştirilirse, tam-denetimli köprü doğal değişli bir evirgeç olarak çalıştırılabilir. Böylece, güç akışı motordan şebekeye doğru olur, motor sıfır hıza ulaşır ve sonunda ters yöndeki hıza varacak şekilde hız alır. Serbest döngü diyotlu

(*) İngilizce "regenerasyon" sözcüğünün kullanılan bir Türkçe karşılığı bulunmadığı için, bazı Üniversitelerimizin ders kitaplarında geçen Fransızca kökenli "reküperasyon" sözcüğünü kullanmak zorunda kaldık.

köprü devresinin çıkış dalga şekilleri Şekil 13'de görülmektedir, $\alpha = 60^\circ$ 'den büyük ateşleme açıları için doğrultucunun çıkış gerilimi kesintili duruma gelir ve ırgıneç devresinin zaman çelişmezi, akımı serbest döngü diyot-



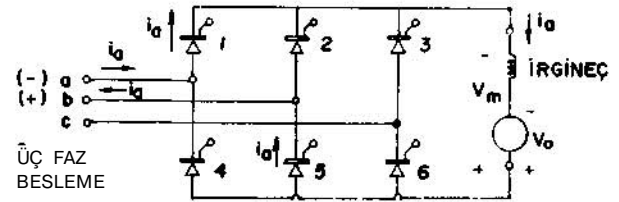
Şekil 13. Tam-denetimli köprü devresinin gerilim ve akım dalga şekilleri.

tan sürekli olarak geçmesini sağlayacak kadar büyükse çıkış gerilimi vuruşlar arasında sıfır olur. Değışle çıkış gerilimi (= motor gerilimi) serbest döngü diyot iletimden çıkar çıkmaz üretilen ırgıneç gerilimine yükselir (Şekil 12. k). Tam-Erim denetim 120° 'lik ateşleme açısı aralığı ile elde edilebilir.

ırgıneç devresinin, sürekli iletimi sürdürebilecek yeterli endüktans varsa ve serbest döngü diyot kullanılmıyorsa o zaman ırgıneç gerilimi 60° 'den büyük açılarda endüktansın artı-Gerilim-zaman alanının dengelemek için, eksiye geçer. En uç durum Şekil 3'de 90° 'lik ateşleme açısı için gösterilmektedir. Bu durumda ortalama motor gerilimi V_m ve dolayısıyla ırgıneç akımı I_a sıfır olur. Bu durumda doğrultucunun tam-erim denetim için ateşleme açısı aralığı 0° 'den 90° 'ye kadardır.

Eğer ateşleme açısı $\alpha = 90^\circ$ 'den 180° 'ye uzanan aralık içinde olursa, köprünün çıkış gerilimi yön değıştirecek ve aynı yöndeki bir DA kaynağından güç alabilecek durumda olacaktır. Doğrultma işleminin $\alpha = 30^\circ$ 'deki ve evirme işleminin $\alpha = 180^\circ$ 'deki en uç örnekleri Şekil 3. e ve g'de görülmektedir. Akımın yönü değışmez kalır fakat gerilim yönü ve dolayısıyla güç akışı yön değıştirir.

Rekuperasyon işleminde, $\omega t = 240^\circ$ 'den 300° 'ye kadar uzanan zaman aralığı için, elektriksel niceliklerin yönleri Şekil 14'de görülmektedir. ırgıneç, V_m i_a terimine eşit nicelikteki gücü köprüye, orandanda a-b faz uçlarına geri vermektedir.



Şekil 14. üç-faz tam denetimli köprü

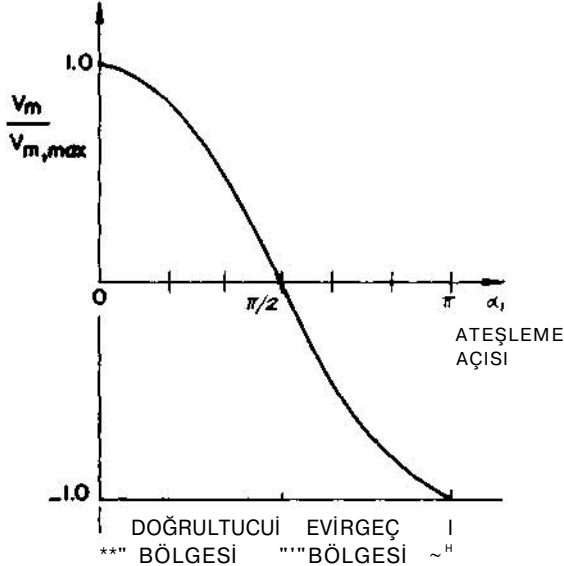
Çıkış gerilimi-ateşleme açısı eğrisi Şekil 15'de gösterilmektedir.

Motor hızdan düşünce akımı aynı değerde tutmak ve rekuperasyon işleminde ateşleme açısının geciktirilmesi gerekir. Motorun dönüş yönünün değıştirilmesi işleminde ise köprü dışında başka bir araç gerekir.

2.3. DİNAMİK ÖZELLİKLERİ

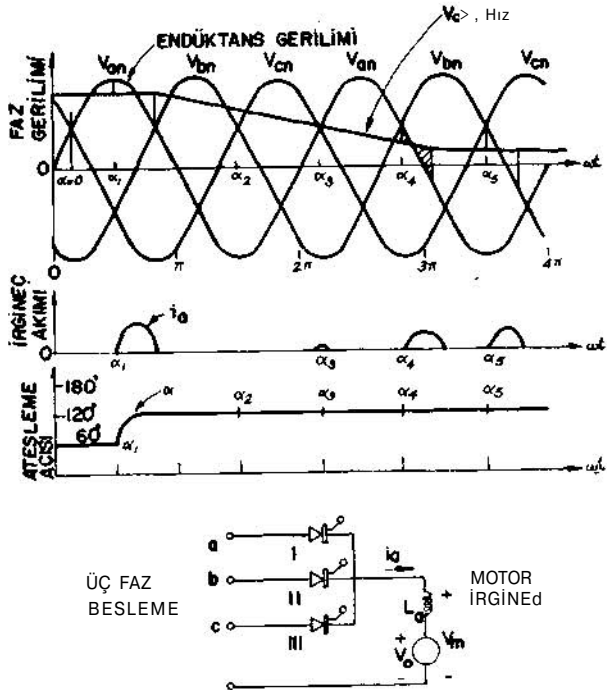
Üç-Faz şebeke ile bir DA motoru arasına bağlanmış iki takım üç-faz yarım-dalga devre, alan ve ırgıneç devresi için ters akım bağlantı anahtarı kullanılmasını gerektirmeden motorun dönüş yönünü değıştirme işleminde rekuperasyon yöntemi ile frenleme için kullanılır. Üç tiristörlü takımlardan biri, ileri (artı) yönde akımı uygulamak

için diğer takım ise ters (eksi) yönde akımı uygulamak için kullanılırlar. Tiristör takımlarından biri veya diğeri birbirlerinden bağımsız olarak ateşlenir ve kesinlikle beraber ateşlenmezler.



Şekil 15. Endüktif yükte, tam denetimli köprü devresinin gerilim-ateşleme açısı özelliği

Herhangi bir sürücü hız kesmenin en basit yöntemi motoru kendi kayıpları ile ya da yük çekme gücü ile yeni hızına doğru yavaşlamaya bırakmaktır. Yanm-Dalgı devre kullanılarak yapılan böyle bir hız kesme işleminin dalga şekilleri Şekil 16'da görülmektedir. Motor başta $a =$



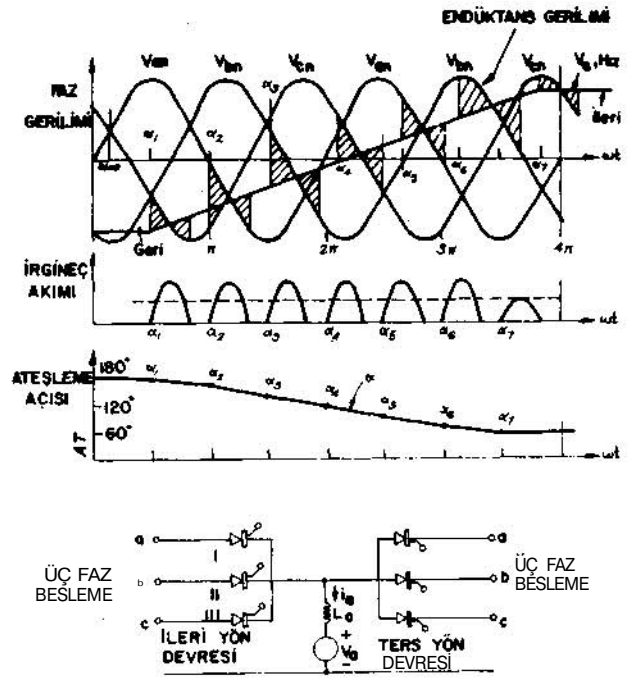
Şekil 16. üç-faz yarım-dalgı devresi ve hız kesme durumundaki dalga şekilleri.

60°'lik ateşleme açısı ile tam hızda çalışmaktadır. Ateşleme açısı aniden $a = 120^\circ$ 'ye geciktirilir ve birinci yeni a_2 vuruşu V_n gerilimindeki 2 no'lu tiristörün geçitine uygulanır. Bu sırada irgineç gerilimi $\#_{a_2}$ faz-nötür gerilimi $\ll 3b_n$ 'den daha büyük olduğundan tiristör iletime geçmez fakat irgineç akımının yokluğundan ve böylece döndürme momenti üretilememesinden dolayı motor hız kaybetmeye devam eder. Sonraki a_3 vuruşu $\#_{c_n}$ gerilimindeki 3 no'lu tiristörün geçitine uygulanır. Sonunda t_{an} ve $(9j)_n$ gerilimlerinde uygulanan ve $\ll x_2$ ve $a^$ vuruşları irgineç akımı üretir ve motor yeni ve daha düşük bir hızla kararlı duruma geçer.

Böyle kendi kendine yavaşlama ile hız kesme işlemi, denetimsiz olup özellikle büyük beygırgüğü sürücülerde istenmez. Hız kesme için gereken zaman mekanik-zaman değişmezine, yani motorun ve yükün eylemsizliğine ve döndürü kuvveti isterine bağılıdır. Devimsel enerjinin bir kısmını yatacak bir frenleme direncine motorun uçları arasına bağlayarak hız kesme işlemi hızlandırılabilir. Frenleme direncini devreye sokup çıkaracak anahtarın çalışması denetim dizgesi ile bütünleştirilmelidir.

Daha çok tercih edilen hız kesme yöntemi reküperasyon ile frenleme yöntemidir. Reküperasyon kinetik enerjinin milden çekilmesi ve şebekeye geri verilmesidir. Tam denetimli köprünün çıkış geriliminin yönü değiştirilerek reküperasyon işlemi için kullanılması daha önce irdelenmiştir. Bununla birlikte iki ayrı yarım-dalgı devre takımından oluşan dizge bu işlem için daha uygundur.

Motorun sıfır hızı kadar hız kesmesi ve ters dönüş yönünde yeni bir hızı doğru hız alması Şekil 17'de görül-



Şekil 17. üç-faz y-nm-dalgı, ters döndürme devresi.

mektedir. Motorun başta ters dönüş yönünde tam hızda çalıştığı varsayılmaktadır. Bu durumda, ters-yön devresine uygulanan imler kesilir ve ileri yön devresine ateşleme imleri uygulanmaya başlanır, ileri-yön devresi motora öyle bir yönde akım uygular ki, önce irgineçten enerji çekilir ve sonra irginece, motora ileri yönde hız alıracak enerji uygulanmış olur.

Birinci vuruş $i_{c,n}$ gerilimindeki 3 no'lu tiristöre irgineç akımı vuruşu i_a 'yı güvenilir sınırlar içinde tutmak için $\alpha_1 = 180^\circ$ 'de uygulanır. Motorun hızı düştükçe ateşleme açısı irgineç akım vuruşlarını aynı büyüklükte tutmak için sıra ile küçültülür. Bu geçiç-rejim küçültme işlemi akım sınırlayıcı devresi tarafından özdevimsel olarak denetlenir. Ateşleme açısı $\alpha_1 = 60^\circ$ 'ye ulaşıncaya motor ileri yöndeki istenilen kararlı durum hızına ulaşmış olur.

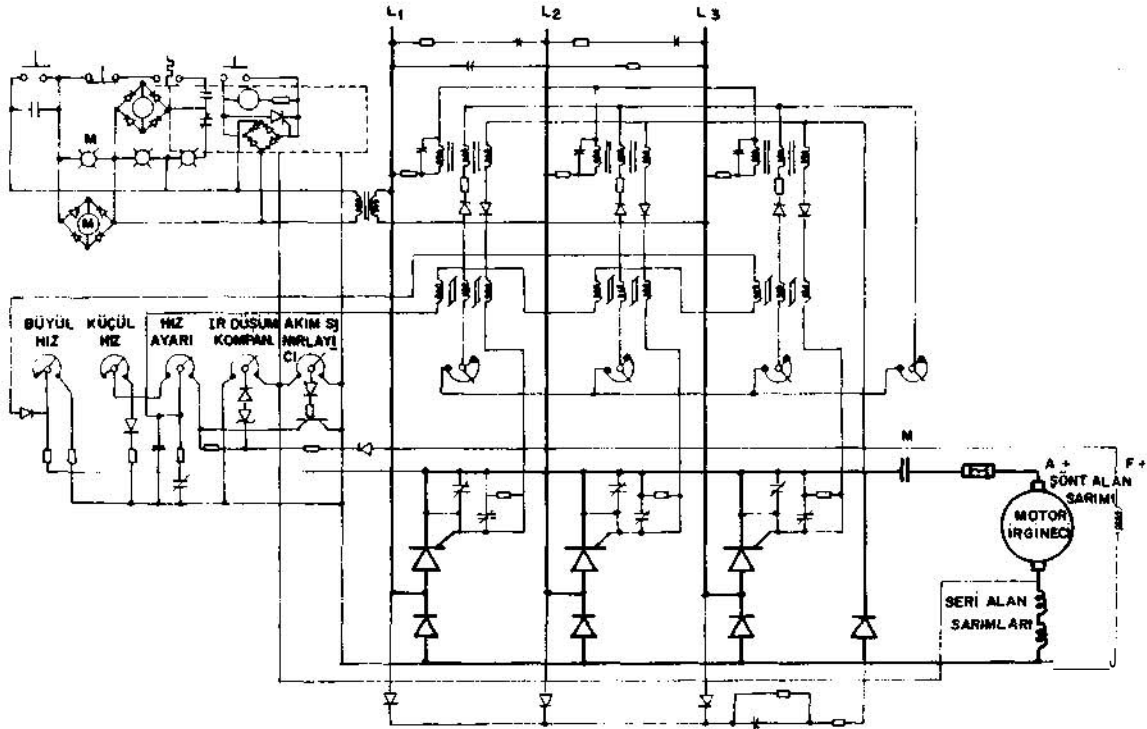
Eğer akım vuruşları ve irgineç gerilimi, her vuruşta dikkatle irdelenirse, motorun $\omega = 240^\circ$ dolayında durunçaya kadar gücün eksi olduğu ve motor hız alıracı gücü almaya başlayınca artı olduğu görülür. Hız kesme sırasında irgineç akımının belirli sınırlar içinde tutulabilmesi için ateşleme açısı aralığının en az 180° olması gerekir.

Akım sınırlayıcı bir devrenin denetimi altında hız alan tek yönlü bir devre için de aynı tür ateşleme açısı kullanımı ve akım vuruşları gereklidir. Hız alma dönemi boyunca ortalama akım sınırlayıcı devre ile değişmez olacaktır.

Anma-yükte tipik hız denetimi erimi 8'e 1, hafif yükse jse 100'e 1'dir. Standart sürücülerde, hız duyarımı için kompanzasyonlu irgineç gerilimi kullanılır. Tipik hız düzenlenmesi taban hızın % 2'si kadardır. Hız duyarımı için irgineç gerilimi yerine devir-ölçer kullanılırsa $\pm \% 0.5$ ' den $\pm \% 0.1$ 'e kadar değişen hız düzenlemesi elde edilebilir. Akım sınırlama denetimi standart olup, dönüş yönünü değiştirme ve hız denetim aralığını genişletmek için alan uyarımını zayıflatmak isteğe bağlı olarak eklenebilecek özelliklerdir. Endüstriyel bir üç-faz sürücünün yalınlaştırılmış işlevsel devre çizimi Şekil 18'de gösterilmektedir.

2.4. ENDÜSTRİDE KULLANILAN ÜÇ-FAZLI SÜRÜCÜLER

Endüstriyel üç fazlı sürücüler ya 230 V ya da 460 V üç-faz şebekeden genellikle trafosuz çalışacak biçimde yapılırlar. Sürücülerde, dönüş yönünü değiştirme ve de frenleme gereksinmelerine bağlı olarak, tam-denetimli ya da yarım-denetimli köprüler veya yarım-dalga devreler kullanılır. Yarım-dalga sürücüler nötür bağlantısı veya yıldız noktasını sağlayacak ayrı bir topraklama trafosu gerektirir. Genel amaçlı sürücülerin beygircükleri yapımcıya bağlı olarak 1 beygircükünden 150 beygircüğe kadar değişir. Taban motor hızları tipik olarak 850, 1150, 1750, 2500 ve 3500 devir dakika'dır. Daha yüksek güçteki sürücüler ise bu gücü sağlamak için iki ya da daha fazla tiristörlü köprülerin koştur kullanılması ile elde edilir.



Şekil 18. Endüstriyel üç-faz sürücü devresinin işlevsel öbek çizimi

Oç-faz yarım dalga her iki dönüş yönünde motor sürülebilen bir sürücünün çalışma ilkeleri ve tasarımı (6) no'lu kaynakta tanımlanmıştır. Oç-faz yarım-denetimli köprü kullanan bir sürücü için denetim dizgesinin ve ateşleme

devrelerinin tasarımı (7) no'lu kaynakta sunulmaktadır. Uygulama, işlem ve bakımda ortaya çıkan sorunlar (8) ve (9) no'lu kaynaklarda ele alınmıştır. Ticari uygulamalar için (4) no'lu kaynakta ele alınmıştır.

3. SONUÇ

Tek-fazlı sürücülerde yarım-dalga veya tam-dalga doğrultucu devreler kullanılır ve genellikle kesintili ırgineç akımı sağlayacak biçimde çalıştırılırlar. Daha ufak kesir-beygirli sürücüler genellikle açık devre, hız geri beslemesi olmadan çalışırlar. Daha büyük güçteki sürücülerde ise hız denetimi için ırgineç gerilim duyarımı kullanılır.

Üç-fazlı tiristörlü doğru akım motor sürücüleri genellikle trafosuz; DA motor geriliminin doğrultulmuş değeri eşitlenerek tasarınırlar, iki yarım-dalga devre takımı, iki yönlü sürücüler için, yarım denetimli köprü ise tek yönlü sürücüler için kullanılır. Düzentekere diyotlar ve ırgineç devresine konan şok bobinleri ırgineç piminin dalgacık oranını düşürmeye ve ırgineç sargılarının fazla ısınmasını önlemeye yarar.

KAYNAKLAR

- (1) Gaudet, J.A; "Motor Speed Control System", U.S. Patent No. 3.123.757 Mart 1964.
- (2) Pfaff, R.W; "Characteristic Of Phasa-Controlled Bridge Rectifiers with D-C Shurt Motor Load " AIEE Trans.Appl.Ind, Cilt 77, No 2, s. 49-53, Mayıs 1958.
- (3) Black, K.G; "The Effect of Rectifier Discontinous Current on Motor Performance", AIEE Trans.Ind. Gen.Appl, s. 377-387, Kasım 1964.
- (4) Kusko, A; "Packaged SCR DC Drives" Control Eng, Haziran-Temmuz 1966.
- (5) McMurray, W; "Reversing DC Motor Drives Using Bilateral Thyristors" Conference Record of the 1966 First Annual Meeting of the IEEE Industry and General Applications Group, s. 557-566, 1966
- (6) Berman, B; Static-high capacity-regenerative D.C Amp lifler Motor Control", Proceedings of the 1965 Intermag Conference, s. 162.1 - 162.7, 1965.
- (7) Wise, A.V ve Schlieman, R.G; "A DC Motor Drive Using the New Pressum Assembled Thyristors" Conference Record of the 1967 Second Annual Meeting of the IEEE Industry and General Applications Group, s. 717-9, 1967.
- (8) Schofield, J.R.G. ve Smtth, A * Whhnwre, M.G; "The Application of the *hyristor* to the Control of DC Machines", Proceedings of the 1965 IEEE Conference on Power Applications of Controllabk Semiconductor Devices, s. 219-225, 1965.
- (9) Mellgren, G; "Tyristor Convertors Kor Motor drives-some Experience in Desif n and Opcration", Proceedings of the 1965 IEEE Conference on Power Applications of Controllable Semiconductor Devices, s. 230-249, 1965.