

MOTOR YÜKLÜ ÜÇ FAZLI DOĞRULTUCULAR

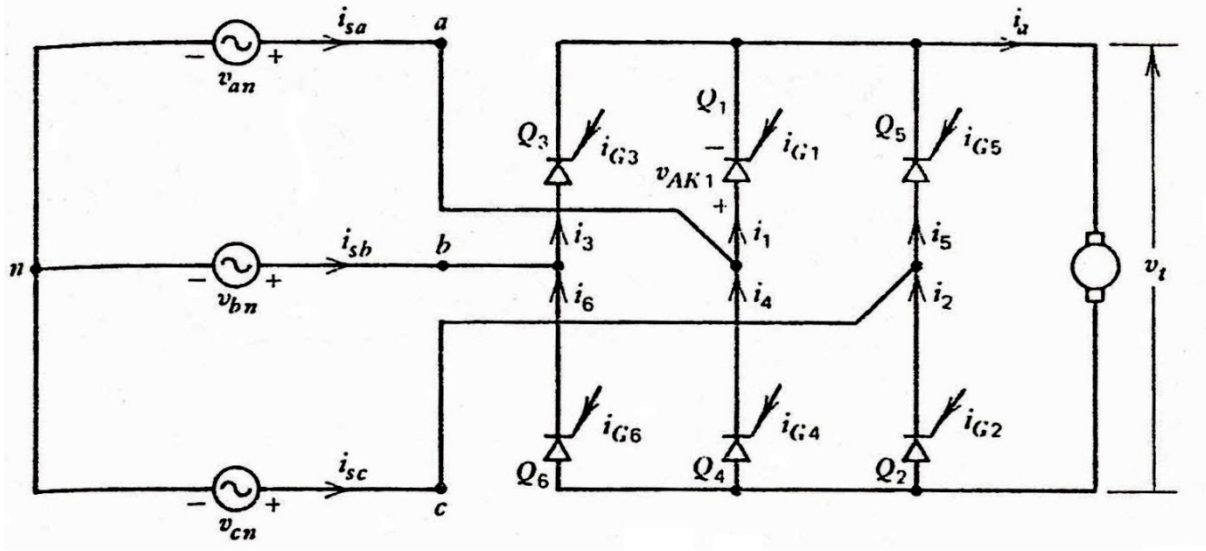
4.1. ÜÇ FAZLI KÖPRÜ DOĞRULTUCU TAHRİKLERİ

Şekil 4.1a 'da en çok kullanılan motor kontrol sistemi olan üç fazlı köprü dönüştürücü gösterilmektedir. Yarı kontrollü montajda, şekildeki üç tristör yerine üç diyot kullanmak da mümkündür; fakat bu şekilde sistem $v_t - i_a$ karakteristiğinin sadece birinci bölgesinde çalışabilir. Ayrıca bu montajın dezavantajı hat akımında daha etkin harmoniklere neden olmasıdır. Bu durum güçlü uygulamalar için uygun değildir. Bu bölümde sadece tam kontrollü doğrultucular incelenecektir.

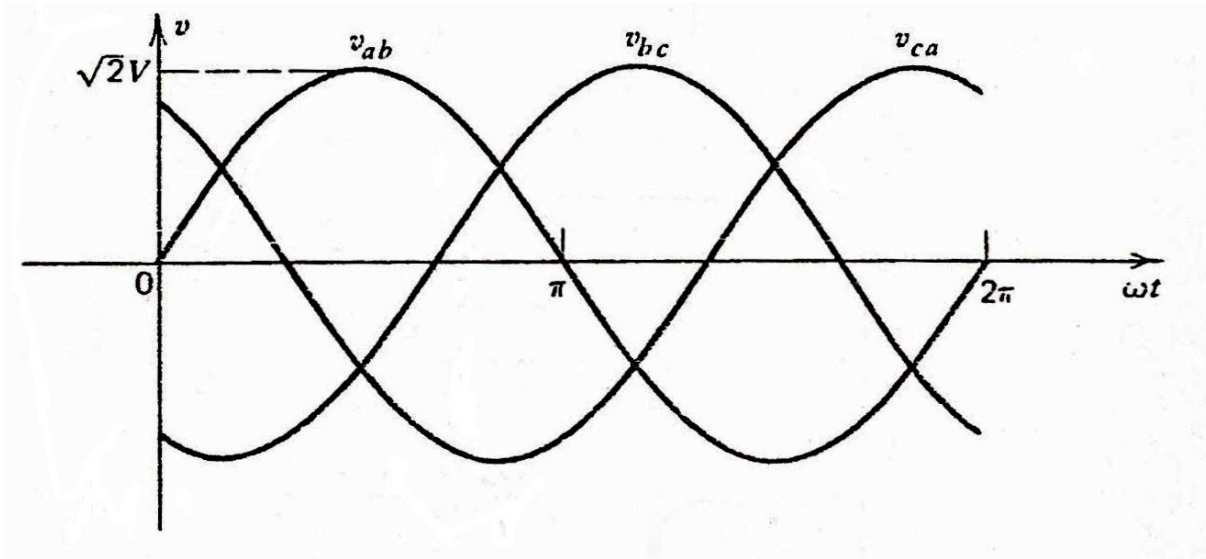
Şekil 4.1a 'da gösterilen üç AA kaynağın ya da üç fazlı bir transformatörün sekonder sargı gerilimini temsil eden dalga şekilleri Şekil 4.1b 'de gösterilmiştir. Transformatörün sekonder ve primer sargılarından biri (veya her ikisi de) üçgen bağlanmalıdır, böylece mıknatıslanma akımlarının üçün katı ve sıfır bileşen harmonikleri akabilir. (Bir üçgen bağlı üçüncül sargı da aynı işlevi yerine getirebilir.) AA kaynak ile motor gerilimleri uygunsa transformatör kullanmaya gerek yoktur, dönüştürücü doğrudan üç fazlı AA kaynaktan beslenebilir.

Şekil 4.1a 'da gösterilen tristörler numaralandıkları sıraya göre ilettime girerler. Aynı anda iki tristör birlikte iletimde olmak zorundadır. Örneğin v_{ab} gerilimi pozitif tepe değerinde iken Q_1 ve Q_6 iletimdedir, v_{ab} negatif tepe değerlerindeyken Q_3 ve Q_4 iletimdedir. Her tristörün tetiklenmesi bir yük akımı darbesi başlatır; bu nedenle bu devre altı darbeli doğrultucudur. Şekil 4.2 'de $v_t - i_a$ karakteristiğinin birinci bölgesinde sürekli akım çalışmaya ait dalga şekilleri gösterilmiştir. Ayrıca, bu sistem kesintili akımda da çalışabilir ancak arttırılmış darbe sayısı ile tek fazlı doğrultucu ile karşılaştırıldığında motor endüvi devresi endüktansı düşük olsa bile gecikme açısı α , dar bir bölge içinde tutulabilir.

Burada gecikme açısı α 'nın ne anlama geldiğini açıklamak ve α 'nın sıfıra doğru azalmasının etkilerini belirtmek uygun olacaktır. Doğrultucu, elektromotor kuvveti olmadan saf bir omik yükü sıfır gecikme açısıyla beslediğinde, maksimum ortalama yük akımını iletir. Bu, omik yük devresinden akan akımın her hangi bir anda Şekil 4.1 'de gösterilen hat gerilimleri gibi olması ve en büyük değerine ulaşması anlamına gelir. Buna göre Q_1 referans tristörü ilettime $\omega t = \pi/3$ anında geçecek ve Q_6 tristörü de aynı anda iletimde olmalıdır. Q_1 'in tetikleme sinyalinin başlaması $\omega t = \pi/3$ ' dedir ki, burada $\alpha = 0$ 'dır. Bu şartlarda her tristör $2\pi/3$ radyanlık aralıklarla iletimdedir. Bu, $\alpha=\pi/3$ 'e kadar böyledir. Bu noktada kesintili akım omik yük devresinden akacak ve Q_1 'den geçen akım $\omega t = \pi$ noktasında sıfıra düşecek, Q_2 ilettime geçtiğinde tekrar yükselecek ve $\omega t = 4\pi/3$ anında sıfıra düşecektir.



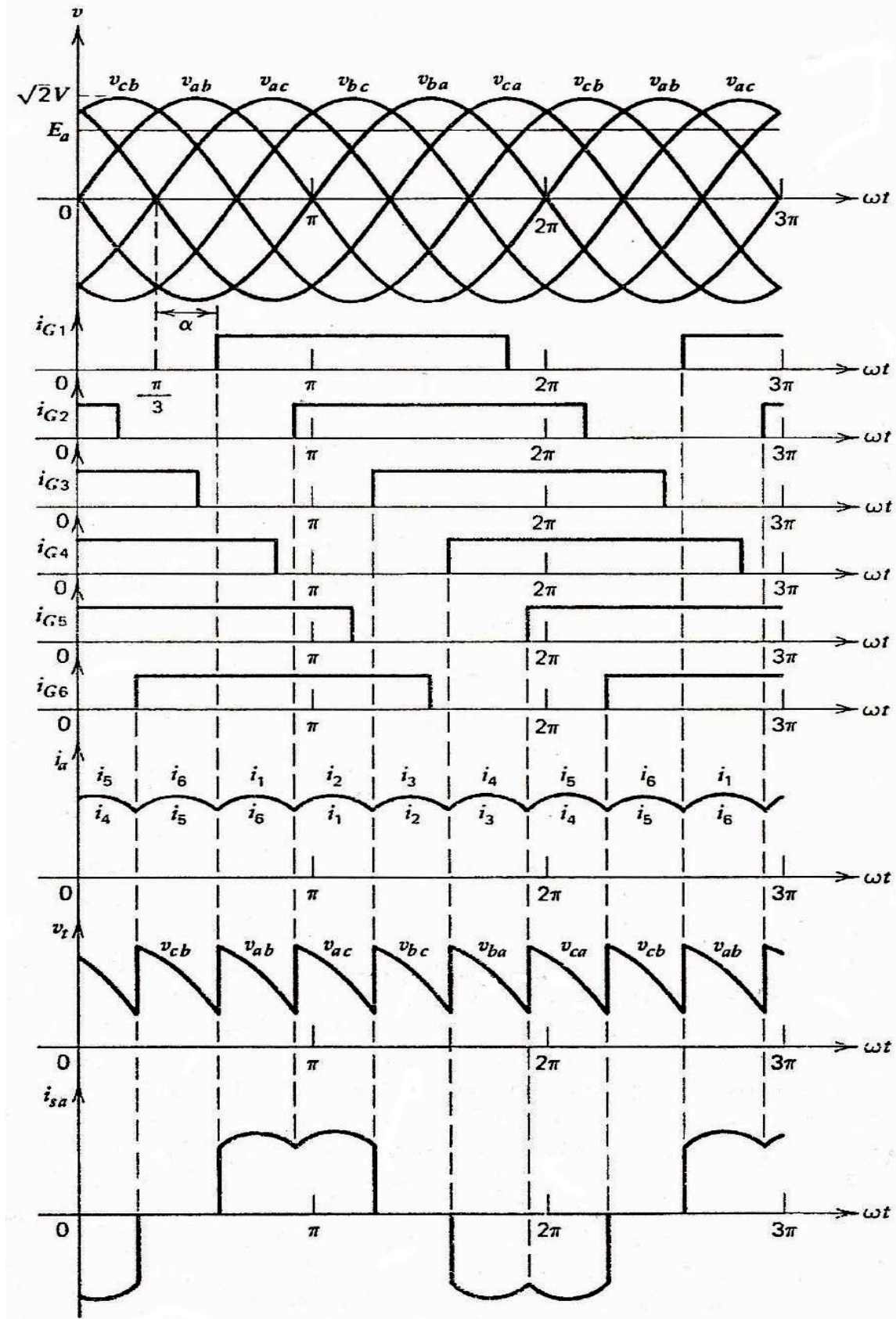
(a)



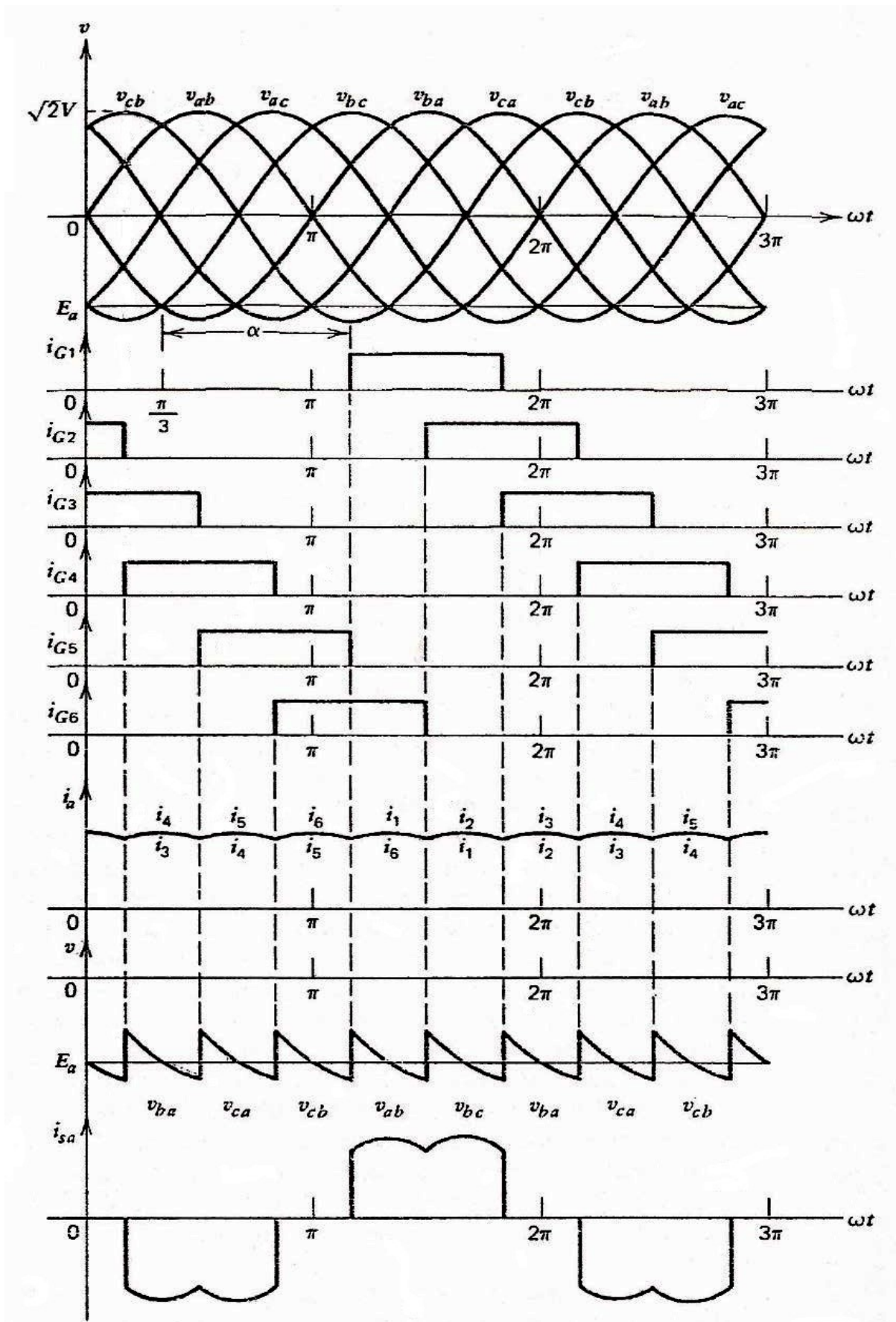
(b)

Şekil 4.1 Üç fazlı, kontrollü doğrultucu

Üç fazlı doğrultucular Şekil 4.3' de belirtilmiş olunan $v_t - i_a$ diyagramının dördüncü bölgesinde inverter olarak da çalışabilir. Böylece iki çeviricili olarak bağlanan bu iki doğrultucu ile 3.2.2 bölümünde gösterilen tek fazlıda tarif edildiği gibi, 2. ve 4. bölgelerde, faydalı frenlemeli 4 bölge tahrik elde edilir.



Şekil 4.2 Üç fazlı doğrultucu. Birinci bölgede çalışma.



Şekil 4.3 Üç fazlı doğrultucu. Dördüncü bölgede çalışma.

Şekil 4.2' de v_t ' nin dalga şeklinden görüleceği gibi $\alpha > \pi/2$ için $\bar{v}_t < 0$ 'dır. Q_1 tristörü uçlarındaki v_{AKI} geriliminin dalga şekli wt_q aralığının tanımlanmasında yararlı olacaktır. Bu durum tek fazlı sistemler için Şekil 3.11 de gösterilmişti. Bu Q_1 tristörünün sönmesi ve ileri tutma yeteneği kazanması için gerekli zamandır. Eğer sürekli akımlı çalışmada α , π ' ye kadar yükseltirse bu aralık kaybolur. Böyle bir duruma $\pi < \alpha < 7\pi/6$ bölgesinde kesintili akım çalışma için müsaade edilebilir. Halbuki, pratikte motor kontrol sistemlerinde α ' nın çok büyük olması gerekli değildir.

$$0 < \alpha < \pi - wt_{off} - \mu \quad [\text{rad}] \quad (4.1)$$

Burada t_{off} tristörlerin ileri tutma kabiliyetini yeniden kazanabilmesi için gerekli olan süredir ve μ emin olma açısıdır.

Bir kez daha, $\bar{v}_t$, α 'nın bir fonksiyonu olarak belirtilebilir. Böylece;

$$v_{ab} = \sqrt{2} \cdot V \cdot \sin wt \quad [\text{V}] \quad (4.2)$$

O halde;

$$\bar{v}_t = \int_{\alpha+\pi/3}^{\alpha+2\pi/3} \sqrt{2} \cdot V \cdot \sin(wt) \cdot d(wt) = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} V \cos \alpha \quad [\text{V}] \quad (4.3)$$

Burada $\alpha = 0$ için, $\bar{v}_t = 1.35$ V değerindedir. Bu diyotlu doğrultucu bağıntısıdır. Endüvi akımının ortalama değeri;

$$\bar{i}_a = \frac{\bar{v}_t - k\Phi\omega_m}{R_a} \quad [\text{A}] \quad (4.4)$$

Ortalama moment;

$$\bar{T} = k\Phi\bar{i}_a \quad [\text{Nm}] \quad (4.5)$$

Ayrıca;

$$E_a = k\Phi\omega_m = \bar{v}_t - R_a\bar{i}_a \quad [\text{V}] \quad (4.6)$$

4.5 ve 4.6 eşitliklerinden;

$$\omega_m = \frac{3\sqrt{2}V}{\pi k\Phi} \cos\alpha - \frac{R_a\bar{T}}{(k\Phi)^2} \quad [\text{rad/s}] \quad (4.7)$$

bulunur. Burada ω_m ile $\bar{T}$ 'nin oluşturduğu karakteristikler, tek fazlı doğrultucunun sürekli akımlı çalışmasına benzemektedir. Üç fazlı hız-moment karakteristikleri için izlenen yol, bölüm 3.2' nin sonunda verilen tek fazlı karakteristikler için izlenen yolun benzeri olmalıdır.

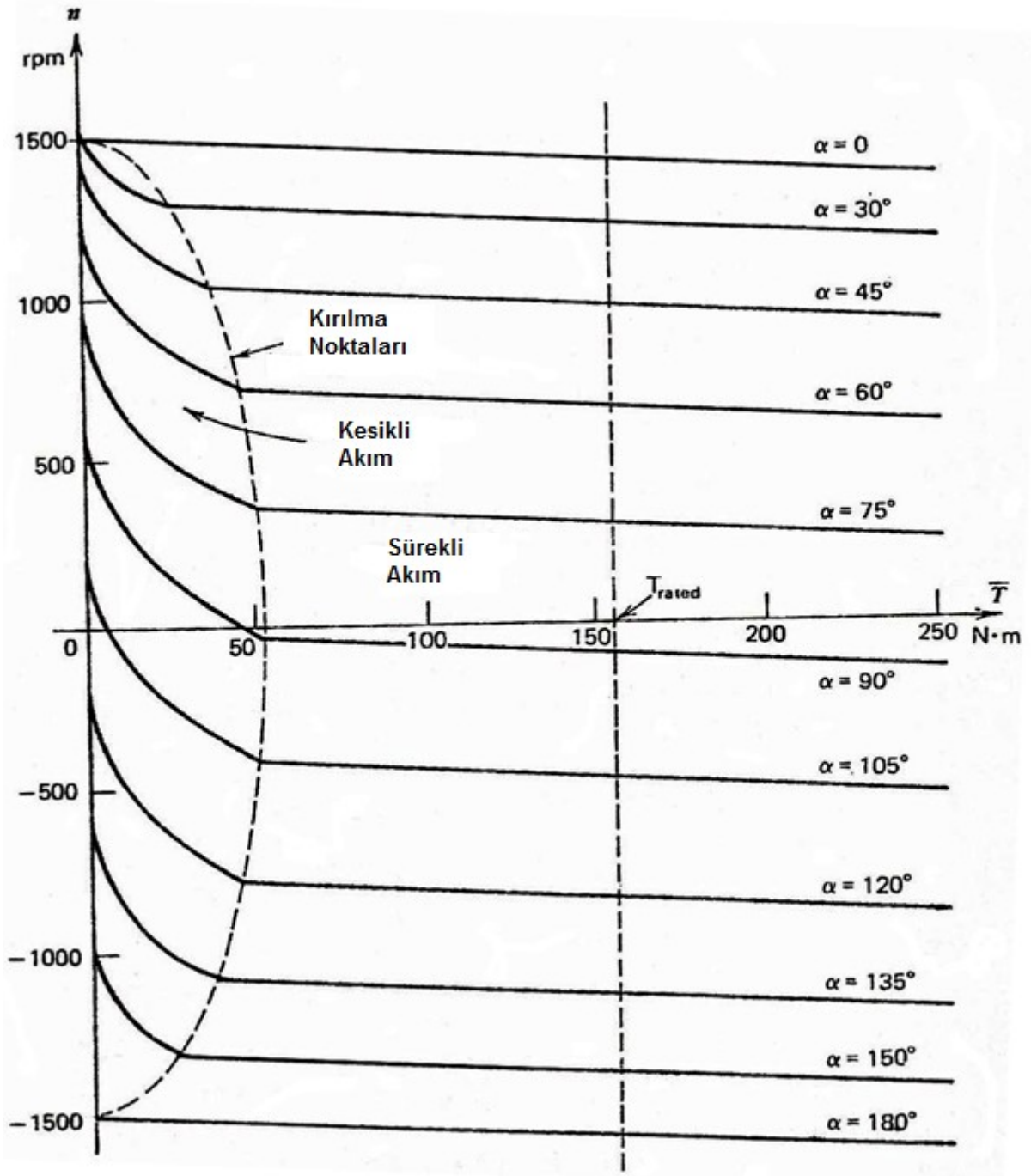
3.5 ve 3.9 denklemleri; her iki denklemde de α 'nın $\alpha + \pi / 3$ ile β 'nin $\alpha + 2\pi / 3$ ile değiştirilmesi halinde, üç fazlı köprü dönüştürücü süreksiz akım durumunda kullanılabilir. Bu son eşitlik α 'nın değerlerine karşı ω_m 'nin hesaplanmasında kullanılabilir. Uyuşan değerlerde, geçiş noktasında $\bar{T}$ değeri 4.3 ve 4.5 eşitlikleriyle bulunabilir. 4.7 denklemi düz bir çizgi şeklindedir.

Bir kez daha, $\bar{T} = 0$ değeri için ω_m eksenindeki nokta aşağıdaki denklemlerden sağlanabilir;

$$\bar{v}_t = \sqrt{2}V \quad [\text{V}] \quad 0 < \alpha < \pi / 6 \quad [\text{rad}]$$

$$\bar{v}_t = \sqrt{2}V \sin(\alpha + \frac{\pi}{3}) \quad [\text{V}] \quad \pi / 6 < \alpha < \pi \quad [\text{rad}] \quad (4.8)$$

$$\omega_m = \frac{\bar{v}_t}{k\Phi} \quad [\text{rad/s}] \quad (4.9)$$



Şekil 4.4 Üç fazlı doğrultucu için hız-moment karakteristiği

Şekil 4.4, Ek B' de listelenmiş 230 V, 25 Hp, $R_a = 0,155 \, \Omega$, $L_a = 2,4 \, \text{mH}$ olan bir DA motorunun üç fazlı köprü doğrultucu ile endüvisi uyarılmışına ait hız-moment karakteristiklerini göstermektedir. Her bir karakteristik α 'nın belirli bir değeri için bulunmuştur. Doğrultucu fazlar arası gerilimi 208 V ve frekansı 60 Hz olan bir kaynaktan beslenmiş ve 230V DA kaynak oluşturacak şekilde alan akımı ayarlanmıştır. Bu karakteristiklerden de görüleceği gibi çalışma

bölgesinin büyük bir kısmında akım sürekli. Eğrideki kırılma noktası, kırılma noktası momenti olan $\overline{T}_{bp}$, yaklaşık sıfır hızda veya $\alpha = 90^\circ$ iken maksimum seviyesine ulaşır.

Örnek 4.1

Şekil 4.4' te karakteristiği verilen motorun endüvi devresi endüktansının 2 misline çıkmasının maksimum kırılma momentine etkisini belirleyiniz.

Motor parametreleri :

$$R_a = 0,155 \, \Omega, \quad L_a = 4,8 \, \text{mH}, \quad I_R = 92 \, \text{A}$$

$$\text{Hız} = 1150 \, \text{dev/dk} = 120,4 \, \text{rad/s}$$

$$k\Phi = \frac{230 - 92 \cdot 0,155}{120,4} = 1,792 \quad [\text{N.m} / \text{A}]$$

$$Z = [(120 \cdot \pi \cdot 4,8 \cdot 10^{-3})^2 + 0,155^2]^{1/2} = 1,816 \, \Omega$$

$$\tan\varphi = \frac{120 \cdot \pi \cdot 4,8 \cdot 10^{-3}}{0,155} = 11,67$$

$$\varphi = 85,10^\circ = 1,485 \, \text{rad}$$

Denklem 3.9 da α 'nın $\alpha + \pi / 2$ ile ve β 'nin $\alpha + 2\pi / 3$ ile değiştirilmesi ve değerlerin yerleştirilmesi halinde aşağıdaki eşitlik bulunur.

$$162,0 \sin(\alpha + 34,9) - 0,9923\omega_m - 148,1 \sin(\alpha - 25,1) = 0$$

$$155,5 \cos\alpha - 1,250\sin\alpha - 0,9923\omega_m = 0$$

Maksimum kırılma momentini yaklaşık olarak belirlemek için iki metot vardır. Metotların birinde $\omega_m = 0$, diğerinde $\alpha = 90^\circ$ kabul edilir. İkinci metodu kullanmak daha basit olacaktır. Böylece;

$$\omega_m = \frac{-1,250}{0,9923} = -1,260 \, \text{rad / s}$$

$$\overline{v}_t = 0$$

$$\overline{i}_a = \frac{1,260 \cdot 1,792}{0,155} = 14,57 \, \text{A}$$

$$\overline{T} = 1,792 \cdot 14,57 = 26,10 \, \text{N.m}$$

olarak bulunur. Sonuç olarak endüvi devresine 2,4 mH değerinde bir endüktans eklenerek kırılma momenti yaklaşık olarak yarıya inmiştir.

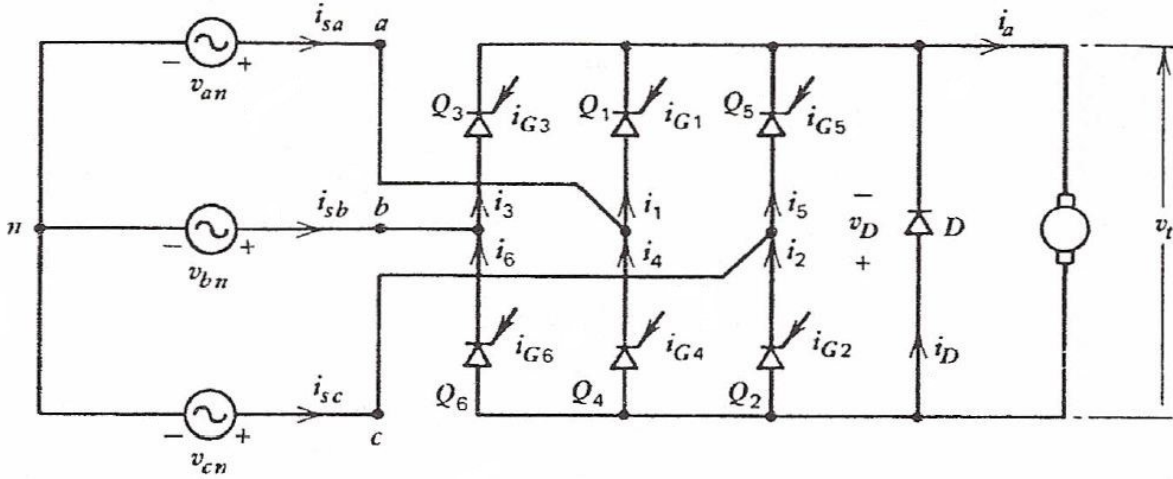
4.2. ÜÇ FAZLI SERBEST GEÇİŞ DİYOTLU DOĞRULTUCU

4.2.1. Sadece Serbest Geçiş

Eğer bir serbest geçiş diyotu Şekil 4.1' deki doğrultucu çıkışı uçlarına bağlanırsa, Şekil 4.5' deki devre elde edilir. Bu devrede v_t negatif bir değer almaz ve çalışma karakteristiğinde birinci bölgeye karşılık gelir. Şekil 4.6' da i_a 'nın sürekli olması ve serbest geçiş diyotundan akım akması halindeki devre değişkenleri ve dalga şekilleri görülmektedir. $\bar{v}_t$ 'nin azalmasıyla birlikte motor hızı da düşer.

Bu devrede $v_D = -v_t$ ' dir ve eğer akım sürekli ise ve $v_t > 0$ ise diyottan akım akmaz, böylece dönüştürücü diyot yokmuş gibi çalışır. Bu şartlar $\alpha < \pi / 3$ değeri için 4.3 denklemine şu şekilde yansır;

$$\bar{v}_t = \frac{3\sqrt{2}V}{\pi} \cos \alpha \quad [\text{V}] \quad 0 < \alpha < \pi / 3 \quad [\text{rad}] \quad (4.10)$$



Şekil 4.5 Serbest geçiş diyotlu üç fazlı köprü doğrultucu.

Bununla beraber eğer $\alpha > \pi / 3$ ise v_t ve v_D $\pi < \omega t < \alpha + 2\pi / 3$ aralığında sıfır olur ve Şekil 4.6' da görüldüğü gibi diyottan akım akar. Ayrıca $\alpha > 2\pi / 3$ değerinde $v_t = 0$ olur. Bu çalışma şartlarında,

$$\begin{aligned} \bar{v}_t &= \frac{3}{\pi} \int_{\alpha+\pi/3}^{\pi} \sqrt{2} \cdot V \cdot \sin(\omega t) \cdot d(\omega t) \\ &= \frac{3\sqrt{2}V}{\pi} \left[1 + \cos \left(\alpha + \frac{\pi}{3} \right) \right] \quad [\text{V}] \quad \pi / 3 < \alpha < 2\pi / 3 \quad [\text{rad}] \end{aligned} \quad (4.11)$$

Bu doğrultucunun kontrol aralığı $0 < \alpha < 2\pi/3$ radyandır.

Bu sisteme 4.4'den 4.6' ya kadar denklemler de uygulanabilir, ama 4.10 ve 4.11 eşitliklerinin ışığında 4.7 eşitliği ile yer değiştirmesi gerekir.

$$\omega_m = \frac{\bar{v}_t}{k\Phi} - \frac{R_a \bar{T}}{(k\Phi)^2} \quad [rad/s] \quad (4.12)$$

Bu aslında i_a 'nın kesintili veya sürekli olup olmadığını belirlemek için istenir.

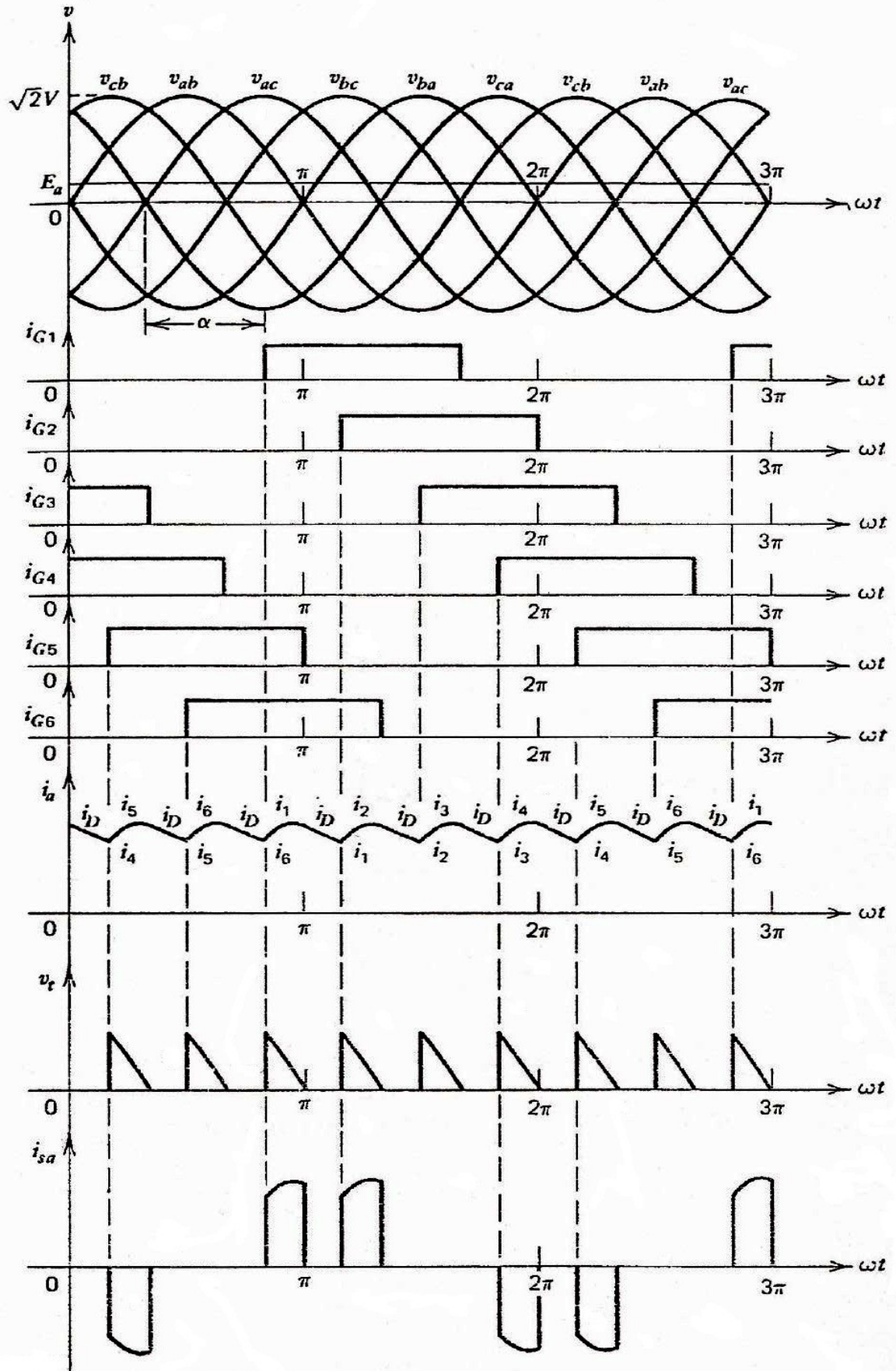
Sürekli veya kesintili akım çalışmada sınır şartları $\pi/3 < \alpha < 2\pi/3$ aralığında olup Şekil 4.6' da görülebilir. Burada eğer yük momenti çok azalırsa i_a yatay eksene değene kadar düşer. Ortalama akımın altındaki seviyeler için iki olası çalışma vardır. Eğer ortalama akım çok düşükse i_a akım darbesi i_{G1} tarafından başlatılır ve $wt = \pi$ anından önce sifıra düşer ve sonra diyottan akım akmaz. Ortalama akımın yüksek olduğu durumda i_a akım darbesi i_{G1} tarafından başlatılır ve $\alpha + \pi/3 < wt < \pi$ aralığında sürer ve bu aralığın sonunda sifıra ulaşmaz. i_D diyot akımı $\pi < wt < \alpha + 2\pi/3$ aralığında akar ve i_{G2} ' nin başlayacağı diğer bir i_a akım darbesine kadar sürer. Eğer $wt = \alpha + 2\pi/3$ olmadan önce i_D sifıra düşerse, bu belirlenmelidir. Bölüm 3.3 deki işlemin benzeri olarak;

$$\begin{aligned} i_a &= \frac{\sqrt{2}V}{Z} \sin(wt - \varphi) - \frac{k\Phi\omega_m}{R_a} \\ &+ \left[\frac{k\Phi\omega_m}{R_a} - \frac{\sqrt{2}V}{Z} \sin\left(\alpha + \frac{\pi}{3} - \varphi\right) \right] e^{(\alpha + \frac{\pi}{3} - wt)/\tan\varphi} \quad [A] \\ \alpha + \pi/3 &< wt < \pi \quad [rad] \end{aligned} \quad (4.13)$$

$$\begin{aligned} i_{a\pi} &= \frac{\sqrt{2}V}{Z} \sin \varphi - \frac{k\Phi\omega_m}{R_a} \\ &+ \left[\frac{k\Phi\omega_m}{R_a} - \frac{\sqrt{2}V}{Z} \sin\left(\alpha + \frac{\pi}{3} - \varphi\right) \right] e^{(\alpha - \frac{2\pi}{3})/\tan\varphi} \quad [A] \end{aligned} \quad (4.14)$$

$$i_{a\pi b} = \frac{k\Phi\omega_m}{R_a} [e^{(\alpha - \frac{\pi}{3})/\tan\varphi} - 1] \quad [A] \quad (4.15)$$

ve sınır şartları için $I_{a\pi} + I_{a\pi b} = 0$ 'dır.



Şekil 4.6 Şekil 4.5 değişkenleri için dalga şekilleri.

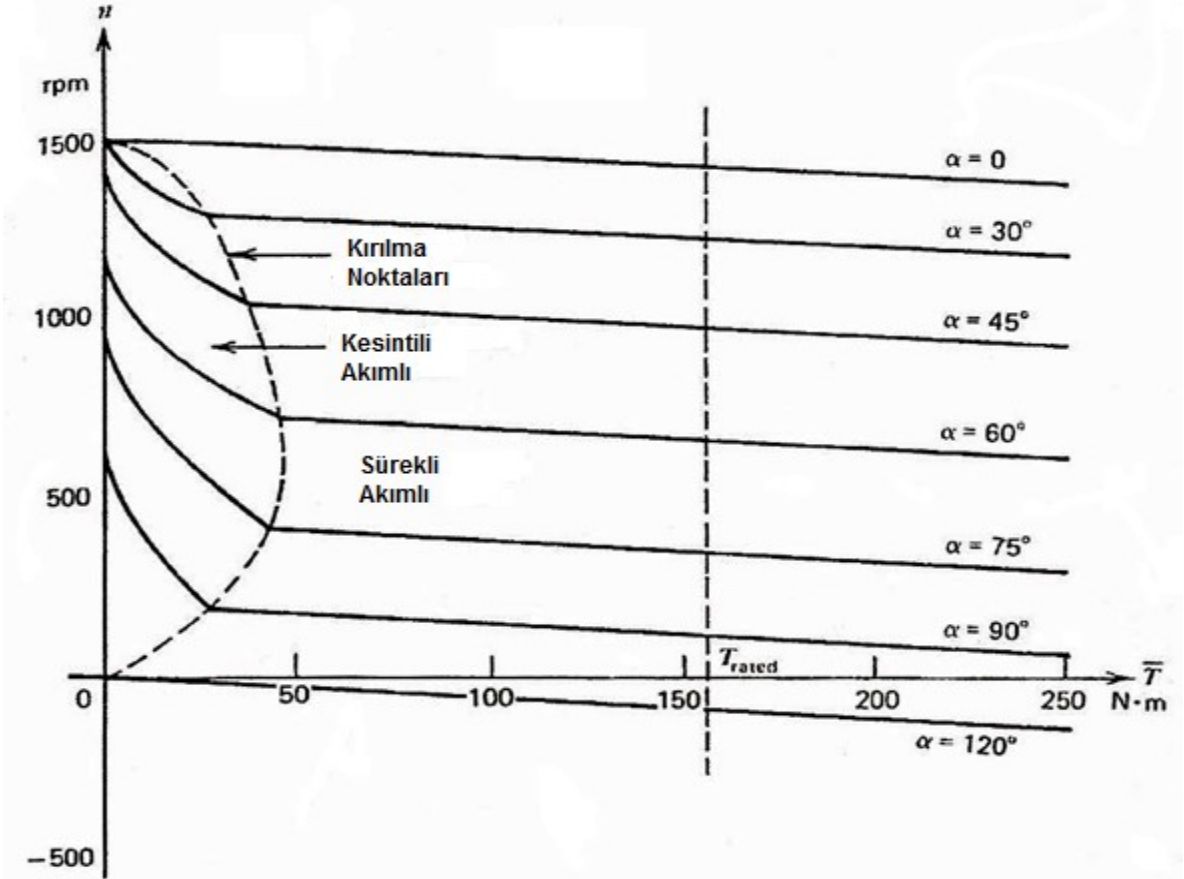
$$\frac{\sqrt{2}V}{Z} \sin \varphi - \frac{k\Phi \omega_m}{R_a} \varepsilon^{(\alpha - \frac{\pi}{3}) / \tan \varphi} + \left[\frac{k\Phi \omega_m}{R_a} - \frac{\sqrt{2}V}{Z} \sin \left(\alpha + \frac{\pi}{3} - \varphi \right) \right] \varepsilon^{(\alpha - \frac{2\pi}{3}) / \tan \varphi} = 0 \quad (4.16)$$

Seçilmiş bir α değeri için, ω_m 4.16 eşitliğinden hesaplanabilir ve kırılma noktası iç momentini 4.12 eşitliğinden elde edilebilir. ω_m eksenindeki $\bar{T} = 0$ noktası,

$$\bar{v}_t = \sqrt{2}V \quad [\text{V}] \quad 0 < \alpha < \pi / 6$$

$$\bar{v}_t = \sqrt{2} \cdot V \cdot \sin(\alpha + \frac{\pi}{3}) \quad [\text{V}] \quad \pi / 6 < \alpha < \pi \quad (4.17)$$

$$\omega_m = \frac{\bar{v}_t}{k\Phi} \quad [\text{rad/s}] \quad (4.18)$$



Şekil 4.7 Serbest geçiş diyotlu bir doğrultucu için hız-moment eğrileri.

Yukarıdaki işlem, Şekil 4.4' te bahsedilen sistemdeki köprü dönüştürücüye bir serbest geçiş diyotu eklenmesi ve tek bölge çalıştırılmasıyla gerçekleştirilmiştir. Sonuçları da Şekil 4.7' de gösterilmiştir. Süreksiz akım çalışmayı ifade eden birinci çalışma bölgesi Şekil 4.4' ten daha küçüktür, fakat maksimum kırılma noktası momentini biraz azalmıştır. Bununla birlikte kırılma noktası momentindeki azalma düşük hızda birçok yükün hız-moment karakteristiğine uyabilir ve bütün hız aralıklarında sürekli akım çalışma ile sonuçlanabilir.

Örnek 4.2

230V, 1750d/d endüvi parametreleri, $R_a = 0,0415 \Omega$, $L_a = 1,10 \text{ mH}$, tam yükte endüvi akımı 117A ve çıkış gücü; $50 \cdot 746 = 37,30 \text{ kW}$ bir motorun endüvisi üç fazlı serbest geçiş diyotlu bir köprü doğrultucu ile beslenmektedir. AA kaynağın fazlar arası gerilimi 208 V ve frekansı 60 Hz dir. Motor ve yük mekanizmasının kayıp momentleri hızla doğru orantılıdır ve mekanizma kayıp momentini motorun 230 V DA kaynağından beslenmesinin 1,25 katıdır. Motorun kayıp momentini, doğrultucudan işletildiği zaman % 25 oranında artmaktadır. Alan ikazı 230 V DA kaynaktan nominal çalışma koşullarında beslenmektedir.

Motor 600 d/d ile çalışırken ve çalışma momentini motor momentinin % 25 ine eşitken endüvi akımının sürekli olup olmadığını bulunuz.

$$\text{Nominal hız} = 1750 \text{ d/d} = 183,3 \text{ rad/s}$$

$$k\Phi = \frac{230 - 0,0415 \cdot 177}{183,3} = 1,215 \quad \left[\frac{\text{Nm}}{\text{A}} \right]$$

$$Z = [(120 \cdot \pi \cdot 1,10 \cdot 10^{-3})^2 + 0,0415^2]^{1/2} = 0,4168 \Omega$$

$$\tan\varphi = \frac{120 \cdot \pi \cdot 1,10 \cdot 10^{-3}}{0,0415} = 9,993$$

$$\varphi = 84,29^\circ = 1,417 \text{ rad}$$

$$\text{Nominal moment} = \frac{50 \cdot 746}{183,3} = 203,5 \text{ Nm}$$

Bu çalışma için;

$$\text{giriş gücü} = 230 \cdot 177 = 40,71 \cdot 10^3 \text{ W}$$

$$\text{çıkış gücü} = 50 \cdot 746 = 37,30 \cdot 10^3 \text{ W}$$

$$R_a I_a^2 = 0,0415 \cdot 177^2 = 1,3 \cdot 10^3 \text{ W}$$

$$\text{dönme kayıpları} = (40,71 - 37,30 - 1,30) \cdot 10^3 = 2110 \text{ W}$$

$$\text{motor kayıp momentini} = \frac{2110}{183,3} = 11,51 \text{ N.m}$$

$$\text{endüvi kayıp momenti} = 1,25 \cdot 11,51 = 14,39 \quad N.m$$

Nominal hızda;

$$T_{kayıp} = 2 \cdot 14,39 = 28,78 \quad N.m$$

$$28,78 = B \cdot 183,3$$

$$B = 0,1570$$

Herhangi bir hızda;

$$T_{kayıp} = 0,1570 \cdot \omega_m \quad N.m$$

$$600 \text{ d/d} = 62,83 \text{ rad/s' de;}$$

$$\begin{aligned} \text{ortalama iç moment } \bar{T} &= 203,5 \cdot 0,25 + 0,1570 \cdot 62,83 \\ &= 60,74 \quad N.m \end{aligned}$$

$$\bar{i}_a = \frac{60,74}{1,215} = 49,99 \quad A$$

$$\bar{v}_t = 49,99 \cdot 0,0415 + 62,83 \cdot 1,215 = 78,41V$$

akımın sürekli olduğu ve $\alpha < \pi/3$ varsayımına göre denklem 4.10' dan;

$$\alpha = \cos^{-1} \frac{78,41}{3\sqrt{2} \cdot 208} = 73,39^\circ$$

Bu varsayım uygun değildir, denklem 2.10'dan;

$$\alpha = \cos^{-1} \left(\frac{78,41 \cdot \pi}{3\sqrt{2} \cdot 208} - 1 \right) - 60^\circ = 76,12^\circ = 1,329 \text{ rad}$$

$\alpha = 76,12^\circ$ ve $\omega_m = 62,83 \text{ rad / s}$ değerleri ve diğer değerler denklem 4.16'nın sol tarafına yerleştirilip hesaplama yapılırsa sonuç +45,99 olarak bulunur ve bu pozitif değer; akımın sürekli olduğunu gösterir.

4.2.2. Faydalı Frenlemeli Serbest Davranım

Tek fazlı köprü doğrultucudaki gibi serbest geçiş diyotu kullanmaya ihtiyaç duyulmadan $\bar{v}_t - \bar{i}_a$ diyagramının birinci ve dördüncü bölgelerinde serbest davranım elde edilebilir. Gerekli kapı akım darbeleri yeniden düzenlenip Şekil 4.8 ve Şekil 4.9' da gösterilmiştir.

Şekil 4.8' de $\alpha = \pi/2$ ve Şekil 4.2' de olduğu gibi sınırlanmış kapı sinyalleriyle $\bar{v}_t$ ve i_a sıfıra eşit olacaktır. Bununla birlikte Şekil 4.8' de gösterilen uzatılmış kapı sinyallerinin etkisi tristörlerin ikisinden geçen serbest geçiş yollarını sağlamaktadır, bu yüzden v_t negatife gitmek istediği zaman kaynak hattından akım akmaz ve v_t dalgaşeklinin negatif kısmı yok olur. Böylece, örneğin $wt = \alpha + \pi/3$ anında Q_1 iletimde olur ve akım Q_1 motor endüvisi ve Q_6 'dan akar. $wt = \pi$ anında v_{ab} negatife gider ve Q_4 kapılandığı için Q_6 komüte edilir ve yük akımı bundan sonra, $wt = \alpha + 2\pi/3$ anına kadar, Q_2 iletime geçtiği zaman Q_1 ve Q_4 üzerinden serbest geçiş yapar. Ve $v_{ac} > 0$ olduğu için Q_4 komüte olur ve akım Q_1 , motor endüvisi ve Q_2 üzerinden kaynaktan akar ve olay böylece devam eder. i_a ' ya karşılık gelen tristör akımları Şekil 4.9 da i_a dalga şeklinde gösterilmiştir ve endüviden geçen kaynak akımını süren potansiyel farkları v_t dalga şekli üzerinde işaretlenmiştir. i_{sa} dalga şekli, Şekil 4.6' da gösterilen dalga şekliyle özdeşdir.

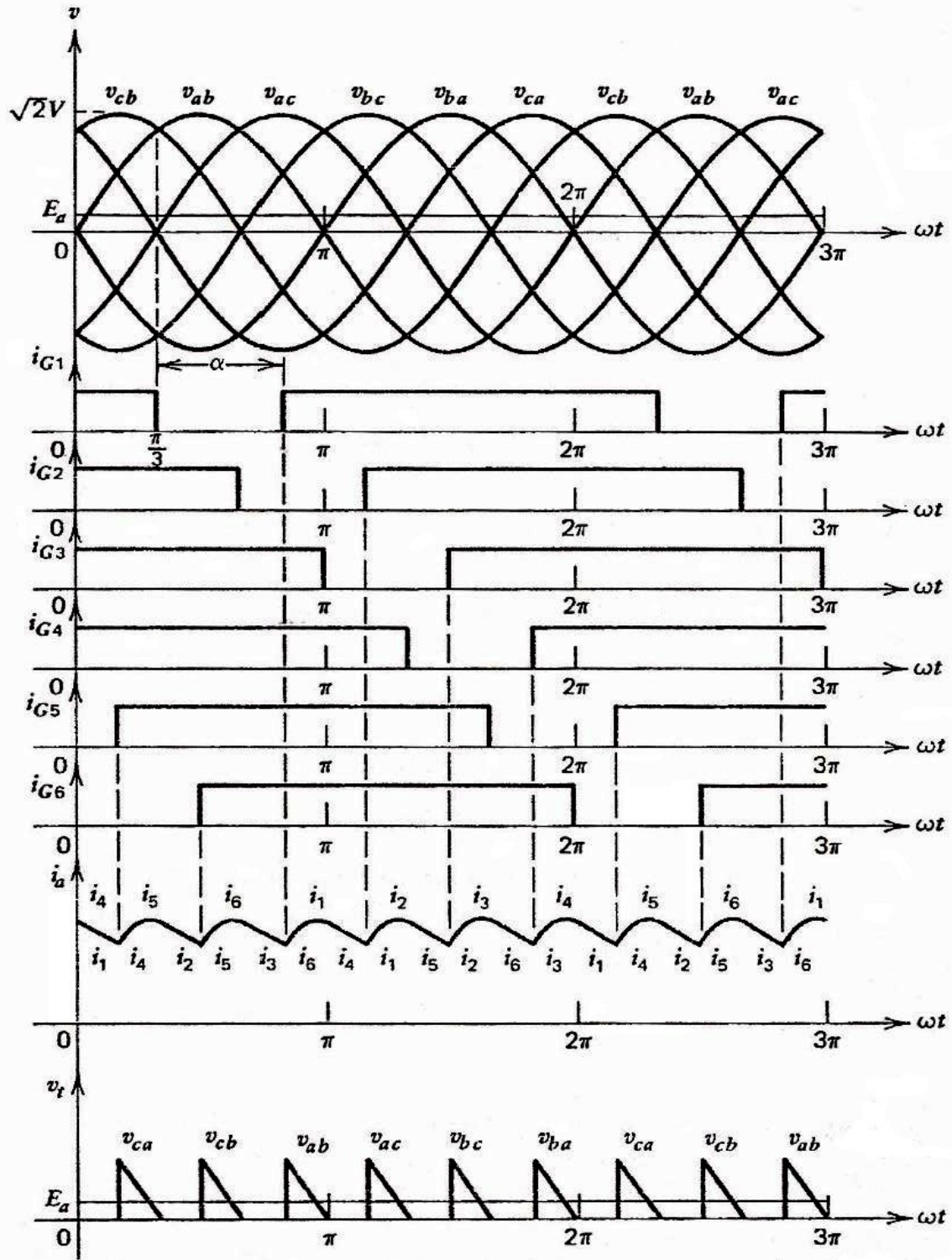
Şekil 4.5' deki devrede olduğu gibi $0 < \alpha < \pi/3$ için serbest geçiş mümkün değildir. Zira kaynak akımı darbesinin sonundan önce serbest geçiş için v_t ' nin meydana gelmesi sıfıra düşmelidir. Şekil 4.2 bunun meydana gelmediğini gösterir. Böylece birinci bölgede çalışma için v_t denklem 4.10 ve denklem 4.11 ile α 'nın bir fonksiyonu olarak ifade edilir. 4.11 denklemi için aralığı $\pi/3 < \alpha < (2\pi/3 - wt)$ değerine biraz azaltılmalıdır. Bu en üst sınırın sebebi daha sonraki paragraflarda dördüncü bölgedeki çalışma tarif edildiği zaman gösterilecektir.

Dördüncü bölgedeki serbest geçişli çalışma Şekil 4.9'da çizilmiştir. Kapı sinyallerinin bir uçtan bir uca uzunluğu $(4\pi/3 + wt_q)$ olarak sağlanır, fakat her bir tetikleme sinyalinin sonunda $\pi/3$ 'ten itibaren başlayan bir kırılma görülür. Gecikme açısı α şimdi $wt = \pi/3$ 'ten i_{g1} sinyalinin ikinci bölümünün başlangıcına kadar değişir. Sinyalin birinci bölümünün genişliği $\pi + wt_q$ ' ya kadar sürer.

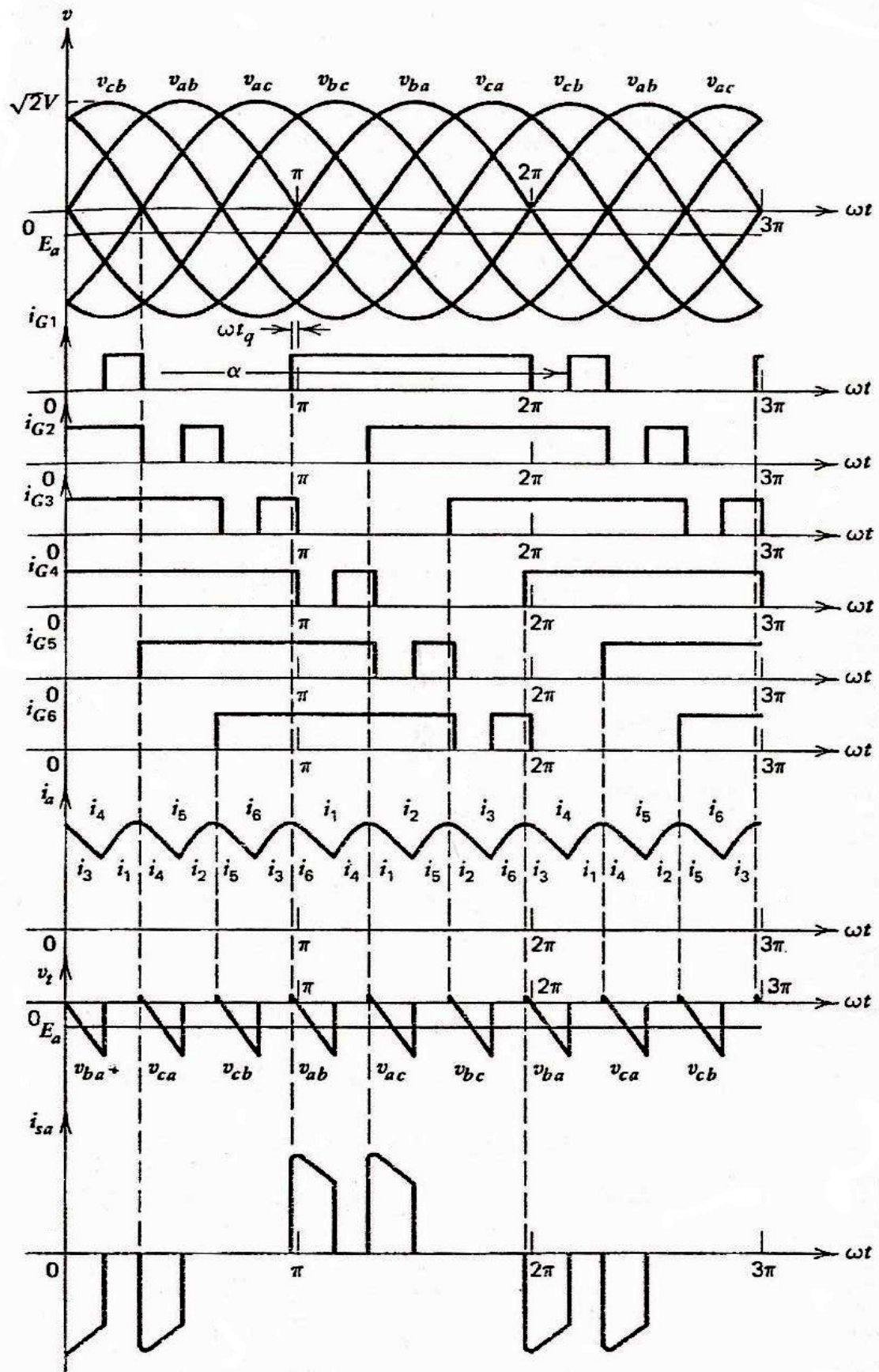
$wt = \pi - wt_q$ noktasında Q_1 tetiklenir. Çünkü $(v_{ab} + E_a) < 0$ olduğunda Q_1 ve Q_6 iletimdedir. $wt = \alpha - \pi$ noktasında Q_4 tetiklendiğinde $v_{ab} < 0$ olur ve Q_6 konum değiştirir. Q_1 ve Q_4 tristörleri serbest geçiş akımını aktarırlar. Q_2 tetiklendiğinde $v_{ac} > 0$ olur ve Q_4 , wt_q aralığında konum değiştirir. Ardından Q_5 , Q_1 'in konumunu değiştirir ve çalışma bu şekilde devam eder. Bu çalışma için önceki paragrafta açıklanmış olan gecikme açısı α , $5\pi/3 < \alpha < 2\pi$ bölgesi içerisinde seçilmelidir. Bu bölgenin üst limitinde her tetikleme sinyalinin ikinci bölümünde serbest geçiş akımı akar.

$$\begin{aligned}\bar{v}_t &= \frac{3}{\pi} \int_{2\pi}^{\alpha+\pi/3} \sqrt{2} \cdot V \cdot \sin(wt + \pi) \cdot d(wt) \\ &= \frac{3\sqrt{2}V}{\pi} \left[\cos\left(\alpha + \frac{\pi}{3}\right) - 1 \right] \quad [\text{V}] \quad 5\pi/3 < \alpha < 2\pi \quad [\text{rad}] \quad (4.19)\end{aligned}$$

Dördüncü bölge serbest geçişsiz çalışmaya ait dalga şekilleri Şekil 4.3 de gösterilmiştir ve Denklem 4.10 $2\pi/3 < \alpha < \pi - wt$ aralığında uygulanabilir.



Şekil 4.8 Serbest davranımlı üç fazlı doğrultucu. Birinci bölgede çalışma.



Şekil 4.9 Serbest davranımlı üç fazlı doğrultucu. Dördüncü bölgede çalışma.

$$\begin{aligned}\bar{v}_t &= \frac{3}{\pi} \int_{2\pi}^{\alpha + \pi/3} \sqrt{2} \cdot V \cdot \sin(wt + \pi) \cdot d(wt) \\ &= \frac{3\sqrt{2}V}{\pi} \left[\cos\left(\alpha + \frac{\pi}{3}\right) - 1 \right] [V] \quad \frac{5\pi}{3} < \alpha < 2\pi \text{ rad}\end{aligned} \quad (4.19)$$

Dördüncü bölgeye ait serbest geçişsiz çalışmanın dalga şekilleri Şekil 4.3’de gösterilmiştir ve 4.10’daki denklem $\frac{2\pi}{3} < \alpha < \pi - wt_q$ aralığında uygulanabilir.

4.3. DOĞRULTUCU TRANSFER FONKSİYONLARI

Denk. 3.32 ile verilen tek fazlı doğrultucunununkine benzeyen üç fazlı doğrultucuların lineer transfer fonksiyonları elde edilecektir. Bu altı darbeli bir dönüştürücüdür ve t_d ölü zamanı çift darbeli tek fazlı dönüştürücülerdeki ölü zamanın üçte bir kadardır. Önceki bölümlerde bahsedilmiş olan üç değişik çalışmasının her biri için kazanç faktörleri tanımlanabilir. v_t

4.3.1. Serbest Geçişsiz Doğrultucu

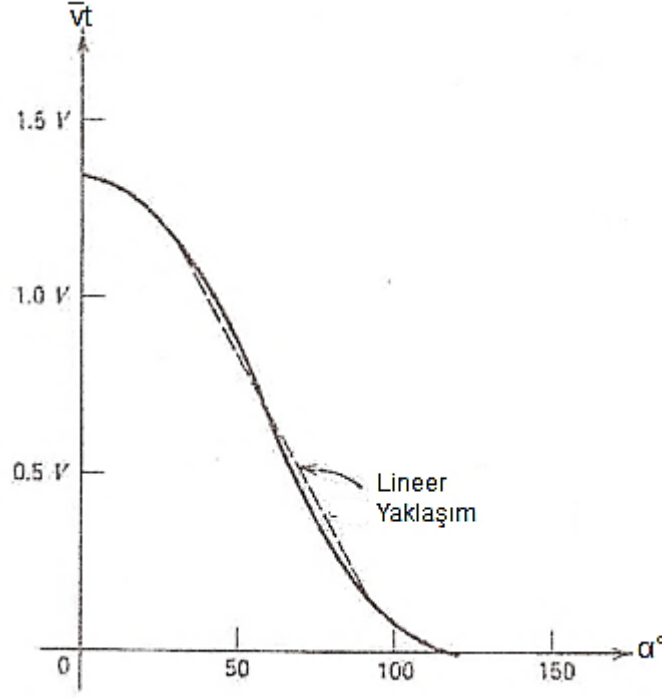
Denklem 4.3, Şekil 4.1, 4.2, 4.3 ile verilen şekillerde, $0 < \alpha < \pi - wt$ aralığında v_t ve α arasındaki bir bağıntıyı gösterir. Tatmin edici lineer bir yaklaşım için α , $30^\circ < \alpha < 150^\circ$ aralığında sınırlandırılırsa;

$$k = \frac{\Delta v_t}{-\Delta \alpha} = \frac{3\sqrt{2}V}{\pi} \frac{(\cos 30^\circ - \cos 150^\circ)}{150^\circ - 30^\circ} = 0,0195V \quad [V/deg] \quad (4.20)$$

4.3.2. Serbest Geçiş Diyotlu Doğrultucu

Şekil 4.5 ve 4.6 için Denklem 4.3 ve $4.100 < \alpha < \pi / 3$ aralığında α ve v_t arasındaki bağıntıyı gösterir, ayrıca Denklem 4.11 de $\pi/3 < \alpha < 2\pi/3$ aralığını sağlar. Şekil 4.10 da gösterildiği gibi çalışma alanının tamamında $\bar{v}_t$, α ’nın bir fonksiyonudur. Eğer α değeri $\pi / 6 < \alpha < \pi / 2$ aralığında sınırlandırılırsa tatmin edici lineer bir yaklaşım elde edilebilir. Denklem 4.10 ve 4.11 den

$$k = \frac{\Delta v_i}{-\Delta \alpha} = \frac{3\sqrt{2} V}{\pi} \frac{[(\cos 30^\circ - (1 + \cos 150^\circ))]}{90^\circ - 30^\circ} = 0.0165 V \quad [V/deg] \quad (4.21)$$



Şekil 4.10. Serbest geçiş diyotlu doğrultucuda α 'nın bir fonksiyonu olarak v_t

Şekil 4.8 ve 4.9 da tarif edildiği gibi ve şekil 4.1, 4.8 ve 4.9 için v_t ile α arasındaki bağıntı yaklaşık olarak lineer tanımlanamaz. Bu konfigürasyon için tetikleme sinyalleri çok karışık olduğu için, önceden üretilmiş mikroişlemciler yardımıyla elde edilebilir. Bu sonuçtan da anlaşılacağı gibi v , doğrudan α 'nın bir fonksiyonu olarak belirtilemez. Bu nedenle α 'ya bağlı bir değişken olarak α' tanımlanır ve α ile α' arasındaki bağıntılar:

$$0 < \alpha < \frac{\pi}{3}$$

$$\alpha' = \alpha$$

$$0 < \alpha' < \frac{\pi}{3}$$

$$\frac{\pi}{3} < \alpha < \frac{2\pi}{3}$$

$$\alpha' = \frac{\alpha}{3} + \frac{\pi}{6}$$

$$\frac{\pi}{3} < \alpha' < \frac{\pi}{2}$$

$$\frac{5\pi}{3} < \alpha < 2\pi$$

$$\alpha' = \frac{\alpha}{2} - \frac{\pi}{3}$$

$$\frac{\pi}{2} < \alpha' < \frac{2\pi}{3}$$

$$\frac{2\pi}{3} < \alpha < \pi$$

$$\alpha' = \alpha$$

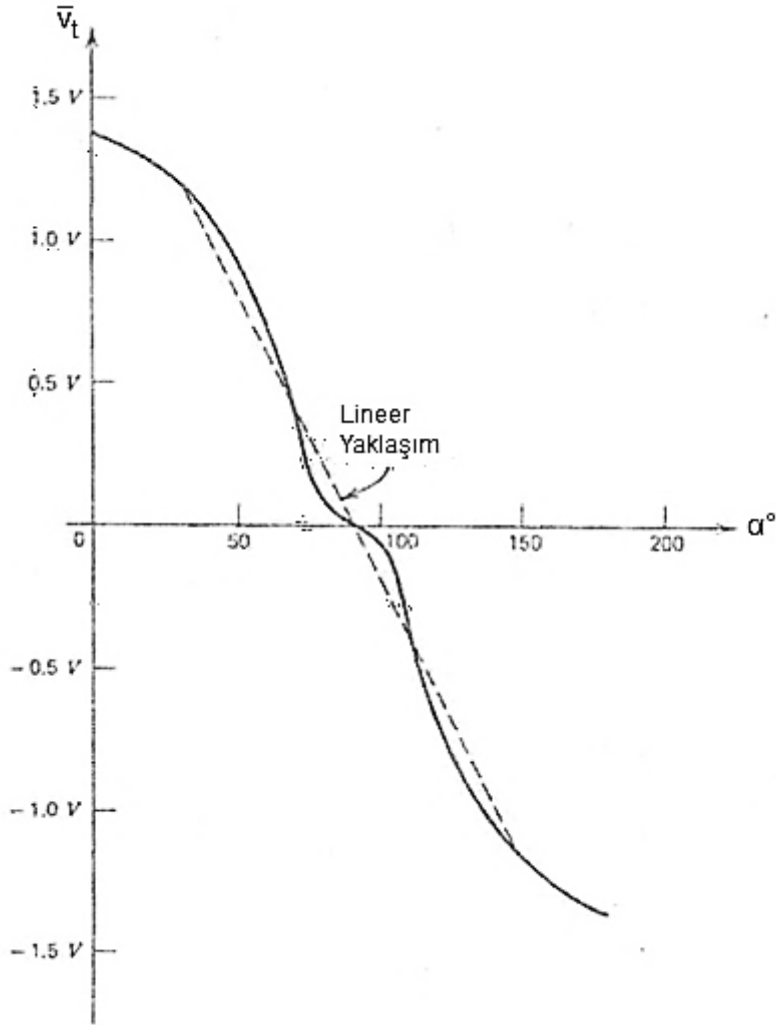
$$\frac{2\pi}{3} < \alpha' < \pi$$

$$(4.22)$$

Bu tanımlama ile $\bar{v}_t$ ile α' nün bir fonksiyonu olan, Şekil 4.11 de gösterilen eğri elde edilir.

α' , kabul edilebilir lineer bir yaklaşım sağlayan $\pi/6 < \alpha' < 5\pi/6$ aralığında sınırlandırılırsa; aşağıdaki istisna dışında serbest geçişsiz doğrultucu için benzer bir transfer fonksiyonu elde edilir.

$$k = \frac{\Delta v_t}{-\Delta \alpha} \quad [V/deg] \quad (4.23)$$



Şekil 4.11. 4.22 Denklemleriyle tanımlanan α' nün bir fonksiyonu olarak $\bar{v}_t$

4.4. YÜK VE KAYNAK DEVRESİNDEKİ GÜÇ

Doğrultucular ile beslenen doğru akım motorlarının kesintisiz bir akımla çalışması arzu edilir. İncelemeler, endüvisialtı darbeli doğrultucu ile beslenen bir motorun geniş bir çalışma aralığında kesintisiz bir endüvi akımına sahip olduğunu gösterir. Bu, serbest geçiş diyotu veya endüvi devresine küçük bir endüktans ilave edilmesiyle düzeltilebilir. Tek fazlı dönüştürücüden geçen akımın sadece sürekli değil, yaklaşık olarak sabit olduğu da kabul edilir.

4.4.1. Serbest Geçişsiz Doğrultucu

Şekil 4.1’de üç fazlı köprü tip kontrollü bir doğrultucunun bağlantı şeması verilmiştir.

Şekil 4.2 ve 4.3 deki $\bar{v}_t$ dalga şekli seriye açılabilir.

$$v_t = \bar{v}_t + \sum_{n=1}^{\infty} c_n \cdot \sin(n \omega t + \vartheta_n) \quad [V] \quad (4.24)$$

Altı darbeli doğrultucuda $\bar{v}_t$ geriliminin temel frekansı $6 \omega \text{ rad/sn}$ dir. Böylece $\bar{v}_t$ nin bütün harmonikleri, m bir tam sayı olmak üzere $n = 6m$ olarak belirtilebilir

$$c_n = [a_n^2 + b_n^2]^{1/2} \quad [V] \quad (4.25)$$

$$\vartheta_n = \tan^{-1} \frac{a_n}{b_n} \quad [\text{rad}] \quad (4.26)$$

$$a_n = \frac{6}{\pi} \int_{\alpha+\pi/3}^{\alpha+2\pi/3} \bar{v}_t \cdot \cos(n\omega t) \cdot d(\omega t) \quad [V] \quad n = 6, 12, 18... \quad (4.27)$$

$$b_n = \frac{6}{\pi} \int_{\alpha+\pi/3}^{\alpha+2\pi/3} \bar{v}_t \cdot \sin(n\omega t) \cdot d(\omega t) \quad [V] \quad n = 6, 12, 18... \quad (4.28)$$

En düşük frekans harmoniği için $n = 6$ ’dır ve

$$\alpha_6 = \frac{6\sqrt{2} V}{\pi} \left(\frac{\cos 7\alpha}{14} - \frac{\cos 5\alpha}{10} \right) \quad [V] \quad (4.29)$$

$$b_6 = \frac{6\sqrt{2} V}{\pi} \left(\frac{\sin 7\alpha}{14} - \frac{\sin 5\alpha}{10} \right) \quad [V] \quad (4.30)$$

Şekil 4.12 c_6/V' nin α açısına bağlı olarak değişimi verilmiştir. Şekil 3.25 tek fazlı doğrultucuda bu altıncı harmoniğin ikinci harmonikten daha küçük olduğunu gösterir.

Tam kontrollü tek fazlı sistemde, $\alpha = \pi/2$ de harmonikler en büyük değerlerini alırlar. Bu en kötü durumda,

$$\alpha_6 = 0 \quad b_6 = c_6 = -0,463 \text{ [V]} \quad \alpha = \frac{\pi}{2} \text{ [rad]} \quad (4.31)$$

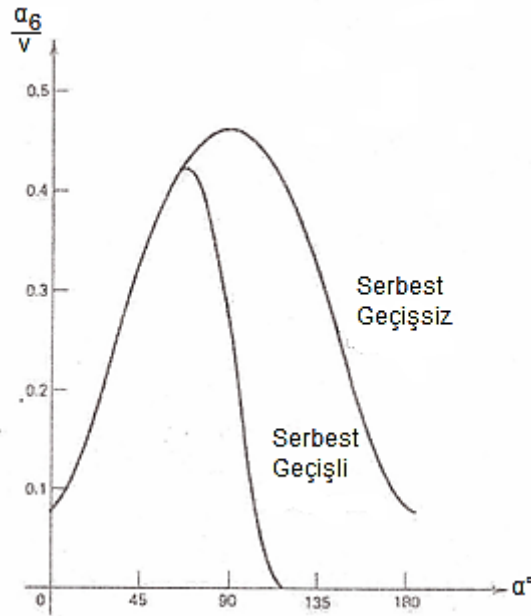
Eğer $6 \omega L_a \gg R_a$ kabul edilirse, endüvi akımı yaklaşık olarak,

$$i_a = \bar{i}_a + \frac{0.463 \cdot V}{6 \cdot \omega \cdot L_a} \cdot \cos(6\omega t) \text{ [A]} \quad (4.32)$$

$\alpha = 0$ olduğunda dönüştürücüden maksimum çıkış akımı alınır, bu durum için $b_6 = 0$ ve,

$$\alpha_6 = c_6 = -0.0772V \text{ [V]} \quad \alpha = 0 \quad (4.33)$$

Bu durumda da harmoniğin genliği diyotlu doğrultucudaki ikinci harmoniğin genliğinden çok küçüktür.



Şekil 4.12. Üç fazlı köprü doğrultucu için c_6/V' nin α' ya bağlı değişimi α' 'nın herhangi bir değeri için altıncı harmoniğin efektif değeri,

$$I_{R6} = \frac{c_6}{6\sqrt{2} \omega L_a} \text{ [A]} \quad (4.34)$$

Endüvi akımının efektif değeri,

$$I_R = [(\bar{i}_a)^2 + I_{R6}^2]^{1/2} \quad [A] \quad (4.35)$$

Sistemin dizaynı için güç kaynağından çekilen i_{sa} akımının bilinmesi gerekir. Bu akım değişim Şekil4.2 den de görüldüğü gibi simetriktir ve harmonik bulundurmaz. Eğer endüvi devresi endüktansının yeterince büyük olduğu kabul edilirse i_{sa} $2\pi/3rad$ genlikli kare dalgalarından oluşur. Bu hat akımı dalga şekli seriyeyeçılırsa,

$$i_{sa} = \sum_n \frac{4 \bar{i}_a}{n\pi} \cos\left(\frac{n\pi}{6}\right) \sin \left[n \left(\omega t - \alpha - \frac{\pi}{6} \right) \right] \quad [A] \quad n = 1, 3, 5 \dots \quad (4.36)$$

i_{sa} 'nın temel bileşeninin efektif değeri ise,

$$I_{sa1} = \frac{\sqrt{6}}{\pi} \bar{i}_a \quad [A] \quad (4.37)$$

i_{sa} 'nın yaklaşık dalga şeklinin efektif değeri ise,

$$I_{sa} = \left[\frac{2}{\pi} \int_0^{\pi/3} (\bar{i}_a)^2 d(\omega t) \right]^{1/2} = \sqrt{\frac{2}{3}} \bar{i}_a \quad [A] \quad (4.38)$$

ve kaynak akımının dalgalılık faktörü,

$$K_i = \frac{I_{sa}}{I_{sa1}} = 1,047 \quad (4.39)$$

v_{an} faz-nötr gerilimi ile i_{sa} 'nın temel bileşen bileşeni arasındaki faz açısının kosinüs değeri temel güç faktörüdür. 4.36 denklemindeki faz açısı ise v_{ab} fazlar arası gerilimiyle, akımı bileşeni arasındaki açıdır, o halde,

$$GF_1 = \cos \alpha \quad (4.40)$$

Buradan giriş gücü,

$$P_{in} = \sqrt{3} V I_{sa1} \cos \alpha = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} \bar{i}_a V \cos \alpha \quad [W] \quad (4.41)$$

Endüvi devresi uçlarına aktarılmış güç,

$$P_a = \bar{v}_t \bar{i}_a = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} V \bar{i}_a \cos \alpha = P_{in} \quad [W] \quad (4.42)$$

Böylece görünür güç faktörü,

$$\text{Görünür } GF = \frac{\bar{v}_t \bar{i}_a}{\sqrt{3} V I_{sa}} = \frac{\bar{v}_t}{\sqrt{2} V} = \frac{3}{\pi} \cos \alpha = 0.955 \cos \alpha \quad (4.43)$$

Tekrar, $\alpha > \pi/2$ olması durumunda enerji akışı yön değiştirecektir.

4.4.2. Serbest Geçişli Doğrultucu

Şekil 4.6 ve 4.8 de v_t-i_a diyagramının birinci bölgesinde çalışan serbest geçiş diyotlu doğrultucuya ait dalga şekilleri verilmiştir. v_t gerilimi denklem 4.24 deki gibi seriye açılırsa,

$$a_n = \frac{6}{\pi} \int_{\alpha+\pi/3}^{\pi} \bar{v}_t \cos(nwt) d(wt) \quad [V] \quad n = 6, 12, 18... \quad (4.44)$$

$$b_n = \frac{6}{\pi} \int_{\alpha+\pi/3}^{\pi} \bar{v}_t \sin(nwt) d(wt) \quad [V] \quad n = 6, 12, 18... \quad (4.45)$$

En düşük frekanslı harmonik,

$$\alpha_6 = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} V \left[\frac{1 + \cos 7(\alpha + \pi/3)}{7} - \frac{1 + \cos 5(\alpha + \pi/3)}{5} \right] \quad [V] \quad (4.46)$$

$$b_6 = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} V \left[\frac{\sin 7(\alpha + \pi/3)}{7} - \frac{\sin 5(\alpha + \pi/3)}{5} \right] \quad [V] \quad (4.47)$$

Şekil 4.12 de c_6 / V 'nin α açısına bağlı olarak değişimi verilmiştir. Darbe sayısındaki artış, serbest geçiş diyotlu çalışmadaki etkiyi tek fazlı doğrultucuya nazaran azaltmaktadır. Serbest geçiş diyonunun çalışmasının kaynak akımına etkisi Şekil 4.6'daki i_{sa} dalga şeklinde

görülmektedir. Yine endüvi akımının sabit olduğu yaklaşımla yapılsa i_{sa} akımının seriyeye açılımı,

$$i_{sa} = \sum_{n=1,3,5,\dots} \frac{4 \bar{i}_a}{n\pi} \left[\cos \frac{n\alpha}{2} - \cos n \left(\frac{2\pi}{3} - \frac{\alpha}{2} \right) \right] \cdot \sin n \left(\omega t - \frac{\alpha}{2} - \frac{\pi}{3} \right) \quad [A] \quad (4.48)$$

i_{sa} 'nın temel bileşeninin etkin değeri,

$$I_{sa1} = \frac{2\sqrt{6} \cdot \bar{i}_a}{\pi} \cos \left(\frac{\alpha}{2} + \frac{\pi}{6} \right) \quad [A] \quad (4.49)$$

i_{sa} 'nın temel etkin değeri ise,

$$I_{sa} = \left[\frac{2}{\pi} \int_{\alpha-\pi/3}^{\pi/3} (-\bar{i}_a)^2 d(\omega t) \right]^{1/2} = \left[\frac{2}{\pi} \left(\frac{2\pi}{3} - \alpha \right) \right]^{1/2} \bar{i}_a \quad [A] \quad (4.50)$$

ve kaynak akımının dalgalılık değeri,

$$K_i = \frac{I_{sa1}}{I_{sa}} = \frac{2\sqrt{3}/\sqrt{\pi} \cos(\alpha/2 + \pi/6)}{(2\pi/3 - \alpha)^{1/2}} \quad (4.51)$$

i_{sa} dalga şeklinden tahmin edilebileceği gibi geri besleme diyodunun varlığı dalgalılık faktörünü arttırmıştır. Sabit değer olan 1.047 ile karşılaştırıldığında, serbest geçiş diyotsuz durumda, $\alpha = \pi/2$, $K_i = 1.430$ dur.

Faz-nötr gerilimi v_{an} de i_{sa} 'nın temel bileşeni arasındaki faz açısının kosinüs değeri (sistemin temel güç faktörü),

$$GF_I = \cos \left(\frac{\alpha}{2} + \frac{\pi}{6} \right) \quad (4.52)$$

Giriş gücü,

$$P_{in} = \sqrt{3} V I_{sa1} \cos \left(\frac{\alpha}{2} + \frac{\pi}{6} \right)$$

$$= \frac{3\sqrt{2} \cdot V \cdot \bar{i}_a}{\pi} \left[1 + \cos \left(\alpha + \frac{\pi}{3} \right) \right] \quad [\text{W}] \quad (4.53)$$

Endüvi devresine aktarılan güç,

$$P_a = \bar{v}_t \bar{i}_a = \frac{3\sqrt{2} V \bar{i}_a}{\pi} \left[1 + \cos \left(\alpha + \frac{\pi}{3} \right) \right] = P_{in} \quad [\text{W}] \quad (4.54)$$

Görünen güç faktörü,

$$\text{Görünür } GF = \frac{\bar{v}_t \bar{i}_a}{\sqrt{3} V I_{sa}} \quad (4.55)$$

Bu hesaplamalar v_t - i_a diyagramının dördüncü bölgesinde çalışan serbest geçiş diyotlu doğrultucuya uygulanabilir.

Örnek4.3

230 V, 1150 dev/dak, 30 HP(22.4 kW), $i_a = 108 \text{ A}$, $R = 0.963\Omega$, $L_a = 2.5 \text{ mH}$ değerli bir motorun endüvi devresi 3 fazlı köprü tipi bir doğrultucudan beslenmektedir. Alternatif akım kaynağı 203 V (fazlar arası) ve frekansı 50 Hz dir. Alan akımı sabit 230V olan bir DA akım kaynağıyla beslenmektedir. Dönme kayıp momentinin hızla orantılı olduğu ve motor doğrultucudan beslendiğinde %15 oranında artış gösterdiği kabul edilmiştir.

Motorun miline aktarılan momentin, nominal momentin %75'i olması durumunda, motor ve generatör çalışma bölgeleri için ± 1000 devir aralığında $\bar{T}$, i_a , α ve görünen güç faktörü değerlerini, (dikey eksenle gösteren) devir sayısının bir fonksiyonu olarak çiziniz.

Cözüm4.3:

Bu motor için $R_a = 0,0963 \, \Omega$, $I_R = 108 \, A$

$$1150 \, \text{rpm} = 120,4 \, [\text{rad/s}]$$

$$k\phi = \frac{230 - 0,0963 \cdot 108}{120,4} = 1,824 \, [\text{N.m/A}]$$

$$0,75T_n = \frac{0,75 \cdot 30 \cdot 746}{120,4} = 139,4 \, [\text{N.m}]$$

Nominal çalışma için,

$$\text{Giriş gücü} = 230 \cdot 108 = 24,84 \cdot 10^3 \, [\text{W}]$$

$$\text{Çıkış gücü} = 30 \cdot 746 = 22,38 \cdot 10^3 \, [\text{W}]$$

$$R_a \cdot I_a^2 = 0,0963 \cdot 108^2 = 1,12 \cdot 10^3 \, [\text{W}]$$

$$\text{Dönme kayıpları} = (24,84 - 22,38 - 1,12) \cdot 10^3 = 1,34 \cdot 10^3 \, [\text{W}]$$

1150 devirle dönerken ve doğrultucudan beslenirken dönme kayıpları,

$$T_{kayıp} = 1,15 \cdot \frac{1,34 \cdot 10^3}{120,4} = 12,8 \, [\text{N.m}]$$

$$T'_{kayıp} = \frac{12,80}{120,4} \omega_m = 0,1063 \cdot \omega_m \, [\text{N.m}]$$

oluşturulan iç moment,

$$\bar{T} = 139,4 + 0,1063 \cdot \omega_m \, [\text{N.m}]$$

$$\bar{i}_a = \frac{\bar{T}}{k\phi}$$

$$\bar{v}_t = R_a \cdot \bar{i}_a + k \phi \omega_m = \frac{3\sqrt{2}V}{\pi} \cos \alpha$$

$$GF = \frac{3}{\pi} \cos \alpha$$

n = -1000 dev/dak için,

$$\omega_m = \frac{2\pi n}{60} = -104,72 \quad [\text{rad / sn}]$$

$$\bar{T} = 139,4 - 0,10604 \cdot 104,72 = 128,29 \quad [\text{Nm}]$$

$$\bar{I}_a = \frac{128,29}{k\phi} = \frac{128,29}{1,825} = 70,356 \quad [\text{A}]$$

$$\bar{v}_t = 0,0963 \cdot 70,356 + 1,8238 (-104,72) = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} 208 \cos \alpha$$

$$-184,18156 = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} 208 \cos \alpha$$

$$\cos \alpha = -0,6556 \quad \alpha = 130,97^\circ$$

$$\text{Görünen GF} = \frac{3}{\pi} \cos (130,97^\circ) = -0,626$$

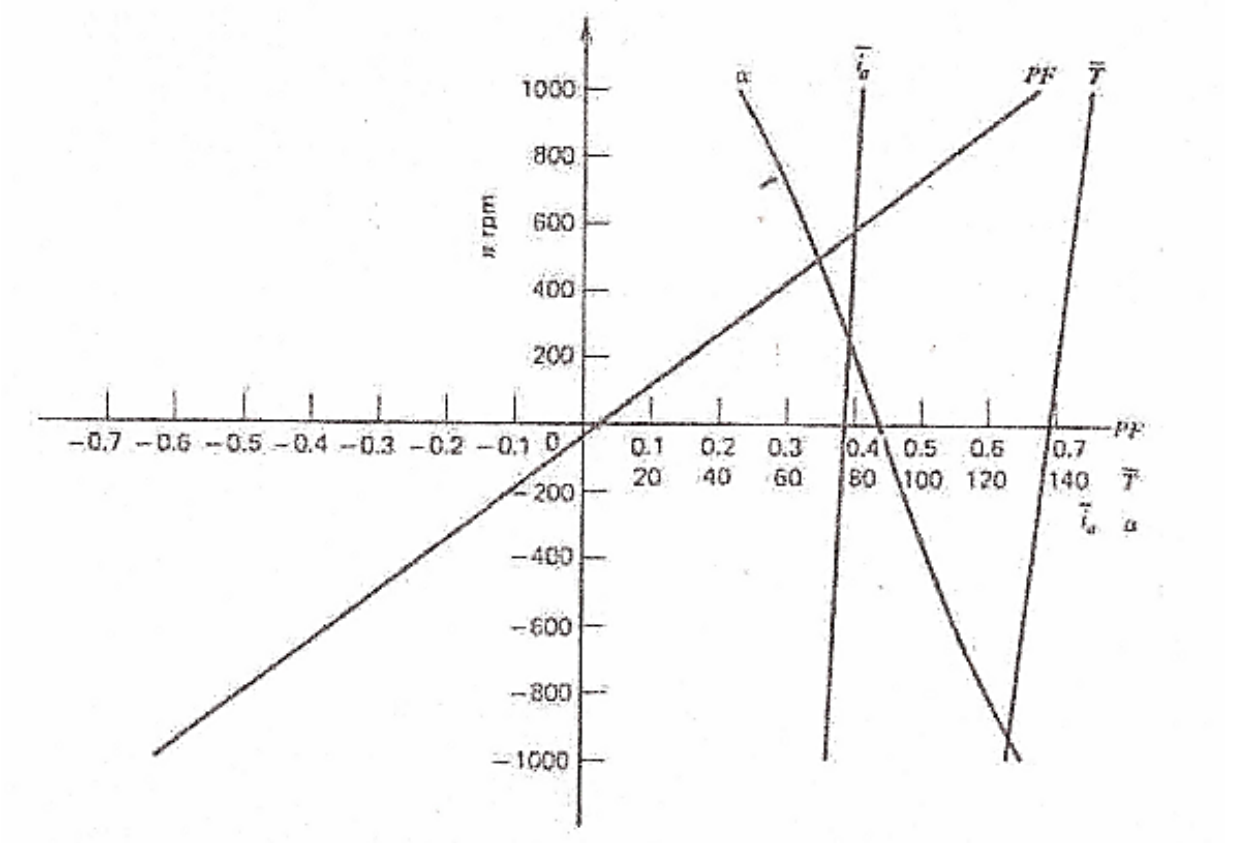
bulunur, diğer devirler için sonuçlar aşağıdaki tablolarda verilmiştir.

n (dev/dk)	-1000	-900	-800	-700	-600	-500	-400
$\omega_m(\text{rad/sn})$	-104,7	-94,248	-83,776	-83,776	62,8	-52,36	-41,9
$T \text{ (Nm)}$	128,3	129,406	130,516	130,516	732,7	133,85	134,96
$I_a(\text{A})$	70,356	70,965	71,575	71,575	72,79	73,4	74,62
$\alpha(\text{derece})$	130,97	125,98	121,29	121,29	112,5	108,34	100,27
Görünen GF	-0,626	-0,561	-0,496	-0,496	-0,431	-0,3	-0,235

n (dev/dk)	-300	-200	-100	0	100	200	300
$\omega_m \text{ (rad/sn)}$	-31,4	-20,9	-10,47	0	10,47	20,94	31,4
$T \text{ (Nm)}$	136,06	137,2	138,3	139,4	140,5	141,62	142,7

$I_a(A)$	74,62	75,23	75,84	76,45	77,1	77,6	78,3
$\alpha(\text{derece})$	100,27	96,32	92,41	88,5	84,6	81,4	78,8
Görünen GF	-0,17	-0,105	-0,04	0,025	0,09	0,155	0,22

$n \text{ (dev/dk)}$	400	500	600	700	800	900	1000
$\omega_m \text{ (rad/sn)}$	41,8	52,36	62,8	73,3	83,77	94,24	104,72
$T \text{ (Nm)}$	143,8	144,9	146,1	147,17	148,3	149,39	150,5
$I_a(A)$	78,8	79,5	80,1	80,71	81,32	81,93	82,54
$\alpha(\text{derece})$	72,6	68,5	64,2	59,78	55,13	50,22	44,92
Görünen GF	0,28	0,35	0,41	0,48	0,55	0,611	0,67



Şekil 4.13. Örnek 4.3 ün sonuçları

Problem 4.1

230 V, 1750 dev/dak, $2HP = 14,9 kW$, $I_{an} = 74 A$, $R_a = 0,18\Omega$, $L_a = 2,95mH$, olarak verilen motor üç fazlı köprü doğrultucuyla, fazlar arası gerilimi 208 V ve 60 Hz frekanslı bir kaynaktan serbest uyarımlı olarak beslenmektedir. Motorun sürtünme kayıpları ihmal edilebilir. Endüvi endüktansının tüm çalışma şartlarında sürekli akımı sağlayacak kadar yüksek olduğu kabul ediliyor. Eğer motorun tam yük momentinde çalışması ve alan için 230 V 'luk kaynaktan nominal çalışmaya ait uyarma sağlanmışsa $\alpha = 45^\circ$ ve $\alpha = 135^\circ$ için hızını bulunuz.

Çözüm4.1:

$$\text{Nominal devirde } 1750 \text{ dev/dak} = 183,3 \text{ [rad/s]}$$

$$\text{Nominal moment} = \frac{20 \cdot 746}{183,30} = 83,396 \text{ [Nm]}$$

$$\bar{v}_t = \frac{3\sqrt{2}V}{\pi} \cdot \cos \alpha = \frac{3\sqrt{2} \cdot 208}{\pi} \cdot \cos 45^\circ = 198,625 \text{ [V]}$$

$$\bar{i}_a = \frac{\bar{v}_t - k \phi \omega_m}{R_a}$$

$$\bar{i}_a = 74 \text{ [A]}$$

$$E_a = 230 - 74 \cdot 0,18 = 185,3 \text{ [V]}$$

$$\bar{T} = k \phi \bar{i}_a = 87,57 \text{ [Nm]}$$

$$\omega_m = \frac{3\sqrt{2}V}{\pi k \phi} \cdot \cos \alpha - \frac{R_a \cdot \bar{T}}{(k \phi)^2}$$

$\alpha = 45^\circ$ için;

$$\omega_m = 156,6 \text{ [rad/s]}$$

$$n = 1500 \text{ [dev/dak]}$$

$\alpha = 135^\circ$ için

$$\omega_m = -179,1 \text{ [rad/s]}$$

$$n = -1710 \text{ [dev/dak]}$$

Problem 4.2

230 V, 1750 dev/dak, 60 HP (44.8 kW), $i_n = 213$ A, $R_a = 0.0363\Omega$, $L_a = 0.85$ mH değerlerine sahip DA motorunun endüvi devresi 3 fazlı köprü tipi bir doğrultucudan beslenmektedir. AA kaynağı fazlar arası 208 V, 60 Hz dir. Motor 230V DA kaynaktan nominal çalışmadaki alan akımı ile serbest uyarılmaktadır. 25 V/1000 dev/dak değerine sahip takometre ile hız geribeslemesi yapılmaktadır.

a) Hız referans girişi, 0,75 nominal momentinde nominal hızı verecek şekilde ayarlanmıştır. Yük momenti kaldırıldığında (boşta) ancak 10 dev/dak'lık hız artışı meydana getirecek regülatörün(lojik çeviricinin) K_1 kazancını bulunuz.

b) K_1 'in bu değerinde (a) daki şartları sağlayan hız referans giriş gerilimini bulunuz. Nominal hızdan %5 lik bir hıza azalması için bu referans gerilimindeki değişme ne olmalıdır? Belirleyiniz.

Cözüm4.2:

Sürekli rejim ifadeleri:

$$\bar{v}_t = E_a + \bar{i}_a \cdot R_a$$

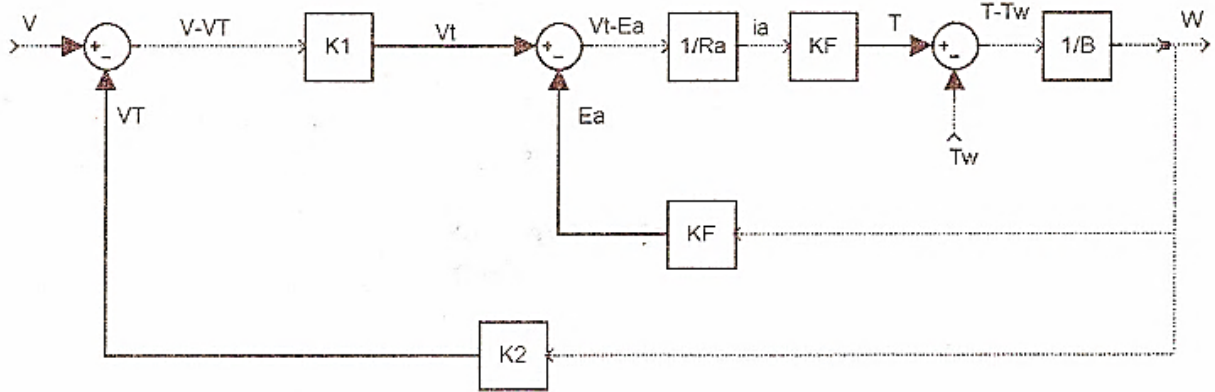
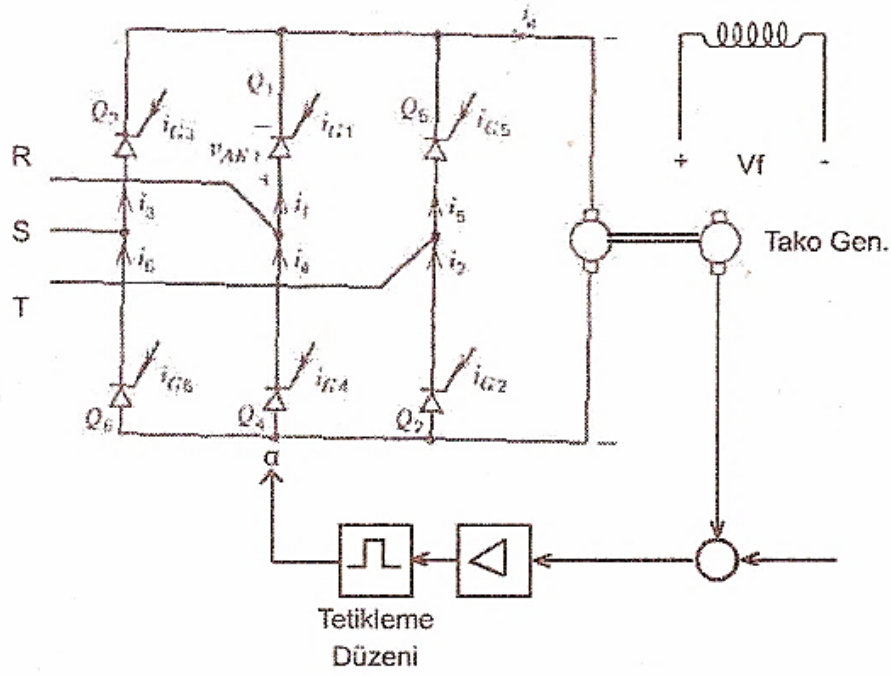
$$\bar{v}_t = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} V \cdot \cos \alpha$$

$$E_a = k \phi \omega$$

$$v_T = K_2 \cdot \omega$$

$$\bar{T} = B \cdot \omega + T_w$$

$$(V - V_T) \cdot K_1 = \bar{v}_t$$



a) Şimdi nominal çalışmayı sağlayacak bazı değerleri hesaplayalım.

$$\omega_n = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_n}{60} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 1750}{60} = 183,3 \quad [rad/s]$$

$$k\phi = \frac{\bar{V}_t - \bar{i}_a \cdot R_a}{\omega_n} = \frac{230 - 213 \cdot 0,0363}{183,3} = 1,21 \quad [V/rad/s]$$

$$1000 \quad [d/dk] = 104,72 \quad [rad/s]$$

$$K_2 = \frac{25 V}{104,72 \text{ rad/s}} = 0,2387 \text{ [V/rad/s]}$$

$$P_{in} = \bar{v}t \cdot \bar{i}_a = 230 \cdot 213 = 48,99 \text{ [kW]}$$

$$P_w = 44,8 \text{ [kW]}$$

$$P_{cu} = R_a \cdot (\bar{i}_a)^2 = 0,363 \cdot (213)^2 = 1,6469 \text{ [kW]}$$

$$P_{kayıp} = 48,99 - 44,8 - 1,6469 = 2,5431 \text{ [kW]}$$

$$T_{kayıp} = B \cdot \omega_n = 13,874 \text{ [Nm]}$$

$$B = 75,7 \cdot 10^{-3} \text{ [Nm/rad/s]}$$

$$\omega = \omega_n \text{ için;}$$

$$\bar{T} = 0,75 T_w + T_{kayıp}$$

$$\bar{T} = 0,75 \cdot \frac{44,8 \cdot 10^{-3}}{183,3} + 13,874 = 197,174 \text{ [Nm]}$$

$$\bar{T} = k \cdot \emptyset \cdot \bar{i}_a \quad \bar{i}_a = \frac{197,174}{1,21} = 163 \text{ [A]}$$

$$E_a = k \emptyset \omega_n = 1,21 \cdot 183,3 = 221,8 \text{ [V]}$$

$$\bar{v}_t = E_a + \bar{i}_a \cdot R_a = 221,8 + 163 \cdot 0,0363 = 227,7 \text{ [V]}$$

$$V_T = K_2 \cdot \omega = 0,2387 \cdot 183,3 = 43,75 \text{ [V]}$$

$$K_I (V - V_T) = \bar{v}_t \quad K_I (V - 43,75) = 227,7 \text{ [V]}$$

$$T_w = 0; \quad n_n + 10 = 1760 \text{ d/dk} \quad \omega_n = 184,31 \text{ [rad/s]}$$

$$V_T = 0,2387 \cdot 184,31 = 44 \text{ [V]}$$

$$\frac{\bar{v}_t - E_a}{R_a} \cdot k \cdot \emptyset \cdot \frac{1}{B} = \omega, \quad \bar{v}_t = \frac{\omega \cdot R_a \cdot B}{k \cdot \emptyset} + E_a = 0,4184 + E_a$$

$$E_a = k \emptyset \omega = 1,21 \cdot 184,31 = 223,0151 \text{ [V]}$$

$$V_T = 0,4185 + 223,0151 = 223,5 \text{ [V]}$$

$$K_I (V - 44) = 223,5$$

$$K_I = 16,8$$

b) Yukarıdaki ifadelerden:

$$V = 57,3 \quad [V] \quad \text{bulunur.}$$

Problem 4.3

125HP, 600 V, 1800dev/dak bir serbest uyarmalı doğru akım motoru, üç fazlı tam kontrollü doğrultucu ile tahrik ediliyor. Doğrultucu üç faz, 480 V, 60 Hz'lik kaynaktan besleniyor. Motor endüvi nominal akımı 165A ve motor parametreleri; $R_a = 0,0874 \, \Omega$, $L_a = 6.5\text{mH}$, $k_a\phi = 0,33 \, \text{V/dev/dak}$ olup doğrultucu ve AA kaynağın ideal olduğu kabul edilecektir.

a) Boştaki endüvi akımının, nominal akımın %10'u olduğu ve sürekli olduğu kabulüyle $\alpha = 0^\circ$ ve $\alpha = 30^\circ$ tetikleme açıları için boştaki hızları bulunuz.

b) Nominal motor akımında ve 1800 dev/dak da tetikleme açısı ve şebeke güç faktörü ne olur?

c) b şıkkında elde edilen tetikleme açısı için hız regülasyonunu hesaplayınız.

Cözüm4.3:

a) Kaynak faz gerilimi $\frac{480}{\sqrt{3}} = 277 \quad [V]$

Boşta;

$$\text{Motor uç gerilimi } \bar{v}_t = \frac{3\sqrt{6} \cdot 277}{\pi} \cos \alpha = 648 \cos \alpha$$

$$\alpha = 0^\circ \text{ için } \bar{v}_t = 648 \quad [V]$$

$$E_a = \bar{v}_t - R_a I_a = 648 - 165 \cdot 0,0874 = 646,6 \quad [V]$$

$$\text{Boşta hız } N_0 = \frac{E_a}{k_a \phi} = \frac{646,6}{0,33} = 1959 \quad [\text{dev/dak}]$$

$$\alpha = 30^\circ \text{ için } \bar{v}_t = 648 \cdot \cos 30^\circ = 561,2 \quad [V]$$

$$E_a = 561,2 - 16,5 \cdot 0,0874 = 559,8 \quad [V]$$

$$\text{Boşta hız } N_0 = \frac{E_g}{K_a \cdot \emptyset} = \frac{559,8}{0,33} = 1696 \quad [dev/dak]$$

b) Tam yük durumunda

$$180 \text{ dev/dak'da } E_g = k \emptyset \cdot n = 0,33 \cdot 1800 = 594 \quad [V]$$

$$\text{Nominal akımda uç gerilimi } \bar{v}_t = 594 + 165 \cdot 0,0874 = 608,4 \quad [V]$$

$$648 \cdot \cos \alpha = 608,4$$

$$\alpha = 20,1^\circ$$

Tam yük durumunda motor akımında dalgalılık ihmal edilebilir. Kaynak akımı, 120° genişliğinde 165 A yüksekliğinde kare dalgadır. Bunun efektif değeri;

$$I_a = \left(\frac{1}{\pi} \cdot 165^2 \cdot \frac{2\pi}{3} \right)^{1/2} = 134,64 \quad [A]$$

$$\text{Şebeke } U = 3 \cdot V \cdot I_a = 3 \cdot 277 \cdot 134,64 = 111885,8 \quad [VA]$$

Dönüştürücünün kayıpsız olduğu kabul edilirse, şebekeden çekilen P_s gücü, motora verilen güçtür.

$$P_s = \bar{v}_t \cdot I_a = 608,4 \cdot 165 = 100386 \quad [W]$$

$$\text{Kaynak güç faktörü } GF = \frac{P_s}{U} = \frac{100386}{111885,8} = 0,9$$

$$GF = 0,9549 \cdot \cos 20,1^\circ = 0,9$$

c) Hız regülasyonu

Tam yük durumunda motor akımı 165 A ve hız 1800 dev/dakdır.

$\alpha = 20,1^\circ$ tetikleme açısında, motor akımı 16,5 A dir. (Boşta)

$$E_g = 608,4 - (16,5 \cdot 0,0874) = 606,96 \quad [V]$$

$$\text{Boşta hız } N_0 = \frac{606,96}{0,33} = 1839,3 \quad [dev/dak]$$

$$\text{Hız regülasyonu} = \frac{1839,3-1800}{1800} \cdot 100\% = 2,18 \%$$

EK – B

Franc	n	hp	P	I _{rand}	R _a	L _a
283	3500	15	12.2	54	0.153	1.30
	2500	10/7.5	7.46/5.60	37/27	0.301	2.30
W _f = 150	1750	5	3.73	19	0.615	4.50
	1150	3	2.24	11	1.43	10.4
J _m = 0.068	850	2	1.49	7.8	2.61	19.2
	500	1	0.75	4.1	7.56	55.0
284	3500	20	14.9	73	0.142	1.10
	2500	15	12.2	56	0.279	2.10
W _f = 160	1750	10/7.5	7.44/5.60	39/28	0.570	4.30
	1150	5	3.73	20	1.36	10.0
J _m = 0.088	850	3	2.24	12	2.42	18.5
	500	2	1.49	10.0	6.71	53.2
	300	1	0.75	4.8	12.3	147
286	3500	25	18.6	89	0.070	0.70
	2500	20	14.9	72	0.137	1.40
W _f = 180	1750	15	12.2	56	0.280	2.81
	1150	10/7.5	7.46/5.60	39/29	0.657	6.50
J _m = 0.087	850	5	3.73	20	1.19	12.0
	500	3	2.24	12	2.32	34.4
	300	2	1.49	11	7.50	95.0
288	3500	40	29.8	141	0.045	0.73
	2500	30/25	27.4/18.6	108/89	0.089	1.44
W _f = 200	1750	20	14.9	74	0.180	2.93
	850	10/7.5	7.46/5.60	40/29	0.762	12.5
J _m = 0.156	500	5	3.73	22	1.33	36.0
365	1750	25	18.6	89	0.086	2.20
W _f = 210	1150	15	11.2	55	0.199	5.10
J _m = 0.296						
366	2500	50/40	37.3/29.8	176/140	0.033	0.50
	1750	40/30	29.8/22.4	143/107	0.067	1.00
W _f = 220	1150	25/20	18.6/14.9	92/73	0.155	2.40
	850	15	12.2	56	0.284	4.40
J _m = 0.397	500	7.5	5.60	29	0.772	13.0
	300	5	2.24	12	2.27	35.0
367	2500	60	44.8	209	0.0203	0.52
	1750	50	37.3	177	0.0415	1.10
W _f = 230	1150	30	22.4	108	0.0963	2.50
	850	20	14.9	73	0.176	4.60
J _m = 0.462	500	10	7.46	40	0.478	13.0
	300	5	3.73	20	1.41	36.0
368	1750	60	44.8	213	0.0363	0.85
	1150	40	29.8	146	0.0664	2.00
W _f = 242	850	30/25	23.4/18.6	112/92	0.153	3.60
	500	15	12.2	58	0.417	11.0
J _m = 0.560	300	7.5	5.60	32	1.24	29.0
503	1750	100/75	74.6/56.0	349/261	0.0144	1.10
	1150	60/50	44.8/37.3	211/176	0.084	2.50
W _f = 325	850	40	29.8	143	0.066	4.50
	500	20	14.9	73	0.168	13.0
J _m = 1.82	300	10	7.46	38	0.500	36.0
504	1750	125	93.3	434	0.0150	0.85
	1150	75	56.0	264	0.0237	2.00
W _f = 410	850	50	37.3	177	0.0420	3.60
	500	25	18.6	90	0.115	11.0
J _m = 1.94	300	15	12.2	57	0.342	29.0
505	1750	150	112	521	0.0099	0.73
	1150	100	74.6	353	0.0206	1.70

