

Düşük Maliyetli 8-bitlik Bir Mikrodenetleyici Kullanarak 3-Fazlı İndüksiyon Motor Hız Denetleyicisinin Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi

Ömer Faruk BAY, Salih GÖRGÜNOĞLU

ÖZET

AA indüksiyon motorları endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu motorlar genellikle değişken hızlarda çalıştırılmaktadırlar. AA motorların hızlarının kontrolü DA motorlarla kıyaslandığında, hızlarının ayarlanması daha karmaşıktır. Bu çalışmada, 3 fazlı bir indüksiyon motor hız kontrol devresi 8 bitlik bir mikrodenetleyici kullanılarak tasarlanmakta ve gerçekleştirilmektedir. Bir bakış tablosu kullanılarak, mikrodenetleyici tarafından üretilen PWM sinyalleri ile altı anahtarlı inverter kontrol edilmekte ve inverter çıkışındaki gerilimin etkin değeri ve frekansı değiştirilerek hız ayarı yapılmaktadır. Tasarlanan sistem, 8 bitlik bir mikrodenetleyici ile geliştirildiğinden, düşük maliyetli ve uygulanması kolay bir sistemdir.

Anahtar Kelimeler : İndüksiyon motoru, Hız Kontrolü, PWM

Design and Implementation of 3-Phase Induction Motors Speed Controller by Using Low Cost 8-Bit Microcontroller

ABSTRACT

AC induction motors are widely used in industrial applications. These motors are generally worked in variable speed. Speed control of the AC motors are more complex compared with the DC motors. In this study, a three phase induction motor speed controller is designed and implemented by using 8-bit microcontroller. Six step inverter is controlled by microcontroller which produce PWM signals by using lookup table and variable speed has been obtained by changing the voltage and its frequency at the output of inverter. Designed system which uses 8 bit microcontroller is low cost and can be implemented easily.

Key Words : Induction motors, Speed control, PWM

1. GİRİŞ

AA indüksiyon motorları alternatif akımla çalışan motorlardır. Endüstride en çok kullanılanları bir fazlı ve üç fazlı olanlarıdır. Sabit duran statoru ve dönen rotoru bulunmaktadır. Stator indüksiyon motorun temel hareketsiz parçasıdır. Üzerinde döner manyetik alanın oluşmasını sağlayan sargılar yer alır. Rotor indüksiyon motorunun hareketli döner parçasıdır. Kısa devre çubuklu ve sargılı olmak üzere iki şekilde yapılmaktadır. Kısa devreli rotorların maliyetleri daha düşüktür. Rotoru sargılı indüksiyon motorların kalkınma momentleri yüksektir. Bu tipler, yüklü olarak kalkınması gereken asansör gibi yerlerde kullanılmaktadır.

AA indüksiyon motorları, sanayi sektöründe kullanılan DA motorlarla kıyaslandığında, maliyetlerinin düşük olması, bakımlarının ve tamirinin kolay yapılması ve AA şebekeye doğrudan bağlanarak çalıştırı-

labilmeleri, daha dayanıklı ve uzun süre kullanılabilirliği nedeni ile tercih edilmektedir(1,2). Bununla birlikte endüstriyel uygulamalarda çoğu zaman değişken hızlarda motorların çalıştırılması gerekmektedir. AA motorlar DA motorlarla kıyaslandığında, hızlarının ayarlanması daha karmaşıktır. Literatürde 3 fazlı AA motorların hız kontrolü üzerine yapılmış çok sayıda çalışma bulunmaktadır(3-12).

2. İNDÜKSİYON MOTORUN HIZ KONTROLÜ

Stator sargılarında meydana gelen döner alanın devir sayısına senkron devir (n_s) denir. Rotorun devir sayısı (n_r) arttıkça döner alanın rotor çubuklarını kesmesi azalacağından, rotor çubuklarında indüklenen elektro motor kuvvet (emk) ve kısa devre çubuklarından geçen indüksiyon akımları azalmaktadır. Azalan rotor akımı, rotoru döndüren momenti küçülttüğünden, rotorun devir sayısında artış olmaz. Rotor boşta çalışırken, rotorun devir sayısı senkron devir sayısına yaklaşır. Bir indüksiyon motorunun senkron hızı Eşitlik 1'de gösterildiği gibi hesaplanır.

Döner alanın devir sayısı (senkron devir) ile rotor devir sayısı arasındaki farka rotorun kayması adı verilir. Kayma Eşitlik 2'de gösterildiği gibi s harfi ile

Makale 10.03.2009 tarihinde gelmiş,03.11.2009 tarihinde yayınlanmak üzere kabul edilmiştir.

Ö. F. BAY, Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, 06500 Teknikokullar, ANKARA

e-posta : omerbay@gazi.edu.tr

S. GÖRGÜNOĞLU, Karabük Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, 78100, KARABÜK

e-posta : sgorgun@gmail.com

Digital Object Identifier 10.2339/2009.12.3. 143.150

gösterilir ve senkron devir sayısının yüzdesi ile ifade edilir.

$$n_s = \frac{60 \cdot f}{p} \quad (1)$$

$$s = \frac{n_s - n_r}{n_s} \cdot 100 \quad (2)$$

$$n_r = n_s (1 - s) \quad (3)$$

Verilen eşitliklerde, n devir sayısını, f Statora uygulanan gerilimin frekansını, p çift kutup sayısını, s kaymayı ifade etmektedir. Rotor devir sayısı Eşitlik 3'de gösterildiği gibi hiçbir zaman döner alanın devir sayısına eşit olamamaktadır. Eşitlik 4'de görüldüğü gibi motor sargılarında endüklenen gerilim değeri frekansa bağlıdır. Frekansın değiştirilmesi, hava aralığındaki manyetik akının değişmesine neden olacaktır. İndüksiyon motorda sabit tork elde edebilmek için, hava aralığındaki manyetik akı yoğunluğunun sabit kalması gerekmektedir. Sabit manyetik akı, Eşitlik 5 ve Eşitlik 6'da görüldüğü gibi V/f oranının sabit olması ile mümkündür. Bir başka ifade ile frekans değiştikçe, motora uygulanan gerilim de değiştirilirse bu mümkün olabilir(3).

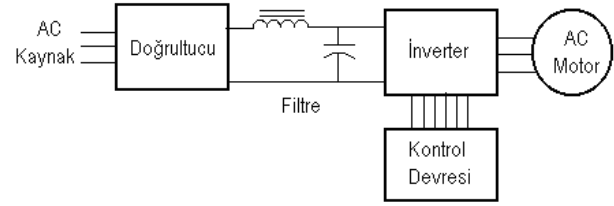
$$E = 4,44 \phi_m \cdot f \cdot N \quad (4)$$

$$V \approx k \phi_m \cdot f \quad (5)$$

$$\frac{V}{f} = \text{Sabit} \quad (6)$$

Bir indüksiyon motorun hızı birkaç yöntemle ayarlanabilir. Rotoru sargılı indüksiyon motorlarında, rotor sargı sayısını artırmak sureti ile kutup sayısını değiştirerek, rotor sargılarına bilezikler yardımı ile seri olarak dirençler bağlamak sureti ile kaymayı artırarak, uygulanan gerilimin etkin değerini değiştirerek hız ayarını belirli sınırlar dahilinde birkaç kademede değiştirmek mümkündür. Ancak bu yöntemler geniş sınırlar içinde verimli bir hız ayarı için yeterli değildir.

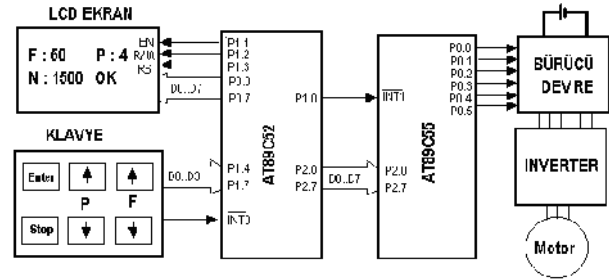
Stator geriliminin etkin değerini ve frekansını bir frekans çevirici yardımı ile değiştirerek çok fazlı indüksiyon motorların hızını daha geniş sınırlar içinde ayarlamak mümkündür. İndüksiyon motorun devir sayısı ayarında kullanılan frekans çevirici Şekil 1'de görüldüğü gibi, Doğrultucu, Filtre, Kontrol ve Evirici(İnverter) devresi olmak üzere dört bölümden oluşur. Doğrultucu bölümü, Şebekenin üç fazlı AA sinyalinin doğrultarak DA sinyale çevirir. Filtre, Doğrultucu bölümden elde edilen sinyali filtre ederek şebeke frekansından soyutlar. Kontrol devresi, Frekans çeviricinin çalışması için gerekli sinyallerin üretildiği ve kontrol işleminin yapıldığı bölümdür. Evirici devre, Ara devreden gelen DA sinyalinden istenen frekans ve genlik değerinde AA sinyalinin üretildiği kısımdır. Elde edilen AA sinyal kontrol devresinden alınan anahtarlama sinyallerine göre PWM veya kare şeklinde olabilir.



Şekil 1. Frekans çeviricinin blok şeması

3. HIZ KONTROL DEVRESİNİN TASARIMI

Kontrol devresinin genel blok şeması Şekil 2'de görülmektedir. Kontrol devresinde iki adet mikrodenetleyici kullanılmıştır. Bu mikrodenetleyicilerden birisi sistemi kullanan kişiye hız ayarı için gerekli olan frekans değerini klavyeden girmesini sağlar. Girilen değerleri LCD ekranda görmek mümkündür. Başlangıç anında motor durmaktadır. Kullanıcı klavyeden F tuşunu kullanarak frekans değerini 0-60 Hz olarak birinci mikrodenetleyiciye giriş yapar. İstenen değerler ayarlandığında frekans ve kutup sayısı değerine göre motorun senkron devir sayısı hesaplanarak LCD ekranda kullanıcıya gösterilir. Girilen değerler ENTER tuşuna basıldığı anda birinci işlemci P1.0 ucu yardımı ile ikinci işlemcinin INT1 ucuna bir kesme göndererek P2 portundan frekans bilgisini gönderir.



Şekil 2. Hız ayar devresinin blok şeması

İkinci mikrodenetleyici 20Kb büyüklüğünde EEPROM belleği olan AT89C55 mikrodenetleyicisidir. Her iki mikrodenetleyicinin genel özellikleri Çizelge 1'de görülmektedir. Tasarlanan devrede girilen frekans değerlerine göre istenen sinüsoidal PWM dalga formu üreten değerler, herbir frekans için hesaplanarak, farklı tablolar halinde işlemci belleğine yerleştirilmiştir. Bu tablolardan yararlanarak ikinci işlemci, inverter için gerekli anahtarlama sinyallerini bir yazılım vasıtası ile göndermektedir.

Çizelge 1. Kullanılan mikrodenetleyicilerin özellikleri

	Flash program bellek	RAM bellek	Giriş/Çıkış hattı	Seri port	Zamanlayıcı	Saat frekansı	Kesme sayısı
AT89C52	8 Kb	256 B	32	1	3	24Mhz	8
AT89C55	20 Kb	256 B	32	1	3	33Mhz	8

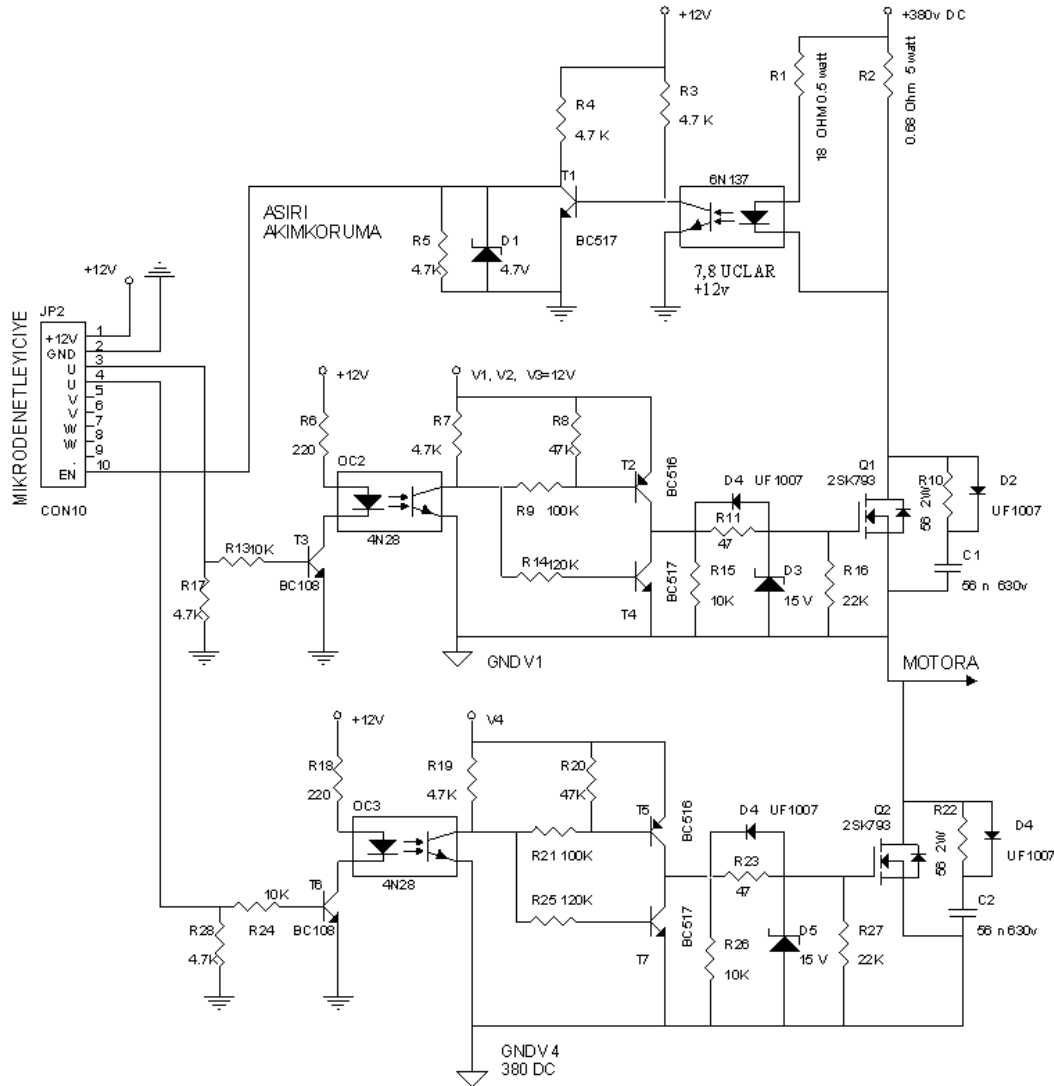
3.1 Sürücü Devresi

Sürücü devresindeki MOSFET'ler doğrudan sürülmezler. Aynı fazın alt ve üst MOSFET'lerinin topraklarını birleştirmek bu fazı kısa devre etmek anlamına geleceğinden, üstte bulunan MOSFET'lerin topraklarını ayırmak gerekmektedir. Altta bulunan MOSFET'lerin toprakları birleştirilebilir. MOSFET'lerin sürülebilmesi için Gate-Source uçlarına $V_{GS}=10$ voltluk bir gerilim uygulanması gerekmektedir. Bu yüzden mikrodenetleyiciden gelen çıkış voltajının yükseltilmesi gerekir. MOSFET'leri kontrol devresinden yalıtımak ve üstteki MOSFET'lerin topraklarını ayırabilmek için optoizolatör kullanılmıştır. Optoizolatör bir transistörle sürülmektedir. Optoizolatör push-pull olarak çalışan bir darlington transistör çiftini sürerek MOSFET'ler anahtarlanmaktadır. Şekil 3'de bir fazı sürmek için gerekli devre şeması verilmiştir. Her bir fazı sürmek için altı adet MOSFET'e ihtiyaç duyulmaktadır. Üstteki MOSFET'leri sürmek için üç ayrı güç kaynağı gereklidir. Bunlar V1, V2, V3 sembolü ile gösterilmiştir. V4

güç kaynağı ise alttaki MOSFET'leri süren devreyi beslemek için kullanılmıştır. Herhangi bir fazdan aşırı akım çekilmesi durumunda aşırı akım sezme devresi ile sistemin korunması sağlanmaktadır. Üst MOSFET drain ucuna yerleştirilen 0.68 ohmluk dirençlerden aşırı bir akım geçmesi durumunda, 6N137 optoizolatörü iletime geçmekte ve Enable girişine yetki vererek MOSFET'lerin yalıtıma geçmesini sağlamaktadır.

3.2 Snubber Devresi

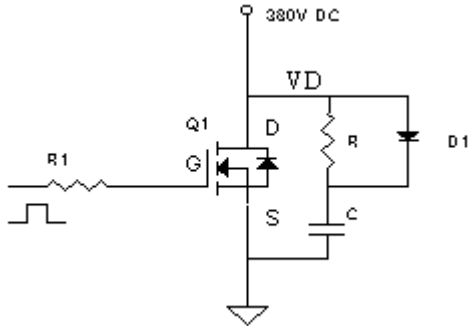
Güç devrelerinde R ve C elemanlarından oluşan ve Tristör, IGBT, MOSFET gibi anahtarlama elemanlarına Şekil 4'deki gibi paralel olarak bağlanan devreye snubber devresi adı verilir. Snubber devresinin iki önemli fonksiyonu vardır. Birincisi, MOSFET iletime geçtiğinde akımın yükselme oranını (di/dt) sınırlamaktır. Akımın çok hızlı yükselmesi aşırı ısınmaya sebep olacağından MOSFET'in yanması söz konusu olabilmektedir. Ancak bu uygulama için kullanılan sürücü devresinde MOSFET'ler motor faz sargısı ile seri bağlı olduklarından, MOSFET iletime



Şekil 3. Bir fazı süren sürücü devre

geçtiğinde faz sargısının indüktansı tarafından akımın ani yükselişi sınırlanmaktadır. Bu yüzden MOSFET iletme geçtiğinde di/dt 'nin sınırlanması için snubber devresine ihtiyaç görülmemektedir.

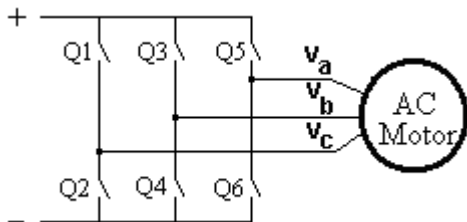
Snubber devresinin ikinci fonksiyonu, MOSFET kesime gittiğinde uçlarındaki gerilimin yükselme oranını (dv/dt) sınırlamaktır. Şekil-6.12a'da kullanılan snubber devresi görülmektedir. MOSFET kesime gittiğinde faz akımı anlık olarak seri bağlı diyod ve kapasitör üzerinden geçmektedir. MOSFET iletimdeki kapasitör uçlarında çok küçük bir gerilim mevcuttur. MOSFET kesime gittiğinde ise düz polarmalandırılmış hızlı toparlama diyodu (FRD) üzerinden kaynak gerilimine şarj olmaktadır. Kapasitör tam şarj olduğunda ise kaynaktan akım akışı kesilmektedir. Böylece faz sargısındaki uyarım akımı MOSFET kesime gittiğinde ani olarak tamamen kesilmemekte, kapasitörün şarj süresince azalarak devam etmekte ve kapasitör kaynak gerilimine tam şarj olduğunda tamamen kesilmektedir.



Şekil 4. Snubber devresi

3.3. Sinüsoidal PWM Anahtarlama Sinyallerinin Üretilmesi

Üç fazlı indüksiyon motora AA sinyal üreten inverter, altı adımlı inverter olarak yapılır. Altı adımlı bir inverter kullanarak DA gerilimden üç fazlı AA gerilim elde edilmektedir. Şekil 5'de görüldüğü gibi motor faz sargılarını süren Q1 den Q6'ya kadar olan anahtarlama elemanları Şekil 6'da verilen sırada ilettime ya da kesime geçirilmektedir. Bir sinus periyodu 60 derecelik altı adıma bölünmüştür. Her bir aralık T1 'den T6'ya kadar simgelerle ifade edilmiştir. Üç fazlı sinyalin her bir fazı bir birinden 120 derece faz farklıdır. Bu yüzden her bir anahtar 60 derecelik açılarla ve bir birlerine göre 120 derece faz farklı olarak altı adım da açılıp kapatılarak bir periyot tamamlanmaktadır.



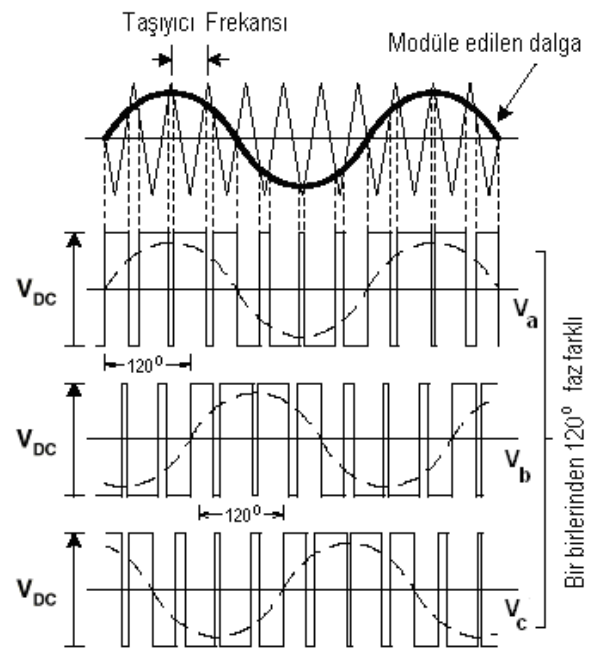
Şekil 5. Anahtarlama elemanlarının motora bağlantısı

Şekil 6(a)'da verildiği şekilde, belirtilen zaman aralıklarında anahtarlama elemanları sürüldüğünde, inverter çıkışında istenen frekansta bir kare dalga elde edilir. Devir sayısı ayarında evirici çıkışında elde edilen AA sinyalin frekans ve gerilimin etkin değerinin ayarlanabilmesi motor kayıplarının azaltılması ve momentin sabit tutularak düzgün bir hız ayarı yapılabilmesi için gerekmektedir.

Evirici çıkışında gerilimin etkin değerini değiştirmek için darbe genişlik modülasyonu (PWM) kullanılmaktadır. Anahtarlama elemanları Şekil 6(b)'de görüldüğü gibi bir üçgen dalga ile sinüs dalgasının karşılaştırılması ile elde edilen sinüsoidal PWM dalga ile sürülerek gerilimin etkin değerinin de ayarlanması sağlanmaktadır. Şekil 7'de tasarlanan hız kontrol devresinin görünümü ve ana bölümleri görülmektedir.

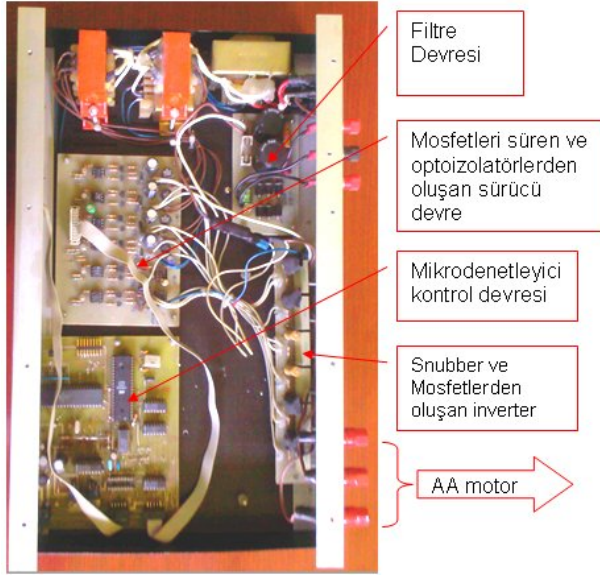
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T1	T2	T3	T4	T5	T6	
Q ₁	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	V _a
Q ₂	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	
Q ₃	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	V _b
Q ₄	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	
Q ₅	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	V _c
Q ₆	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	

(a)



(b)

Şekil 6. Üç fazlı AA sinyalin oluşumunu gösteren dalga şekilleri ve Üç faz PWM sinyalleri



Şekil 7. Tasarlanan hız kontrol devresinin görünümü ve ana bölümleri

3.4 Kısa devrenin engellenmesi

Aynı faz sargısını süren alt ve üst MOSFET'lerin aynı anda iletime geçmesi durumunda kaynağın kısa devre olması durumu ortaya çıkmaktadır. Bu durum üst anahtarlama elemanı işlevini tamamlayıp alt anahtarlama elemanı iletime geçeceği zaman ortaya çıkmaktadır. Geçiş anında anahtarlama elemanlarından birinde bir gecikme olursa çok kısa bir süre fazın kısa devre olmasına neden olabilir. Bu durumu önlemek için Şekil 8(a)'da görüldüğü gibi geçiş anlarında her iki anahtarlama elemanının da kesimde olduğu kısa süreler (ölü zaman - dead time) koymak gerekmektedir.

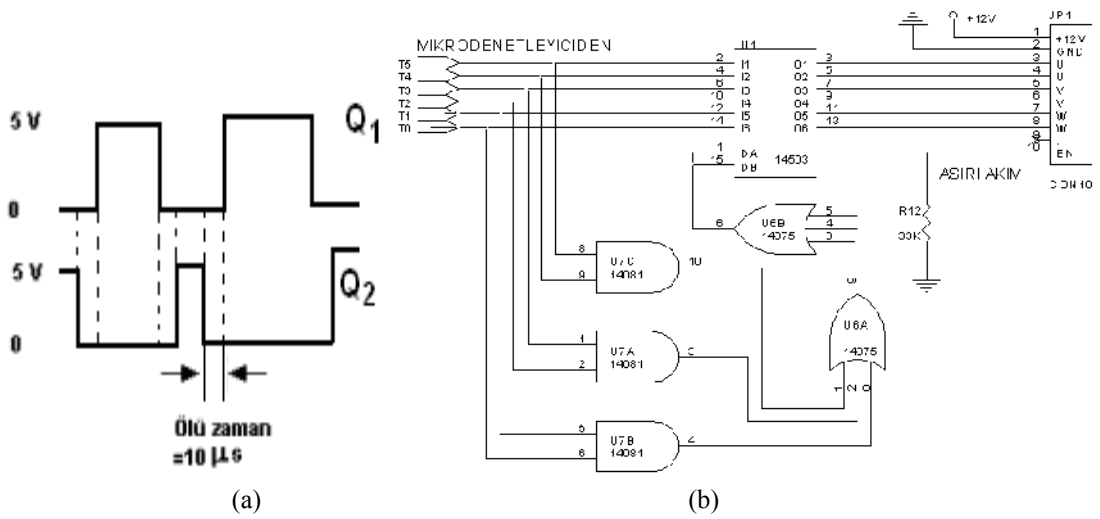
Devrede ölü zaman (10 μ s) yazılımla gerçekleştirilmiştir. Böylece ek bir donanıma gerek duyulmamıştır. Mikrodenetleyici çıkışları ilk açılışta resetleme işlemi

gerçekleşip program işleyinceye kadar çıkışları lojik 1 yapmaktadır. Bu durumda ilk güç verme anında MOSFET'ler sürülmekte ve fazların kısa devre olmasına neden olmaktadır. Bunu önlemek için Şekil 8(b)'deki devre kullanılmıştır. Bu devre aynı zamanda çalışmada kısa devre olma ihtimalinde de MOSFET'leri korumaktadır. Aynı koldaki MOSFET'leri sürececek olan mikrodenetleyici çıkışları aynı anda 1 olursa bu durum 14503 üç durumlu tampunun yetki girişini (DA) etkiler ve tampon çıkışları yüksek empedans durumuna geçer. Böylece MOSFET'ler devre dışı kalarak açık devre durumuna gelirler.

3.5 Mikrodenetleyici Kontrol Yazılımının Gerçekleştirilmesi

Mikrodenetleyici kontrol yazılımı, birinci mikrodenetleyici kontrol yazılımı ve ikinci mikrodenetleyici kontrol yazılımı olmak üzere iki kısımdan meydana gelmektedir. Birinci mikrodenetleyiciye bir tane tuştakımı ile, girilen değerleri ekranda göstermek için kullanılan bir LCD display bağlıdır. Ana program döngüsünde mikrodenetleyici çalışırken tuş takımından frekans ayarlama tuşuna basılmış ise, ayarlanan frekans değeri enter tuşuna basıldığında, ikinci mikrodenetleyicinin INT1 ucuna kesme üretilerek P2 portundan gönderilmektedir. Ayrıca ayarlanan frekans değerine göre senkron devir sayısı hesaplanarak ekranda gösterilmektedir. Devir ayarı yapılacak olan motorun kutup sayısı farklı olabileceğinden tuş takımından kutup sayısının da girilmesi sağlanmıştır.

İkinci mikrodenetleyici de 1-60 arası frekanslar için oluşturulmuş değer tablosu vardır. Her bir tabloda farklı sayıda değer yer alabilir. Çünkü farklı frekanslarda farklı sayıda anahtarlama sinyali kullanılmıştır. Şekil 9 (a)'da gösterildiği gibi tabloda yer alan her üç değer birlikte bir bütün oluşturur.



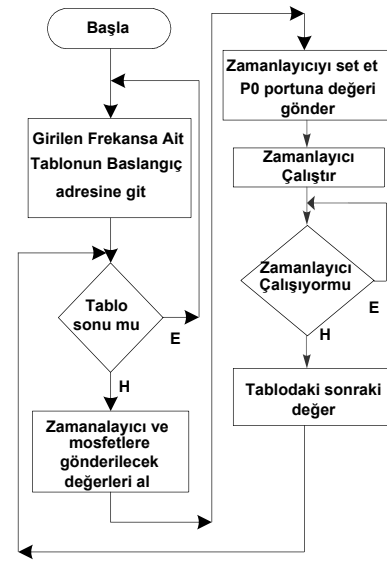
Şekil 8. Ölü zaman üretme ve Kısa devre önleme devresi

TAB60:

DB 0FFH,0FEH,9,0FFH,0FEH,25,0FFH,0FEH,17,0FFH,0DFH,16,0FFH,0FEH,18
 DB 0FFH,0E9H,22,0FFH,0E7H,6,0FEH,0F6H,38,0FFH,0F0H,6,0FFH,0FEH,4
 DB 0FFH,0FDH,20,0FFH,0FEH,16,0FFH,0F3H,17,0FFH,0FEH,25,0FFH,0EBH,17
 DB 0FFH,0FEH,16,0FFH,0FEH,20,0FFH,0F9H,4,0FFH,0F7H,6,0FEH,0C9H,38
 DB 0FFH,0F7H,36,0FFH,0F9H,4,0FFH,0FEH,5,0FFH,0FEH,1,0FFH,0EBH,17
 DB 0FFH,0FEH,25,0FFH,0F3H,17,0FFH,0FEH,1,0FFH,0FDH,5,0FFH,0FEH,4
 DB 0FFH,0F0H,36,0FEH,0F6H,38,0FFH,0E7H,36,0FFH,0E9H,37,0FFH,0FEH,33
 DB 0FFH,0DFH,1,0FFH,0FEH,17,0FFH,0FEH,25,0FFH,0FEH,24

DB 0FFH,0FEH,33,0FFH,0FEH,41,0FFH,0FEH,40,0FFH,0DFH,8,0FFH,0FEH,24
 DB 0FFH,0E9H,26,0FFH,0E7H,18,0FEH,0F6H,22,0FFH,0F0H,18,0FFH,0FEH,2
 DB 0FFH,0FDH,10,0FFH,0FEH,8,0FFH,0F3H,40,0FFH,0FEH,41,0FFH,0EBH,40
 DB 0FFH,0FEH,8,0FFH,0FEH,10,0FFH,0F9H,2,0FFH,0F7H,18,0FEH,0C9H,22
 DB 0FFH,0F7H,6,0FFH,0F9H,2,0FFH,0FEH,34,0FFH,0FEH,32,0FFH,0EBH,40
 DB 0FFH,0FEH,41,0FFH,0F3H,40,0FFH,0FEH,32,0FFH,0FDH,34,0FFH,0FEH,2
 DB 0FFH,0F0H,6,0FEH,0F6H,22,0FFH,0E7H,6,0FFH,0E9H,38,0FEH,0FEH,36
 DB 0FFH,0DFH,32,0FFH,0FEH,40,0FFH,0FEH,41,0FFH,0FEH,9,000H

(a)



(b)

Şekil 9. İkinci mikrodenetleyici kontrol yazılımı akış şeması ve 60Hz için oluşturulmuş değer tablosu

İlk iki bayt zamanlayıcı kaydedicilerini ayarlamak için zaman bilgisini oluştururken, üçüncü bayt anahtarlama elemanlarının durumunu belirtir. Tablo sonunda yer alan 000 değeri tablonun sonlandığını göstermektedir. Tabloda toplam 702 değer olmasına karşın yalnızca bir kısmı gösterilmiştir. Girilen frekans değerine göre tablodan zaman ve anahtarların durum değerlerinin okunması ve motoru süren anahtarlara gönderilmesi Şekil 9(b)'de gösterilmektedir.

4. DENEYSEL SONUÇLAR

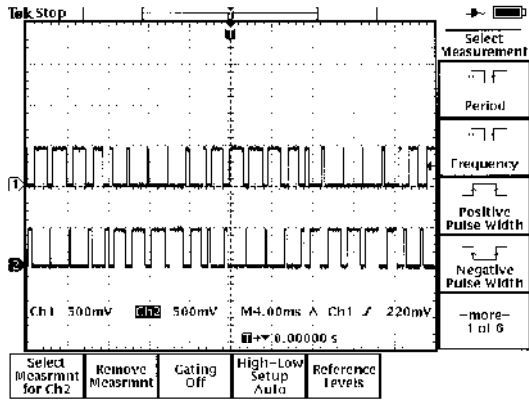
Sinüsoidal PWM modülasyonu ile kare dalga gerilimde oluşan harmoniklerin neden olduğu motor kayıplarının azaltılması amaçlanmaktadır. İndüksiyon motorda sabit moment elde edebilmek için gerekli olan V/f oranının sabit kalması için, evirici çıkışındaki gerilimin etkin değeri frekans arttıkça artırılmış, frekans düştükçe ise düşürülmüştür. Frekans değerine göre tablo oluşturulurken, pals genişlikleri bu durum dikkate alınarak hesaplanmış ve işlemci içine yerleştirilmiştir. Tasarımı yapılan devre etiket değerleri Çizelge 2'de verilen üç fazlı asenkron motorda denenmiştir. Daha yüksek güce sahip bir AA motor kullanılabilir. Ancak motoru süren mosfetlerin buna uygun akım ve gerilim değerinde çalışabilecek şekilde seçilmesi gerekmektedir. Burada kullanılan mosfetler 850 Volt 5Amper değerlerine dayanıklıdır.

Çizelge 2. Deney yapılan asenkron motor etiket değerleri

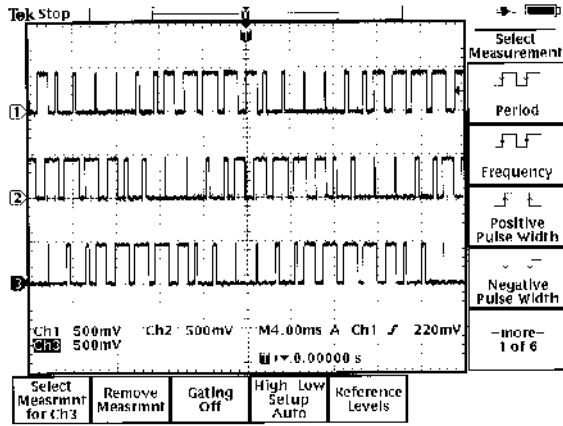
Çalışma gerilimi V	380Volt
Çalışma frekansı	50Hz
Çalışma akımı	0.27A
Devir sayısı	3000d/dk
$\cos\phi$	0,78
Güç	0.09KW 1/8Hp
Bağlantı şekli	Yıldız

Devre tasarımında 1-60 Hz arası frekans değerleri kullanılmıştır. Buna göre 52Hz frekans değerleri için alınan MOSFET'lerin gate sinyalleri ve çıkış akım dalga formları Şekil 10'da gösterilmiştir. Düzgün bir sinüs akım şekli elde edebilmek için pals sayısını anahtarlama elemanlarının izin verdiği sınırlar içinde, mümkün olduğunca artırmak gerekmektedir.

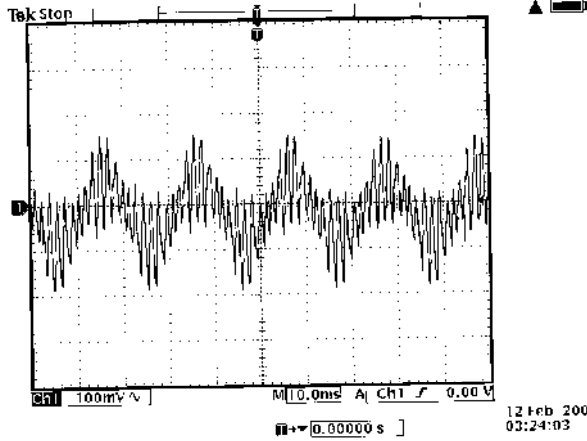
Devrenin çalışması farklı frekans değerleri için test edilmiş ancak burada şebeke frekansından(50Hz) farklı bir frekans olması nedeni 52Hz frekans için anahtarlama sinyalleri ve akım dalga formu verilmiştir. Şekil 10'da görüldüğü gibi bir sinüs periyodu içinde 11 pals üretilmiştir. Anahtarlama frekansı 572 Hz olarak hesaplanabilir. Bu frekans oldukça düşük bir değerdir. Bu sebeple Şekil 10 (c)'de verilen bir fazın akım dalga formu oldukça salınımlıdır. Anahtarlama frekansı 10 Khz gibi bir değere çıkması halinde, harmonik bileşenleri daha küçük, daha düzgün bir akım dalga formu elde edilebilir. Zamanlayıcı çözünürlüğü daha yüksek bir işlemci kullanılarak bunu sağlamak mümkündür.



(a)



(b)



(c)

Şekil 10. Mosfet anahtarlama sinyalleri (a) $F=52$ Hz, $m=10$ iken bir fazın alt ve üst MOSFET'lerine gönderilen anahtarlama sinyalleri. (b) $F=52$ Hz, $m=10$ iken üç fazın üst MOSFET'lerine gönderilen birbirlerinden 120 derece faz farklı anahtarlama sinyalleri (c) Bir fazın akım dalga formu

5. SONUÇ

Bu çalışmada sinüsoidal PWM kullanılarak 3-fazlı AA motorun hız kontrol devresi tasarlanmış ve gerçekleştirilmiştir. Önerilen sistem, aşırı akım kesme devresi ile korunmuş ve ölü zaman oluşması yazılımla gerçekleştirilmiştir. İnverter devresinde kullanılan MOSFET'leri aşırı gerilimden korumak için snubber devresi kullanılmıştır. Mikrodenetleyici kullanımı ile gerekli olan elemanlar oldukça azaltılmış, güvenli ve ucuz bir hız kontrol devresi gerçekleştirilmiştir. Daha fazla kademede hız kontrolü yapabilmek ve motorun çektiği akım dalga formunun daha düzgün olabilmesi için, bellek kapasitesi, işlem hızı ve zamanlayıcı çözünürlüğü daha yüksek bir işlemci kullanmak gerekmektedir.

6. KAYNAKLAR

1. Parekh, R., "AC Induction Motor Fundamentals", Application Note(AN887), Microchip Technology Inc., 2003.
2. Crowder, R., "Induction Motors", Electric Drives and Electromechanical Systems", 2005, Pages 191-214
3. Rivera, P.R., Gamboa, S.P., Quelal, P.A., "Design and development of a frequency inverter with the Intel 80C196MC microcontroller", Industrial Electronics and Control Applications, 2005. ICIECA 2005. International Conference on, 29 Nov.-2 Dec. 2005 Page(s):6 pp
4. Yedamale, P., "Speed Control of 3-Phase Induction Motor Using PIC18 Microcontrollers" Application Note(AN843), Microchip Technology Inc., 2002.
5. Bowling, S., "An Introduction To AC Induction Motor Control Using the dsPIC30F MCU", Application Note(AN984), Microchip Technology Inc, 2005
6. Burroughs, J., "Controlling 3-Phase AC Induction Motors Using the PIC18F4431", Application Note (AN900), Microchip Technology Inc, 2004.
7. Barambones, O., Garrido, A.J., "A sensorless variable structure control of induction motor drives", Electric Power Systems Research 72 (2004) 21-32
8. Tipsuwanporn, V., Keanthong, K., Charean, A., Runghimmawan, T., "Design and Implementation Multilevel Inverter for 3 phase Induction Motor Speed Control with RBM Chopper Technique embedded on FPGA", Power System Technology, 2006. PowerCon 2006. International Conference on, Oct. 2006 Page(s):1 - 5
9. Fonseca, J., Afonso, J. L., Martins, J. S., Couto, C., "Fuzzy logic speed control of an induction motor", Microprocessors and Microsystems 22 (1999) 523-534
10. Addowesh, K.E., Shepherd, W., Hulley, L.N., "Induction motor speed control using a microprocessor-based PWM inverter", Industrial Electronics, IEEE Transactions on Volume 36, Issue 4, Nov. 1989 Page(s):516 - 522
11. Athani, Vithal V., Deshpande, Sudhir M., "Microprocessor Control of a Three-Phase Inverter in Induction Motor Speed Control System", Industrial Electronics and Control Instrumentation, IEEE Transactions on, Volume IECI-27, Issue 4, Nov. 1980 Page(s):291 - 298

12. Enjeti, P.N., Ziogas, P.D., Lindsay, J.F., Rashid, M.H.,
“A new PWM speed control system for high-performance
AC motor drives”, Industrial Electronics, IEEE

Transactions on Volume 37, Issue 2, April 1990
Page(s):143 – 151