

ASENKRON MOTORLARIN SENSÖRSÜZ HIZ TESBİTİNİN 8051 YARDIMIYLA GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

Hakan ÇALIŞ, Ahmet Turan ÖZCERİT, İbrahim ÇETİNER

Özet - Geçmiş 10 yıl boyunca endüstriyel otomasyonun yükselen grafiği göstermektedir ki, bir fabrikada çeşitli süreçlerde, robot kollarında ve taşıyıcı bantlarda değişken hızlardaki motor sürücülerinin kullanımını gerekli kılmıştır. DC motorların yüksek maliyeti, sık bakım gerektirmesi ve yüksek hızlarda çalışmaması göz önüne alınarak asenkron motorların değişken hızlarda çalıştırılmasına yönelik yeni çözüm yöntemlerini bulmaya sevk etmiştir. Bu çalışmada AT89C2051 μ C tabanlı entegre kullanılarak asenkron motorun hız tahmini motor akımından sensörsüz olarak gerçekleştirilmiştir. Frekans spektrumları motor akımının sıfırdan geçiş anlarındaki değişimini belirten SGA sinyalinin Matlab ta incelenmesi ile elde edilmiştir. Buna göre motor hızı (f_r) spektrumunda elde edilmiştir.

Abstract - The increasing sophistication of industrial automation during the past decades demonstrates the importance and universality of employing variable-speed motor drives which serve to power conveyor belts, robot arms, and various processing lines in an industrial factory. However, the inherent disadvantages of dc motors have prompted continual attempts to find better solutions for variable speed drives of induction motors. In this study, sensorless speed measurement of induction motor is implemented using the AT89C2051 microcontroller. The frequency spectrums of ZCT (fluctuation of zero crossing times on motor current) signals are investigated by using Matlab package program. The characteristic component at rotor speed is obtained.

Key Words - AT89C2051 Microcontrollers, Induction Motor, Speed Measurement

H.Çalış, SDÜ, Tek. Eğt.Fak., Elt-Bil. Eğt.Böl., Isparta
A.T.Özcerit, SAÜ, Tek. Eğt. Fak., Elt-Bil. Eğt. Böl., Sakarya
İ.Çetiner, Kırfez EML Elektronik Bölümü Kırfez/İzmit

1.GİRİŞ

Son on yıl içinde fırçasız ve anahtarsız yapılan DC motorların gelişiminde yapısal karmaşıklıklar ve yüksek maliyet gibi problemler oluşmuştur. Bu arada araştırmalar ve gelişmeler göstermiştir ki asenkron motorların, DC motorlar ve senkronize motorlara göre maliyet avantajı, az bakım gerektirmesi, sağlamlığı, daha küçük boyutlarda üretilebilmesi, değişik çalışma koşullarındaki güvenilirliğinin gelişmesi ve yüksek performans uygulamalarında DC motorlar ve senkron motorlar ile kıyaslandığında asenkron motorların daha uygun olduğu görülmektedir. Son yıllarda mikroelektronik ve yarıiletken güç elektroniğinin önemli gelişmeleriyle beraber bir asenkron motorun hız kontrol karmaşıklığının üstesinden hızlıca gelinmiştir.

Genel amaçlı AC sürücülerini değişken hızlı sürücü uygulamalarında kullanmak mümkün olmaktadır. Bu gibi sistemler aynı zamanda çok güvenilir olmuştur. Endüstriyel üretim süreçleri daha gelişmiş ve entegre oldukça motorların durması sonucu oluşan maddi zarar ve üretimin bozulması motorların sürekli olarak takip edilebilme ihtiyacını yükseltmiştir. Sistem içindeki duruş zamanlarını belirlemek için kritik motorların izlenmesi özellikle önemlidir.

II.ASENKRON MOTORLARIN SENSÖRSÜZ HIZ TAKİBİ

Genellikle motor hızı takometreler, kodlayıcılar veya resolvers(çözümleyiciler)le ölçülür. Motor hızı w_r , şöyle açıklanır ; $w_r = d\theta_r / dt$ (dt süresi boyunca) $d\theta_r$ rotor pozisyonunun değişimidir. Asenkron motorların yüksek hızla çalışmaması halinde elektro manyetik çözümleyiciler rotor pozisyonu ölçmek için uygundur.

Son yıllarda yeni kontrol teknolojileri yüksek performanslı değişik asenkron motor sürücülerinin gelişimini mümkün kılmıştır.

En iyi çalışma şartları için hızlı ve doğru bir hız algılama sistemi gerektirir. Endüstriyel açıdan bakıldığı zaman AC sürücülerinde sensörsüz hız ölçüm sistemi kullanmak cazip olmuştur. Öncelikle birinci olarak hız dönüştürücüleri ve bunların çoklu sinyal kabloları sistem güvenilirliğini düşürecek önemli bir kaynaktır. Ve bazı elverişsiz çevre şartlarında dönüştürücüler için kablo seçimi (elektriksel gürültüye) özel dikkat gerektirir. İkinci olarak normal taşıma araçlarında kullanılan linear-motor sürücülerinin geri besleme konum pozisyonlarını sensörler yardımıyla elde etmek oldukça zordur.

Kodlayıcı kullanımı maliyeti artıran bir faktördür. Çünkü kodlayıcının yerleştirilmesi için motor milinin uzatılması ve ekstra montaj düzeneği gereklidir. Bundan dolayı hız sensörü olmaksızın asenkron motorların hız ölçümü önem kazanmaktadır. Bir hız sensörüne ihtiyaç kalmaması için bir çok çözüm önerilmiştir. Motor terminal değerlerinden(voltaj ve akım parametreleri yardımıyla) motor hızı (w_r) açık döngülü olarak anlık hesaplanabilir.

Bu çalışmada SGA (sıfır geçiş anlarındaki) değişim metodu ile herhangi bir hız sensörü olmaksızın rotor hızı tahmini önerilmiştir. SGA metodunun maliyeti çok düşüktür ve mevcut sürücülerde sadece program değişiklikleriyle uygulanabilir. Ayrıca metodu için ucuz yalnız başına çalışan bir sistem önerilmiştir.

Hem hat dışı (off-line) hem de hat içi (on-line) sensörsüz hız takibi için SGA metodunun detaylarına değinilecektir. Bu SGA sistemi, gıda işleme, ısıtma ve havalandırma düzeneği, pompalama sistemleri ve taşıyıcı bantlar dahil olmak üzere geniş endüstriyel uygulamalarında kullanılabilir.

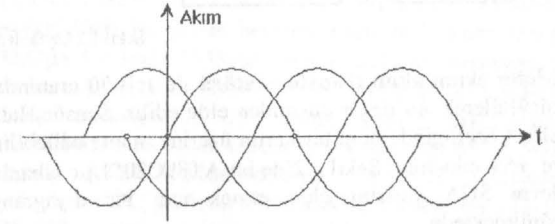
III.SGA METODU

Şekil 1.1 asenkron motorun 3 fazlı normal akımını gösterir. 3 fazlı akımın her sıfırdan geçiş anlarında elde edilen veri değerleri serisinden SGA işareti oluşturulur. Veri değerleri iki bitişik sıfırdan geçiş anları arasındaki zaman farkı olarak tanımlanır($T_n - T_{n-1}$). (1.1) Eşitliğinde görüldüğü gibi ana beslemenin $T60$ derece için zaman aralığı olarak hesaplanır.

$$SGA_n = T_n - T_{n-1} - T60 \quad (1.1)$$

Üç fazlı akımın sıfırdan geçiş zamanları IV. kısımda verilen algoritma ile hesaplanabilir. Eğer motor sargıları simetrikse, şebeke dengeliyse ve motor sabit bir hız ve

yükte çalışıyorsa sıfırdan geçiş anları zaman eksenini boyunca 60° aralıklarda eşit olarak oluşur. Bu yüzden her bir SGA_n verisi sıfır değerindedir. Çünkü $T_n - T_{n-1} = T60^\circ$ 'tır. Pratikte ideal bir şebeke ve tam simetrik sargılı asenkron motor olduğunu varsaymak hemen hemen imkansız gibidir. Aslında SGA işareti, besleme gerilimi dengesizliği gibi dış etkiler ve asenkron motorların iç şartlarını yansıtan zengin bilgileri içerir. Sıfır geçiş anları T_n herhangi bir fazdaki akım sıfıra gittiği anda meydana gelir. Herbir faz akımı bir periyotta sıfırdan iki defa geçer. Bu olay her 3 fazda da olduğu için şebekenin herbir periyodunda akımlar sıfırdan geçtiğinde 6 nokta oluşur. Sonuç olarak statorda olsun rotorda olsun veya besleme gerilimindeki dengesizlik eksenler arasındaki aralıklarda 60° den küçük sapmalara sebep olur.



$$SGA_{n+1} = T_{n+1} - T_n - T60$$
$$T_{n+3} - T_n = T180$$

Şekil 1.1 SGA sinyal tanımlaması

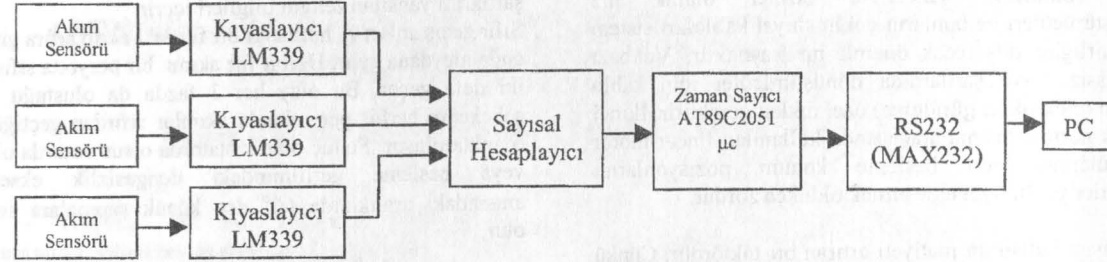
IV.SGA METODUNUN ÖZELLİKLERİ

Şimdiye kadar sensörsüz motor hız takibindeki bir çok yaklaşımda motor terminal voltajı ve akımı kullanılmıştır. Bu değişkenlerin örneklenmesi hızlı ve yüksek çözünürlüklü özel analog-dijital çevirici (ADC) gerektirir. Eğer üç fazlı akım veya voltaj aynı zamanda örneklenirse hem ilave örnekleme hem de tutma devresi veya çoklu ADC'ler ilave edilmek zorundadır. Bu, donanım karmaşıklığını artırır ve toplam maliyeti yükseltir. SGA metodunun kullanımı ise yüksek donanım gereksinimlerinden kurtarır. Akımın sıfır geçiş zaman aralığının uzun süre ölçümünü gerektirir. Sıfır geçiş anları ideal şartlarda $3333 \mu s$ (50 HZ 'de)dir.

Bu ölçüm; ADC, örnekleme ve tutma devresi, hızlı veya fazla sayıda bilgi toplanmasını (aynı zamanlı örnekleme mekanizma eldesi) gerektirmez. SGA spektrumunda sadece asenkron motorların ideal davranışından sapmalar görülmüştür. Bu, ADC ile tam akım dalga formu örnekleme metodundan daha hassas bir metod SGA olduğunu göstermiştir. SGA metodu ucuz ve sensörsüz bir hız ölçüm metodudur. [1]

V. UYGULAMADA KULLANILAN DONANIM

Araştırmada kullanılan **asenكرون motor** 2.2 kW gücünde, 4 kutuplu, 50 Hz, 3 fazlı, 1470 devir/dakika hızında, 380 volt, yıldız bağlantılıdır.



Şekil 1.2 Üç fazlı devre için sistemin blok diyagramı

Motor akımı **akım transformatörü** ile 1:1000 oranında küçültülerek ani değer cinsinden elde edilir. Sensör Hall Effect özelliğinde olup bir kartın üzerine monte edilebilir ve $\pm 5V$ çıkışlıdır. Şekil 1.2'de bir AT89C2051 µc tabanlı devre SGA verisini elde etmek için bir diyagram görülmektedir.

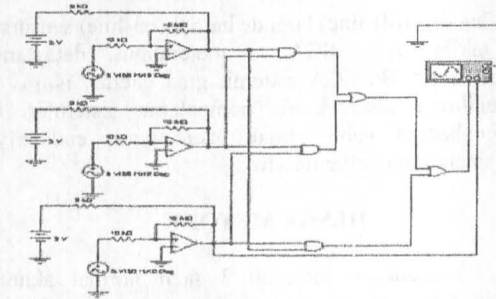
Hall Etkili Akım Sensörü, anlık stator akımlarını izlemek için kullanılmaktadır. Bu sensörlerle birkaç yüz kiloampere kadar akımı izlemek mümkündür. Basitlik, güvenilirlik, nispeten ucuzluk, yüksek doğruluk, doğrusalık, hızlı cevap bu sensörlerin üstünlükleridir. İzlenen akımlar ile elde edilen sinyaller arasındaki elektriksel izolasyonun otomatik olarak sağlanması bu sensörlerin bir diğer avantajıdır. Ancak bazı durumlarda sıcaklık bağımlılığı bu sensörlerin uygulamalarını sınırlamaktadır.

Hall Etkili Akım Sensöründe hem anlık akım çıkışı hem de anlık gerilim çıkışı vardır. Akım çıkışı kullanıldığı takdirde akım sinyallerinin elde edilmesi için hariciden bir direncin bağlanması gerekir. Gerilim çıkışı kullanıldığı takdirde böyle harici bir direncin bağlanmasına gerek yoktur. Zira, bu direnç sensörün kendi içinde bulunmaktadır (50 ohm değerinde dahili sekonder direnci).

Kullanılan akım sensörünün primerindeki bir tur sarımdan 100A akım geçtiği takdirde sekonderden 100mA akım çıkışı (dönüştürme oranı 1/1000) veya 5V gerilim çıkışı elde edilir. Primerden geçen akım azaldıkça aynı çıkışları elde etmek için tur sayısını artırmak gerekir. Aynı amaç için üç adet akım transformatörü kullanmak da mümkündür. Ancak, akım transformatörlerinin sekonderlerinin bir yük ile kısa devre olarak çalışacak şekilde tasarlandıkları unutulmamalıdır.

Sıfır geçiş dedektörü ve sayısal hesaplayıcı, Hall akım sensörlerinin gerilim çıkışları kıyaslayıcıların girişlerine uygulanır. Bir sıfır geçiş dedektörü olarak çalışan kıyaslayıcı devreler, içerisinde dört adet gerilim kıyaslayıcı opamp bulunan LM339 entegresi kullanılarak gerçekleştirilmektedir.

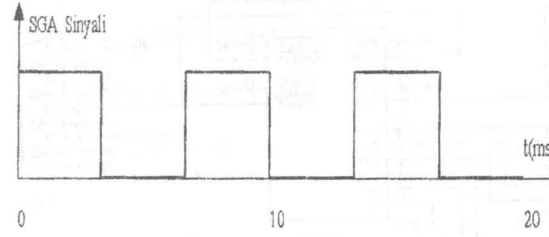
Kıyaslayıcıların çıkışlarında, her bir fazın pozitif saykılarında TTL seviyesine dönüştürülmüş kare dalga şekli bulunur. Bu çıkışlar bir 7408 VE kapısı entegresinde bulunan üç kapıya ikişer ikişer uygulanır. Böylece, her bir fazın sayısallaştırılmış sinyalleri ikişer ikişer çarpılır. VE kapılarının çıkışları, 74132 entegresinde bulunan üç girişli bir VEYA kapısına uygulanarak toplanır. Sonuç sinyal yine bir kare dalgadır. Burada, 74132 entegresi yerine, VEYADEĞİL kapısı içeren 7427 entegresi de kullanılabilir. Sonuç sinyal yani SGA sinyali tersi de alınarak zaman sayıcının dış kesmelerine uygulanır.



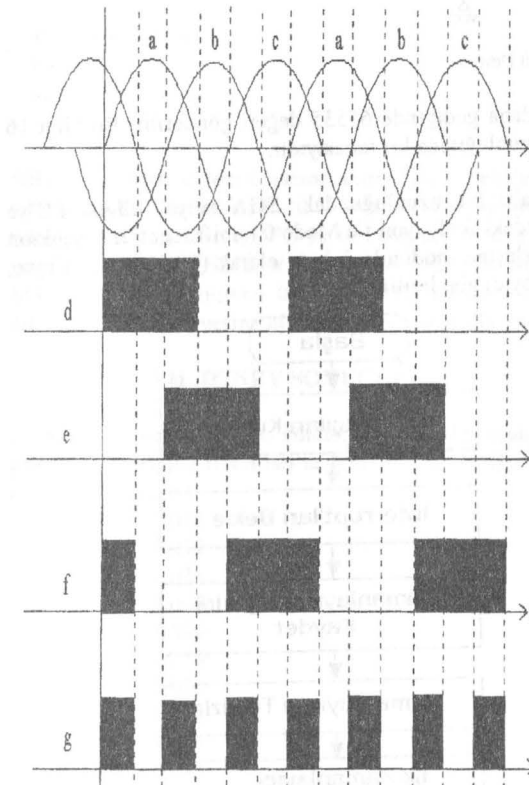
Şekil 1.3. Sıfırdan geçiş anlarını tesbit eden devresi

Üç fazlı stator akımlarının azaltılmış değerleri Şekil 1.3'de gerçekleştirilen LM 339 karşılaştırıcısı ve lojik kapılarla kare dalgaya dönüştürülmüştür. Bu üç fazlı stator akımlarının kare dalgaya çevrilmesindeki amaç, sıfırdan geçiş anlarının bulunmasıdır.

İdeal bir motor için SGA sinyalinin dalga şekli Şekil 1.4'deki gibidir. Bu sinyalin periyodu motor dönüş hızı değiştiğinde farklı değer alacaktır. SGA metodu genliğe bağlı değildir.



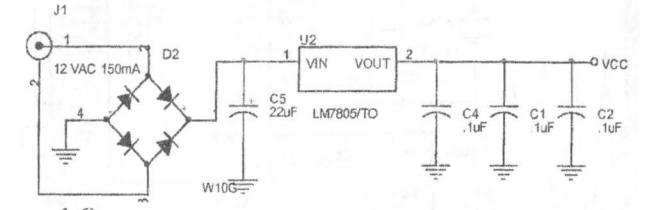
Şekil 1.4. İdeal bir SGA sinyalinin dalga şekli (1500 d/d lik motor için)



Şekil 1.5. Diyagramın değişik noktalarında dalga formu

Her bir LM339 karşılaştırıcının çıkışları Şekil 1.5'de d, e, f kare dalga olarak gösterilmiştir. Lojik devre çıkışı Şekil 1.5'de g dalga formudur. Sensörsüz motor hızı takibi için 89C2051 µc entegresi kullanılmıştır. Burada kullanılan AT89C2051 µc tabanlı 8051 ailesine ait bir mikro denetleyici entegresidir. Bu entegre Atmel firması tarafından üretilen 2 Kbyte flash belleğe sahiptir. AT89C2051'li hız tesbit devresi Şekil 1.7'de gösterilmiştir. P3.2(INT0) ve P3.3(INT1) kesme (interrupt) girişleridir. Devrede sistemin resetlenmesini

sağlayan reset devresi vardır. Sistem beslemesinde 7805 entegresi gerilim regülatörü olarak kullanılmıştır (Şekil



1.6).

Şekil 1.6. Besleme Devresi

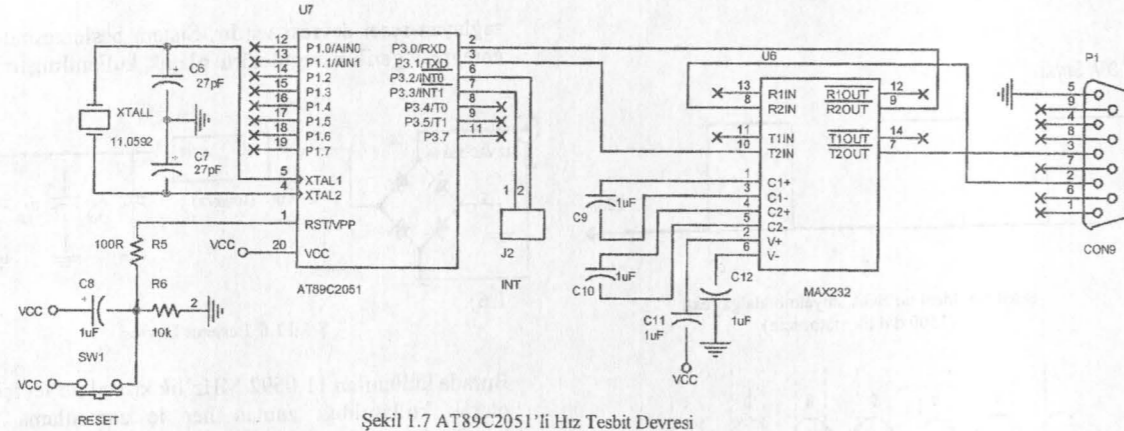
Burada kullanılan 11.0592 MHz'lik kristal µc'ler için saat olarak kullanıldığı zaman her iç zamanlama sayacı hesabında 12 saat olarak kullanılır. Buda $12.1/11.0592=1.085\mu s$ ile bir adım gerçekleşme zamanına eşittir. 50Hz'lik sistem beslemesi için 60° zaman aralığı $3333\mu s$ dir. Buda $3333\mu s/1.085\mu s=3072$ iç zamanlayıcısı ile hesaplanır. SGA verisi 2 komşu sıfır geçiş zaman farkı motor beslemesinin 60° zaman aralığı farkı olarak tanımlanır. Tasarlanan sistem tarafından elde edilen SGA verisi, AT89C2051 denetiminde MAX232 entegresi yoluyla bir PC'ye iletilmiştir. MAX232 entegresi TTL ve RS-232 sinyal seviyelerinin birbirine dönüşümü ve uygunlaştırılması için kullanılmaktadır.

VI. SENSÖRSÜZ HIZ TAKİBİ İÇİN 89C2051 µC İLE SGA SİNYALİ ELDE ETME PROGRAMI

Üç fazlı alternatif gerilim bir asenkron motora uygulandığı zaman motor akımlarının sıfır geçiş noktası bir önceki bölümde tanımlanan SGA sinyali elde etme devresi aralığıyla tesbit edilir. Her bir SGA sinyali bir kesme girişine uygulanır. SGA sinyali elde etme programının akış diyagramı Şekil 1.8'de verilmiştir. SGA sinyali zamanlama işlemi zamanlama sayacının çalışma modunun belirlenmesinden sonra zamanlama sayacı içeriği temizlenerek aktif edilir. Her bir zamanlama sayacını bir kesmeye set etmek için kesmeler IE kayıtçısı tarafından yetkilendirilir. Bu işlemleri init() fonksiyonu ile

```
void init(void) {
    TMOD=0x99;
    //GATE,M0(TIMER 1),GATE,M0(TIMER 0)
    TH0 = 0;TL0 = 0;
    TH1 = 0;TL1 = 0;
    TCON = 0x55;//TR1,TR0,IT1,IT0
    IE = 0x85; //EA,EX1,EX0
}
```

TMOD, TCON, IE kayıtçısı ayarlanılarak yapılır. Zaman sayıcıları T0 ve T1 sıfırlandıktan sonra while(1);



Şekil 1.7 AT89C2051'li Hız Tesbit Devresi

komutu ile kesme oluşması beklenir. Bir kesme oluştuğu zaman aşağıdaki kesme programı yürütülür. [2,3,4]

```

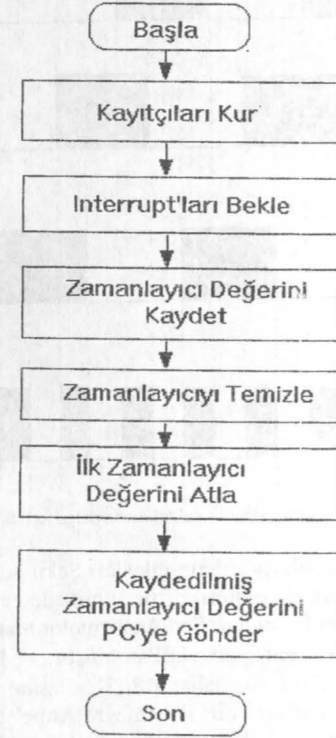
bit ilk_gecis = 1;
void intr0 (void) interrupt 0 using 2
{
  unsigned char highbyte;
  unsigned char lowbyte;
  highbyte = TH0;
  lowbyte = TL0;
  TH0 = 0; TL0 = 0;
  if ( ilk_gecis == 1 ) {ilk_gecis =0;TF0=0;}
  else {
    if (highbyte == 0){
      highbyte = 0x01;
      lowbyte = 0x00;
    }
    if (TF0 == 1){
      TF0 = 0;
      highbyte = 0xFF;
      lowbyte = 0xFF;
    }
    trans(0x00);
    trans(highbyte);
    trans(lowbyte);
  }
}

```

iki adet kesme rutini vardır. Bu kesmeler EX0 ve EX1'dir. EX0 yukarıda görüldüğü gibi T0'ı kullanmaktadır. EX1 ise void intr1 (void) interrupt 2 using 3 fonksiyonu olarak tanımlı T1'i kullanan alt kesme rutindir. Bu kesme rutininde zaman sayıcısı içindeki bilgi bir değişkene kaydedilerek yeni sayma işlemi için sıfırlanır. İlk zamanlayıcı içeriği ihmal edilir. Bir sonraki zamanlayıcı bilgisinin yüksek byte 0 ise en düşük değer olarak 256 zamanlayıcı sayaç bilgisi gönderilir. Taşma

meydana geldiğinde 65535 değeri gönderilir. Bu bilgi 16 bit uzunluğunda bir tamsayıdır.

On altı bit uzunluğundaki SGA sinyal bilgisi PC'ye aşağıdaki fonksiyon ile Mode 0 (shift register) senkron haberleşme modunda 3 byte olarak (00 byte, high byte, low byte) gönderilir.



Şekil 1.8. SGA metodu programı akış diyagramı.

```

void trans(unsigned char x)
{
  unsigned char i,j;
  TXD=0;
  for(i=0;i<13; i=i+1;
    for(j=0;j<8;j++)
    {
      x=x>>1;
      TXD=CX;
      for(j=0;j<12; j=j+1;
    }
  for(i=0;i<1; i=i+1;
  TXD=1;
  for(i=0;i<13; i=i+1;
}

```

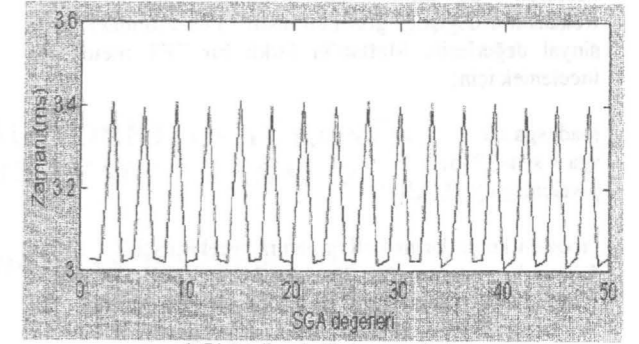
50HZ'lik 3 fazlı sistem besleme akımı için 2 belirlenmiş sıfır geçiş zamanı yaklaşık 3.333ms dir. Bu iki byte'lık bilgi 89C2051 µc'den dış PC'ye seri bağlantı aracılığı ile geçmesi gerekir. RS232 seri iletişimi sağlayan entegre MAX232 olarak bilinen 0-5V µc TTL sinyal seviyesi çıkışını RS232 seviyesine dönüştürmek için kullanılır.

VII. DENEY SONUÇLARI

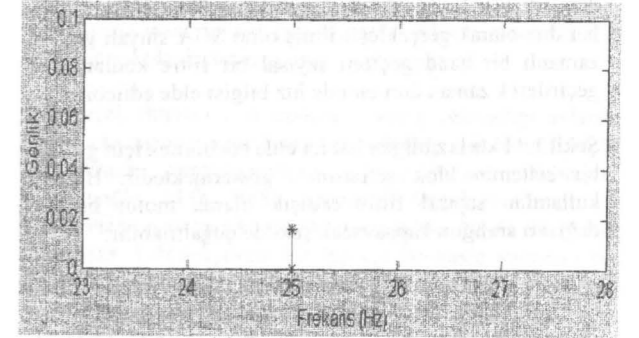
SGA sinyali olarak PC'ye gönderilen değerler aşağıdaki gibidir . Bu bilgilerin Matlab'ta değişim grafiği (Şekil 1.9 a)'da gösterilmiştir.

- 1: 3.018
- 2: 3.412
- 3: 3.028
- 4: 3.008
- 5: 3.389
- 6: 3.338
- 7: 3.008
- 8: 3.422
- 9: 3.025
- 10: 3.013
- 11: 3.388
- 12: 3.349
- 13: 3.007
- 14: 3.432
- 15: 3.037
- 16: 3.004
- 17: 3.390
- 18: 3.349
- 19: 3.003
- 20: 3.440

Motor boşa çalışırken Matlab paket programında verileri incelediğimizde rotor hızı 25Hz olarak tesbit edilmiştir(Şekil 1.9 b).

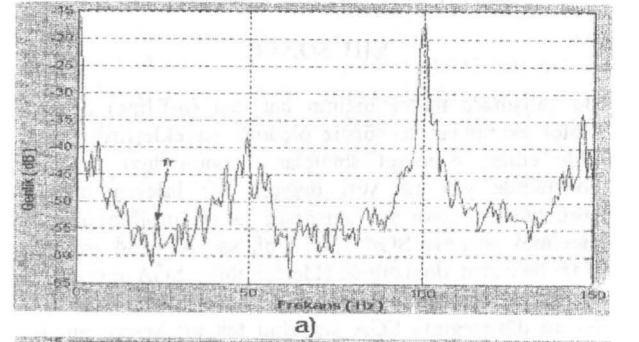


a) Sinyalin değişim grafiği.

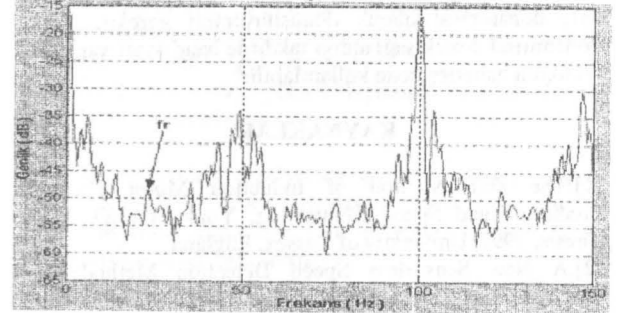


b) Frekans hesabı

Şekil 1.9 SGA sinyali motor boşa çalışırken



a)



b)

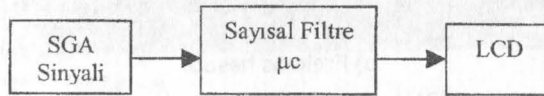
Şekil 1.10 PWELCH komutu ile SGA sinyali yük altında

Motorun yük altında çalıştırıldığı zaman fr rotor frekansının değiştiği gözetlenmiştir. Yük altındaki SGA sinyal değerlerini Matlab'ta farklı bir FFT metod ile incelemek için;

```
load sga.txt  
sga = sga-3.333;  
pwelch(sga,[],[],300)
```

program komutlarını kullanmamız gerekir.(Şekil 1.10. a) 4 kutuplu motorun yük altındaki SGA sinyal grafiği fr = 23.45 Hz dir. (Şekil 1.10. b) 4 kutuplu motorun belli bir zaman sonraki yük altındaki SGA sinyal grafiği fr = 23.44 Hz olarak hat dışı(off-line) tesbit edilmiştir. Motor hızı değıştikçe fr bileşeni sola doğru kaymaktadır. Bu ölçüm hat dışı olarak gerçekleştirilmiş olup SGA sinyali gerçek zamanlı bir band geçiren sayısal bir filtre kodlarından geçirilerek zaman domeninde hız bilgisi elde edilebilir.

Şekil 1.11'de hız bilgisi hat içi elde edebilmek için gerekli bir sistemin blok şemasını göstermektedir. Burada kullanılan sayısal filtre ardışık olarak motor hızının değışim aralığını kapsayacak şekilde çoğaltılabilir.



Şekil 1.11 Gerçek Zamanlı Hız Tesbit Blok Şeması

VIII. SONUÇ

Bu çalışmada motor hızının hat dışı (off-line) olarak motor akımından sensörsüz ölçümü gerçekleştirilmiştir. Elde edilen deneysel sonuçlarda motor hızı frekans domeninde yük ile yeri değışen bir bileşen olarak görülmüştür. Motor hızı sensörsüz hat içi (on-line) olarak ölçülmek istenirse SGA sinyali bir sayısal band geçiren filtre ile zaman domeninde elde edilebilir. SGA sinyali ile hat içi hız ölçümü gerçekleştirilebilmesi için motor hız ölçüm düzeneğinin SGA sinyalini tek bir kesme girişli hale donanımsal olarak dönüştürülmesi gerekir. Bu donanımsal destek sağlandığı takdirde baud ayarı yaparak asenkron haberleşmede kullanılabilir.

KAYNAKLAR

- [1].The ZCT Method of Induction Motor Failure Prediction and Speed Monitoring, Yuan WANG, Phd Thesis, 1997, University of Sussex, England
- [2].A New Sensorless Speed Detection Method By Fluctuation of Zero Crossing Time Signals in Induction

- Motors, O.Gürdal, O.Cesur, Journal Of Polytechnic,Vol:2, No:1, 1999
- [3].The 8051 Microcontroller Hardware, Software and Interfacing Second Edition James W. STEmart and Kai x. Miao -De Vry Institute of Technology North Brunsmisck, New Jersey (1999)
- [4].The 8051 Family of Microcontrollers Richard H. Barnett, PE, PhD Purdue University(1995)
- [5].Programming Embedded Systems in C and C++ Michael Barr (1999)