

İki ayaklı robottaki temel elektronik devreler

Sabri BİCAKCI^{1,*}, Davut AKDAŞ¹

¹Balıkesir Üniversitesi Müh.-Mim. Fak. Elektrik – Elektronik Müh. Böl., Çağış kampüsü, Balıkesir.

Özet

Bu makalede TÜBİTAK destekli “23 Serbestlik Dereceli İnsansı Koşan Robot” projesinin eklemlerini kontrol edebilmek için geliştirilen elektronik sistem tanıtılmaktadır. Bu sistem biri potansiyometre diğeri kodlayıcı olan iki ayrı dâhili duyardan eklem konumlarını algılamaktadır. Alınan konum bilgileri elektronik devreler ve kontrol bilgisayarı tarafından işlenerek gerekli kontrol sinyalleri üretilmektedir. Eklemleri sürmek için 3 farklı güçte motor kullanılmıştır. Bu motorların ihtiyaç duyduğu gücü, LM12 güç işlemsel kuvvetlendiricilerden oluşan servo sürücü devresi karşılamaktadır. Çevre şartlarından dolayı oluşan gürültüleri engelleyebilmek için kaskı diyotları ve özel filtre devreleri kullanılmıştır. Yapılan deneylerde ortaya çıkan hatalar tespit edilip giderilerek, elektronik devreler mevcut robot için en iyi hale getirilmiştir. Geliştirilen elektronik devre sistemi, 30 KHz gibi oldukça yüksek bir hızda çalışabilmektedir.

Anahtar kelimeler: İki ayaklı robot, elektronik devre.

Basic electronics circuits in a biped robot

Abstract

In this paper, electronic circuits that are used as a part of control system of a biped robot project titled “23 degree of Freedom Biped Robot” at Balıkesir University are introduced. The angles between adjacent joints are measured by a potentiometer and an kodlayıcı. Measured position information preprocessed by electronic circuits and than the control computer generates necessary control efforts. Three different types of DC electric motors are used. LM12 power opamps based power circuitry supplies the electric motors. In order to suppress environmental noise, clamp diodes and special low pass filters are being utilized. Electronic circuitry experimentally tuned to best service the current robotic system. Present control system can perform a very fast control loop that reaches 30 KHz.

Keywords: Biped robot, electronics circuit.

* Sabri BİCAKCI, sbicakci@balikesir.edu.tr, Tel: (266) 612 11 94

1. Giriş

Teknolojinin hızlı gelişimi ile robotik mekanizmalar üzerine araştırmalar yoğunlaşmıştır. Dünyadaki en gelişmiş varlık insan olduğu ve dünya yüzeyindeki sistemlerin tümü insana uygun tasarlandığı için en çok taklit edilmeye çalışılan mekanizma da insan bedenidir. İnsanın hareket etmesini sağlayan temel mekanizma eklemleridir. Eklem hareketlerini sağlayabilmek amacıyla birçok sitem geliştirilmiştir. Örnek olarak hidrolik sürücüler [1], pnömatik sürücüler (yapay kaslar) [2], [3], elektrik motorlu sürücüler [4],[5] verilebilir. Böyle sistemler genel olarak duyargalar, motor sürücü devreleri, filtreler, konum belirleyiciler ve bilgisayarlardan oluşmaktadır.

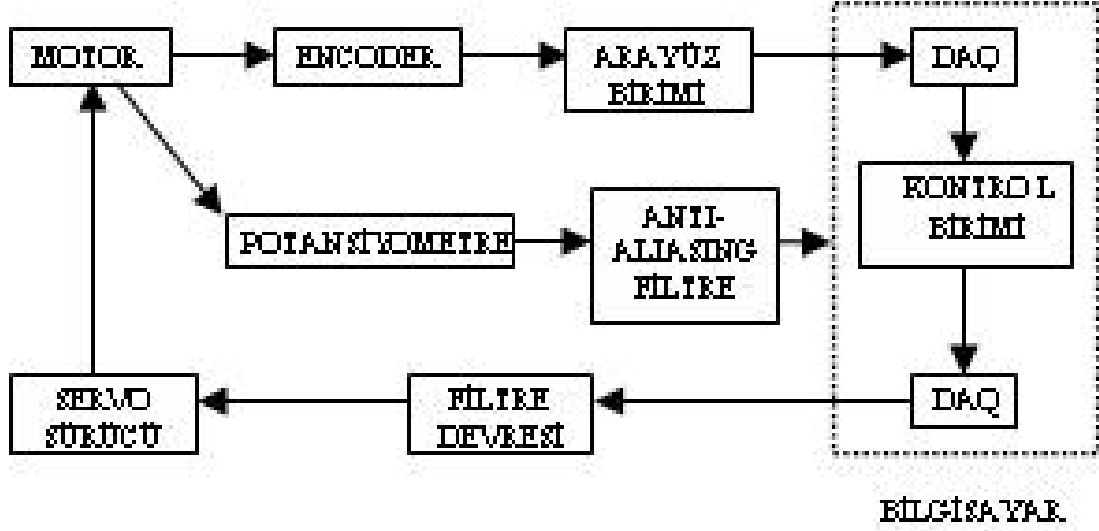
Löffler K., Gienger M. ve Pfeiffer F. çalışmalarında robotun uyguladığı ve robota gelen kuvvetleri ölçebilmek için tork duyargaları kullanmış ve böylece robotun daha seri hareket edebilmesini sağlamışlardır [6]. Bazı araştırmacılar da eğimli yüzeylerde robotu yürütebilmek amacıyla eklemlerin mutlak açısını belirleyebilmek için eğimölçerler (gyro) kullanmışlardır [7]. Robotun yürüdüğü ortamdaki nesnelere algılayabilmek için kamera ve ultrasonik duyargalar gibi harici algılayıcılar kullanılmıştır. Inaba robotun kafasına yerleştirdiği küçük bir kamera ile robotun düşüp düşmeyeceğini algılayabilmiştir [8]. Kajita Metran II adlı robotunda küçük nesnelere ultrasonik duyargayla algılamış ve eklem yörüngelerini bu bilgileri kullanarak yeniden düzenlemiştir [9]. Bu çalışmada eklemler arasındaki göreceli açıyı belirleyebilmek için dâhili duyargalardan potansiyometre ve kodlayıcı kullanılmıştır.

Bu çalışmada, Balıkesir Üniversitesindeki TÜBİTAK destekli “23 Serbestlik Dereceli İnsansı Koşan Robot” projesinin eklemlerini kontrol edebilmek için geliştirilen elektronik sistem tanıtılmaktadır. Bu sistem biri potansiyometre diğeri kodlayıcı olan iki ayrı dâhili duyargadan eklem konumlarını algılamaktadır. Alınan konum bilgileri elektronik devreler ve kontrol bilgisayarı tarafından işlenerek gerekli kontrol sinyalleri üretilmektedir. Eklemleri sürmek için 3 farklı güçte motor kullanılmıştır. Bu motorların ihtiyaç duyduğu gücü, LM12 güç işlemsel kuvvetlendiricilerden oluşan servo sürücü devresi karşılamaktadır. Çevre şartlarından dolayı oluşan gürültüleri engelleyebilmek için kaskı diyotları ve özel filtre devreleri kullanılmıştır. Yapılan deneylerde ortaya çıkan hatalar tespit edilip giderilerek, elektronik devreler mevcut robot için en iyi hale getirilmiştir. Geliştirilen elektronik devre sistemi, 30 KHz gibi oldukça yüksek bir hızda çalışabilmektedir. Tasarlanan robot yaklaşık 145 cm boyunda ve 55 kg ağırlığındadır. Robot 23 adet eklem sahiptir. Eklemler insanın vücut yapısı göz önünde bulundurularak yerleştirilmiştir fakat robotun bazı eklemlerinin hareket kabiliyeti insanınkinden fazladır. Örneğin diz eklemlerinde diz kapağına benzer bir mekanizma bulunmamaktadır. Bu farklılıkların nedeni ise farklı yürüyüş tekniklerini test edebilmektir. Robot simetrik tasarlandığı için ön ve arka kavramı yoktur. Her iki yöne de aynı şekilde hareket edebilmektedir. Robot hakkında daha ayrıntılı bilgi [12] ve [13] de mevcuttur.

İlk olarak tasarlanan elektronik sistemin çalışması tanıtılacak, sistemde kullanılan motorlar, algılayıcılar ve sinyal işleme birimlerinin özellikleri ve sistem içindeki görevleri anlatılacaktır. Daha robot ile yapılan sistem deneylerinde karşılaşılan sorunlardan bahsedilecek ve bunlara uygulanan çözümler anlatılacaktır.

2. Elektronik sistemin yapısı

Şekil 1’ de elektronik sistem görülmektedir. Motorun konumu kullanılan kodlayıcı sistemi ile algılanmakta ve bu sistemin yüksek hız gereksinimi için özel olarak tasarlanan ara yüz birimi ile hesaplanmaktadır. Ayrıca potansiyometre aracılığı ile de eklemlerin gerçek konumları voltaj olarak tespit edilmektedir. Buradan alınan konum bilgisi DAQ kartı aracılığı ile bilgisayardaki kontrol sistemine iletilmektedir. Burada kontrol algoritması ile, yapılmak istenen harekete bağlı olarak ulaşılması gereken konum hesaplanmakta ve buna uygun çıkış sinyali DAQ cihazı aracılığı ile filtre devresinden geçirilip servo sürücü üzerinden motora uygulanmaktadır.



Şekil 1. Elektronik sistem.

2.1. Motorlar

Balıkesir Üniversitesi Elektrik – Elektronik Mühendisliği Bölümü’ nde çalışmalarını devam eden robotun hareket etmesini sağlayan 23 adet motor bulunmaktadır. Mekanik tasarıma bağlı olarak robotun yürüyebilmesi için eklemlerde ihtiyaç duyulabilecek gücü sağlayabilmek için Maxon firmasının 20 W, 70 W ve 150 W olmak üzere üç farklı güçte motoru kullanılmıştır. Aşağıda bu motorların parametreleri verilmiştir [10];

20 Watt için ;

Tork Sabiti (Torque Constant, K_T) : 23.4 mNm/A

Direnç (Resistance, R_T) : 2.32 Ω

Endüktans (Inductance, L) : 0.24 mH

Yüksüz Akım (No – Load Current, I_{NL}) : 37 mA

Maksimum Akım (Peak Current, I_P) : 10.4 A

Atalet Momenti (Rotor Inertia, J) : 10.3 gcm² (kodlayıcı ile)

70Watt için ;

Tork Sabiti (Torque Constant, K_T) : 36.4 mNm/A

Direnç (Resistance, R_T) : 0.316 Ω

Endüktans (Inductance, L) : 0.20 mH

Yüksüz Akım (No – Load Current, I_{NL}) : 105 mA

Maksimum Akım (Peak Current, I_P) : 21.5 A

Atalet Momenti (Rotor Inertia, J) : 67.7 gcm² (kodlayıcı ile)

150 Watt için ;

Tork Sabiti (Torque Constant, K_T) : 30.2 mNm/A

Direnç (Resistance, R_T) : 1.11 Ω

Endüktans (Inductance, L) : 0.08 mH

Yüksüz Akım (No – Load Current, I_{NL}) : 137 mA

Maksimum Akım (Peak Current, I_P) : 75.9 A

Atalet Momenti (Rotor Inertia, J) : 134 gcm² (kodlayıcı ile)

Sürtünmeleri ihmal ettikten sonra motorların matematik modeli aşağıdaki gibi elde edilir [11];

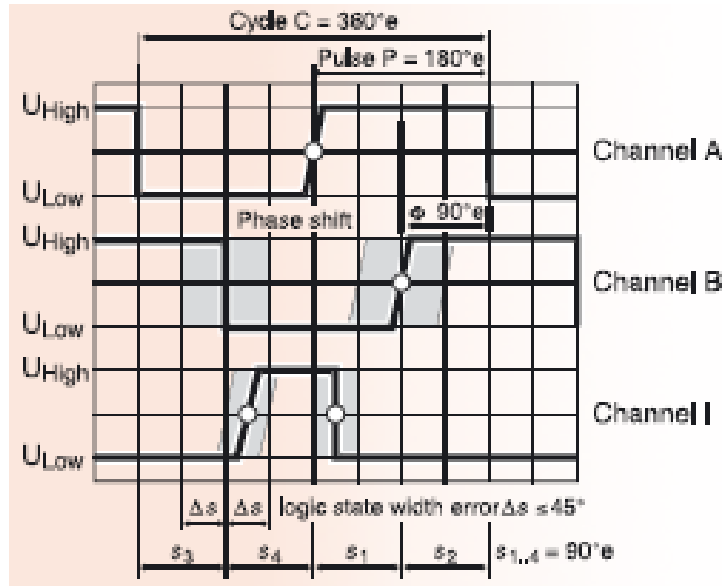
$$\frac{\theta(s)}{V(s)} = \frac{K_T}{s(JLs^2 + JRs + K_E K_T)} \quad (1)$$

150 Watt'lık motor 2.2Nm döndürme kuvvetini 24V, 75.9A'lık güç değerlerinde üretebilmektedir. Motorun zaman sabiti 4.8ms'dir. Fakat motorun nominal torku 0.17Nm, nominal akımı ise 5.7A'dır. Motorun hasar almadan güvenli bir şekilde çalışabilmesi için eklemine göre en az 25Nm tork gerekmektedir. Bu nedenle Maxon firmasının planet dişli kutusu kullanılmıştır. Bu dişli kutusu 150:1'lik dönüştürme oranına sahiptir [10]. Böylece tork 150 kat artırılmıştır.

2.2. Duyargalar

2.2.1. Kodlayıcı

Motorların tur sayısını ve dönüş yönünü belirleyebilmek için yine Maxon firmasının HEDL 5540 model manyetik kodlayıcı sistemi kullanılmıştır. Bu kodlayıcı sistemi 1/500 (tur/adım) hassasiyetinde algılama yapabilmektedir ve maksimum çalışma frekansı 100 kHz'dir [10]. Motor, dişli kutusu ve kodlayıcı sistemi Maxon firması tarafından birleştirilmiştir ve tam bir bütünlük arz etmektedir. Kodlayıcı çıkışlarından elde edilen bilgi sinyali EIA Standard RS 422 standardında ve Şekil 2'de gösterilen formattadır;



Şekil 2. Kodlayıcı çıkış sinyalleri.

Kodlayıcıdan konum bilgisi sayısal olarak elde edildiği için gürültü ihtiva etmemektedir. Doğrudan motor şaftına bağlı olduğu için eklem boşluklarını algılayamamaktadır.

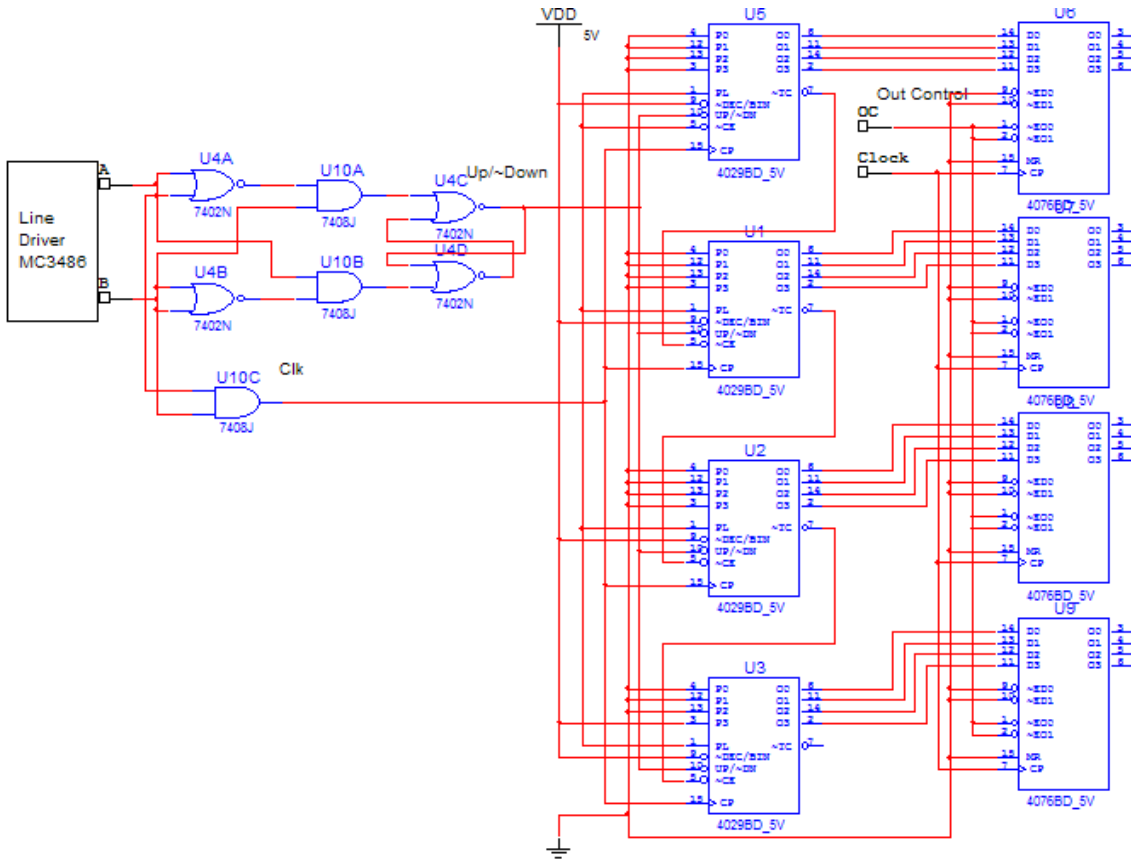
2.2.2. Potansiyometre

Eklemler arasındaki açıyı algılayabilmek için kullanılan diğer duyurga ise sonsuz turlu servo potansiyometredir. Potansiyometre eklem şaftına doğrudan bağlı olduğu için eklemler arasındaki boşlukları algılayabilmektedir. Fakat potansiyometre ölçümü analog olarak gerçekleştirdiğinden çevresel gürültülerden etkilenmektedir.

2.3. Ara yüz devresi

Robotta sistem dinamikleri hızlıdır. Bundan dolayı sistemin işleyişi daha hızlı olmalıdır. Bu hız gereksinimini karşılayabilmek için kodlayıcı çıkışındaki bilgiyi konum bilgisine dönüştüren ara yüz devresi tasarlanmıştır. Şekil 3' de devre şeması gösterilmektedir.

Tasarlanan ara yüz devresi kodlayıcı nın çıkış hızının çok üzerinde bir hızla (yaklaşık 2 MHz) çalışabilmektedir. Kodlayıcı çıkışlarındaki 90° lik faz farkının yönünden motorun dönüş yönü ve motorun adım atıp atmadığı belirlenmektedir. Yüksek hassasiyet gereksiniminden dolayı 20 bitlik konum bilgisi kullanılmıştır. Ara yüz devresi 0,0004 radyanlık değişimleri algılayabilmektedir. Bu hassasiyet değeri dünyadaki diğer insansı robotlarından oldukça fazladır (Asimo, Gonzales [5]).



Şekil 3. Kodlayıcı çıkış sinyalleri.

2.4. Örtüşme önleyici filtre devresi

Örtüşme önleyici filtresi bir alçak geçiren filtredir. Sistemin doğal frekansından daha yüksek frekandaki sinyallerin DAQ kartı tarafından örneklenerek yanlış okumalara sebep vermemesi için bu filtre kullanılmıştır. Filtrenin kesim frekansı 50Hz dir.

2.5. Alçak geçiren filtre devresi

Alçak geçiren filtre dijital kartın oluşturduğu süreksizlik noktalarını sürekli hale getirmektedir. Böylece o noktalarda güç elektroniğinin gürültü sinyallerini güçlendirmesi engellenmektedir. Ayrıca motorların tepki veremeyeceği yüksek frekanslı sinyaller azaltılmaktadır. Filtrenin kesim frekansı 50Hz dir.

2.6. DAQ Kartının Özellikleri

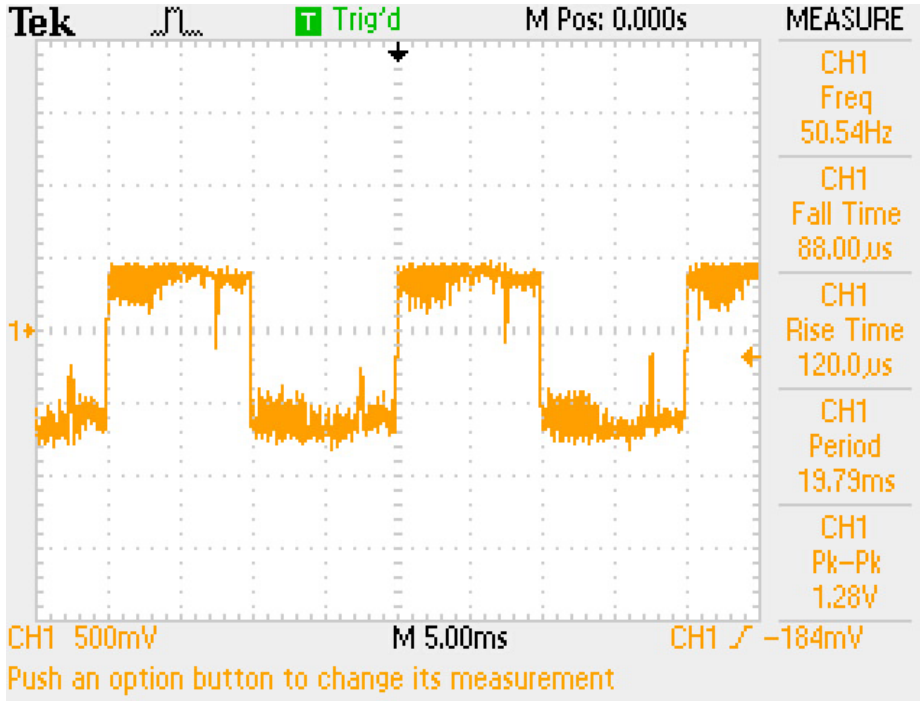
Tasarlanan sistemin dinamiklerinin hızlı olmasından dolayı yüksek hızlarda veri alış verişi yapabilen Adlink firmasının DIO ve DAC modeli DAQ cihazları kullanılmıştır. Bu cihazlar, 32 tek uçlu (single ended) giriş için, 500 ks/s örnekleme hızına ve 16 bit çözünürlüğe sahiptir.

2.7. Servo Sürücü Devresi

DAQ kartının kapılarından en fazla kapı başına 10mA akım alınabilmektedir. Motorları sürmek için gerekli akım değerleri ise 0.1A – 50A arasında değişmektedir. Bu güç gereksinimini sağlayabilmek için servo sürücü devresi kullanılmaktadır. Ayrıca DAQ kartının çıkış voltaj aralığı $\pm 10V$ dur. Motorlar ise $\pm 24V$ dur. Gerekli voltaj kazancını da bu devre sağlamaktadır. Servo sürücü devresi güç işlemsel kuvvetlendiricilerinin (LM12) paralel bağlantısından oluşmaktadır.

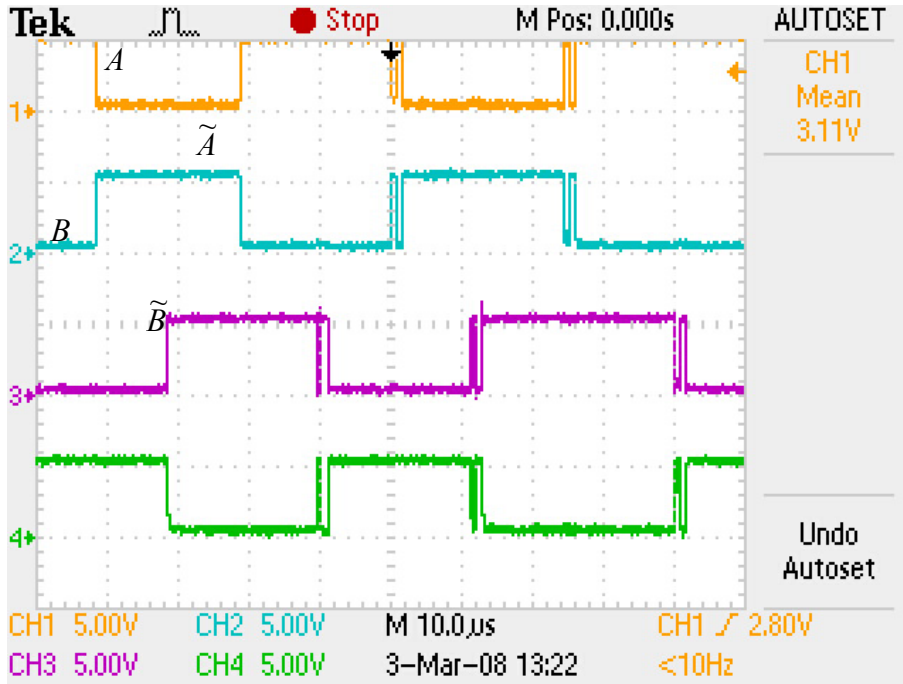
3. Sorunlar ve çözümleri

Servo sürücü devrelerinde endüstride sıkça kullanılan LM12 güç işlemsel kuvvetlendiricileri kullanılmıştır. Bir LM12 çıkışından en fazla 10A alınabilmektedir. Bu nedenle güç işlemsel kuvvetlendiricileri paralel olarak bağlanmıştır. Aralarına tampon devre elemanları yerleştirilmiştir. Gürültü seviyesinin yüksek olmasından dolayı tampon kaskı diyotları kullanılmıştır. Bunlar paralel işlemsel kuvvetlendiriciler arasında çift yönlü eşik voltajı oluşturarak, işlemsel kuvvetlendiricilerin birbirini sürmesi engellenmeye çalışılmıştır. Fakat gürültünün rasgele aralıklarla bu eşik voltajını geçtiği gözlemlenmiştir. Şekil 4’ de motorları sürmede kullanılan güç sinyalindeki gürültü görülmektedir. Çözüm olarak her bir bağlantı elemanının ve devre elemanlarının yalıtımı yapılmıştır. Böylece sorun giderilmiştir.



Şekil 4. Güç devresi çıkışındaki gürültü.

Kodlayıcı içerisinde MOSFET devre elemanları bulunmakta olup bunlar statik elektriğe karşı son derece hassastırlar. Bu nedenle robotun mekanik aksamında oluşan herhangi bir statik elektrik boşalması (insanın temas etmesi gibi) anında hasar alabilmektedirler (Bu çalışmada 3 adet kodlayıcı bu sebepten dolayı zarar görmüştür). Şekil 5' de çalışmalar esnasında hasar almış bir kodlayıcıya ait çıkış sinyalleri görülmektedir. Motorun konumu bu çıkış sinyallerine göre belirlenmektedir. Bu sinyallerdeki istenmeyen dalgalanmalar hatalı konum bilgisine sebep olmaktadır.



Şekil V: Hasarlı kodlayıcıya ait çıkış sinyalleri

Bunu engelleyebilmek için robotun mekanik aksamının topraklaması yapılmıştır. Ayrıca kodlayıcı çıkışı yalıtılıp bir tampon devre aracılığı ile elektronik sisteme bağlanmıştır.

DAQ kartı ile elektronik sistemin bağlantısını sağlayan, bilgi akış devresi içindeki anahtarlama elemanları, yüksek hızları nedeni ile MOSFET lerden tasarlanmıştır. Fakat kodlayıcı da olduğu gibi sisteme herhangi bir noktadan uygulanan statik elektrik çok kolay bir şekilde bu MOSFET leri yakabilmekteydi. Hatta DAQ çıkışlarının yanmasına bile sebebiyet verebilmekteydi. Buna kesin çözüm olarak küçük sinyal anahtarlama transistörleri (BJT) MOSFET ler yerine kullanılarak sorun giderilmiştir.

4. Sonuçlar

Balıkesir Üniversitesi Elektrik – Elektronik Mühendisliği Bölümü’ ndeki iki ayaklı robotun eklemlerindeki motorlar, tasarlanan elektronik sistem ile başarılı bir şekilde sürülmüştür. Duyargalar, kontrol bilgisayarı ve tüm ara elektronik devrelerin birbiri ile uyumlu çalışması sağlanmıştır. Bütün elektronik sistem robotun kontrol döngüsünün 30 KHz’ de çalışmasına olanak sağlamaktadır. Elde edilen çalışma hızı, yürüyen robotların kontrol edilebilmesi için yeterlidir. Dolayısıyla bu makalede tanıtılan elektronik sistem diğer robotik mekanizmalara da uygulanabilir.

Daha sonraki çalışmalarda mevcut sistem farklı duyargaların de kontrol döngüsüne katılabilmesi için geliştirilebilir.

Kaynaklar

- [1] Kato I. ve Tsuiki H., “**Hydraulically Powered Biped Walking Machine with a High Carrying Capacity**”, *Proceedings of the 4th International Symposium on External Control of Human Extremities*, 1972, pp. 410-421.
- [2] Caldwell D. G., Tsagarakis N. ve Medrano-Cedra G. A., “**Pneumatic Muscle Actuator Technology a Light Weight Power System for a Humanoid Robot**”, *Proceedings of the 1998 IEEE International Conference on Robotics and Automation, Leuven, Belgium, May 1998*, pp. 3053-3058.
- [3] Hosoda K., Takuma T., Nakamoto A. ve Hayashi S. “**Biped robot design powered by antagonistic pneumatic actuators for multi-modal locomotion**”, *Robotics and Autonomous Systems* 56, 2008, 46-53
- [4] Akdas D. ve Medrano-Cerda G. A., “**Design of a Stabilizing Controller for a 10-degree of Freedom Bipedial Robot Using Linear Quadratic Regulator Theory**”, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part C, Vol. 215 No C1*, 2000, pp. 27-43
- [5] Akdas D. ve Medrano-Cedra G. A., “**A Systematic Approach for Biped Robot Stabilization and Locomotion**”, *International Conference on Information Technology in Mechatronics, Istanbul, Turkey, 1-3 October 2001*, pp. 197-202

- [6] Löffler K., Gienger M., Pfeiffer F., ve Ulbrich H., "**Sensors and Control concept of a biped robot**", *IEEE Transactions on Industrial Electronics Volume 51 No 5*, 2004
- [7] Lin P. C., Komşuoğlu H., ve Koditschek D. E., "**Sensor Data Fusion for Body State Estimation in a Hexapod Robot With Dynamical Gaits**", *IEEE Transactions On Robotics*, Vol. 22, No. 5, October 2006, pp. 932-943
- [8] Inaba M., Kanehiro M., Kagami F. S. ve Inoue H., "**Two-Armed Bipedial Robot that can Walk, Roll Over and Stand Up**", *Proceedings of the 1995 IEEE International Conference on Intelligent Robots and System*, Vol. 3, 1995, pp 297-302
- [9] Kajita S. ve Tani K., "**Adaptive Gait Control of a Biped Robot Based on a Real Time Sensing of the Ground Profile**", *Proceedings of the 1996 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Minneapolis, April 1996, pp. 570-577
- [10] **Maxon Motors Data Sheet**, www.maxonmotor.com
- [11] Graham C. Goodwin, Stefan F. Graebe, Mario E. Salgado, "**Control System Design**", *Prentice Hall*, Upper Saddle River, New Jersey, 2001
- [12] Akdas D. ve Bıçakcı S., "**İnsansı Robotun Kontrol Sistem Dizaynı**", *ELECO 2008*, Sayfa 397-402, Bursa, 2008.
- [13] Akdas D. ve Bıçakcı S., "**Türkiye'nin İlk Çok Serbestlik Dereceli Prototip İnsansı Robotunun Tanıtımı**", *Çukurova Üniversitesi, Mmf, 30. Yıl Konferansı*, Adana, 2008.