SETSCI Conference Indexing System,
Volume 2 (2018), 456-459

ISAS 2018
I[st] International Symposium on Innovative Approaches in Scientific Studies
April 11-13, 2018, Kemer-Antalya, Turkey

Çift Yan Bant Modülasyon ve Demodülasyona Dayalı Kapasitif Rotary Enkoder

Ali Tahir Karaşahin [1*+], Mehmet Karalı [1]

[1]*Necmettin Erbakan Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye*
**Corresponding author: atahirkarasahin@gmail.com*
+Speaker: atahirkarasahin@gmail.com
Presentation/Paper Type: Oral / Full Paper

Özet **–** Bu çalışmada, robotik uygulamalarda yaygın bir şekilde kullanılan kapasitif rotary enkoder anlatılacaktır. Kapasitif rotary enkoderler hem açısal pozisyon hem de açısal hız ölçmede kullanılmaktadır. Enkoder temel olarak 3 ana parçadan oluşmaktadır: 1. komple iletken olan sabit dairesel plaka; 2. merkezi diğer plakalardan kaydırılan yalıtkan hareketli plaka; 3. komple iletken ve elektrotların olduğu dört eşit parçaya ayrılan sabit alt plaka. Bir sinüzoidal sinyal, komple iletken olan sabit plakaya uygulanmaktadır. Dönme hareketi esnasında iki iletken plaka arasında kapasitans oluşmaktadır. Sinüzoidal sinyal, kapasitans-gerilim entegreleri sayesinde modülasyon işlemine hazırlanmıştır. Ardından, MATLAB ortamında çift yan bant demodülasyon işlemi ile açısal hız ve pozisyon çıktısı elde edilmiştir. MATLAB ortamında; iki iletken plaka arasında kapasitans oluşumu, çift yan bant modülasyon ve demodülasyon işlemi, demodülasyon işleminden geçen sinyale 2. dereceden alçak geçiren filtre uygulanması ve arctangent işlemi gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda, girişte gürültülü bir şekilde sisteme uygulanan sinüzoidal sinyalin çıkışta gürültüsüz olduğu gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler – Kapasitif sensör, Açısal pozisyon sensörü, Çift yan bant demodülasyon, Kapasitans ölçümü

Abstract **–** In this study, a capacitive rotary encoder, which is used widely in robotic applications, will be described. Capacitive rotary encoders are used for both angular position and angular velocity measurement. The encoder basically consists of three parts: 1. fixed circular plate with complex conductor; 2. moving plate with insulator shifted from other central plates; 3. fixed bottom plate divided into four equal parts with complex conductor and electrodes. A sinusoidal signal is applied to a fixed plate, which is a complex conductor. During the rotation movement, the capacitance is formed between the two conducting plates. The sinusoidal signal is prepared for the modulation process by capacitance-to-voltage integrations. Subsequently, in the MATLAB environment, the angular position and velocity output were obtained by double sideband demodulation. In the MATLAB; capacitance formation between two conductive plates, double sideband modulation and demodulation, application of 2nd low pass filter to the signal passing through demodulation process and arctangent operation are performed. As a result of study, it was observed that the signal applied to the system in a noise condition at the input was noiseless at the output.

Keywords – Capacitive sensor, Angular position sensor, Double sideband demodulation, Capacitance measurement

I. GİRİŞ

Açısal pozisyon ve hız bilgisi çeşitli uygulamalarda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Örneğin, otomotiv kontrol sistemlerinde, endüstriyel robotik otomasyon uygulamalarında, endüstriyel ölçme uygulamalarında sıklıkla karşımıza çıkmaktadır. Farklı işlemleri gerçekleştirmek üzere programlanan denetleyiciler için önemli bir geri besleme bilgisi haline gelmiştir. Endüstrideki gerçekleşen yeniliklerle beraber bu tarz açısal poziyon ve hız bilgisi üreten sensörlerden istenen teknik yeteneklerde sabit kalmamıştır. Yüksek çözünürlükte çıkış bilgisi, yüksek tekrarlanabilirlik ve kararlılık, düşük hacim ve düşük maliyet gibi önemli özellikler kapasitif rotary enkoder sensörlerin teknik yeterlilikleri haline gelmiştir [1-2].

Optik açısal sensörler ve elektromanyetik resolver endüstriyel ve akademik projelerde sıklıkla kullanılan açısal konum sensörleridir [3]. Optik sensörler açısal pozisyon bilgisini yüksek çözünürlükte üretebilmektedir. Fakat optik sensörün performansı ağır çevresel şartlarda düşmektedir, örneğin mekanik titreşim, yüksek sıcaklık veya aşırı kirlilik gibi durumlar. Elektromanyetik resolver ise optik enkodere göre belirtilen çalışma ortamlarında daha iyi sinyal çıkışı üretmektedir. Elektromanyetik resolver optik sensörlere göre, ağır şartlarda optimum çıkış sinyali üretmesine rağmen, yeterli çözünürlükte ve doğrulukta çıkış sinyali üretememektedir. Ayrıca, hem optik enkoderler hem de elektromanyetik nispeten pahalıdır ve çeşitli uygulama senaryolarında sıklıkla kullanılmaktadır [4-6].

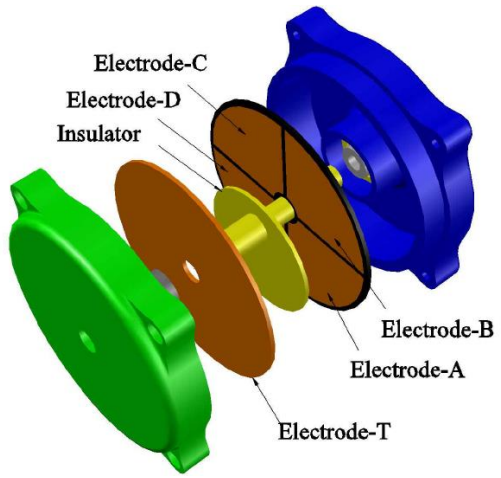
Kapasitif açısal sensörler, optik sensörlere ve elektromanyetik çözücülere göre bazı önemli avantajlar sağlamaktadır. Elektromanyetik çözücüler ile karşılaştırıldığında, kapasitif açısal sensör düşük maliyet ve basit yapısı nedeniyle üstünlük sağlamaktadır. Kapasitif rotary enkoderin ana bileşeni baskılı devre kartı olduğu için maliyet ve sensörün yapısına avantajı getirmektedir. Nem ve

yağ gibi endüstriyel kirliliğe karşı duyarlı olmasına rağmen, bu durum belirtilen şartlara uygun bir muhafaza ile Kapasitif açısal enkoder hem yüksek hassasiyetle beraber iyi bir sağlamlık açısından hem de düşük maliyet, basit bir yapı ve düşük güç tüketiminden dolayı kritik bir cihazdır [7].

II. MATERYAL VE YÖNTEM

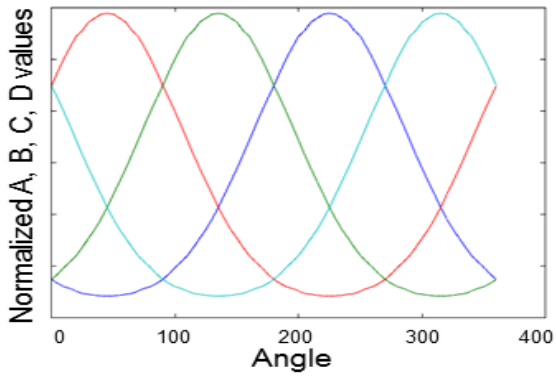
A. *Mekanik Tasarım*

Şekil 1'de kapasitif rotary enkoderin şematik tasarımı gösterilmiştir [8]. Enkoder 3 plakadan oluşmaktadır. Elektrot T rotary enkoderin tamamı iletken ve sabit üst plakasıdır. Alttaki plaka ise yine aynı şekilde iletken ve sabittir. Fakat alttaki plaka 4 çeyrek daire dilimlerine ayrılmıştır. 4 eşit parçaya ayrılan kısım Elektrot –A, B, C ve D'den oluşmaktadır. Hareketli plaka ise merkezi diğer plakalardan kaydırılmış yalıtkan disktir. Kapasitif rotary enkoderin çevresel ortam şartlarından izolesi, alt ve üstte bulunan muhafaza parçalarıyla sağlanmaktadır.



Şekil 1. Kapasitif rotary enkoder şematik çizim tasarımı

Kapasitif rotary enkoderin tasarımına göre, Elektrot T-A, T-B, T-C ve T-D arasında 4 kapasitör oluşmaktadır. İzole parça belirtilen kapasitörler arasında hava/ dönen disk /hava formunda bir sandviç katmanı oluşturmaktadır. Bu yapı kapasitansı arttıran bir model olarak karşımıza çıkmaktadır. Kapasitansı arttırmak için ayrıca iki iletken plaka arasındaki mesafeyi azaltmakta farklı bir çözüm yoludur.



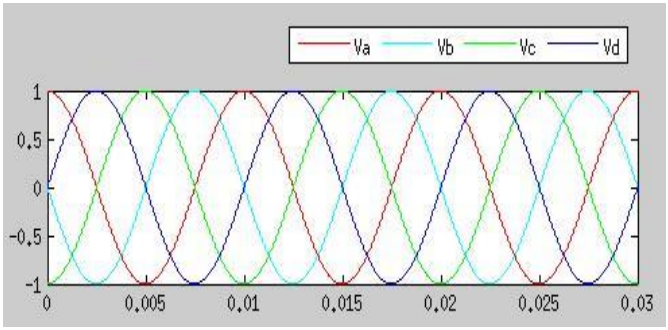
Şekil 2. A, B, C ve D kapasitans değerlerinin MATLAB simülasyon sonuçları

aşılabilmektedir.

Şekil 2'de yalıtkan disk dönme açısına göre oluşan A, B, C ve D kapasitans değerlerinin MATLAB simülasyon sonuçları görülmektedir. Merkezi kaydırılmış disk dönme hareketine başladığında, genellikle Elektrot T ve Elektrot A arasında kapasitans değeri maksimum olurken aynı zamanda C kapasitör değerinin minimuma gittiği görülmüştür. Benzer durum B ve D kapasitörleri içinde geçerlidir. Birisi maksimuma doğru giderken diğer kapasitörde minimuma gitmektedir. Bu durum Elektrot T ve Elektrot A arasında oluşan alanla doğrudan ilişkilidir. Alttaki sabit iletken plaka 4 çeyrek daire dilimlerine ayrıldığı için oluşan kapasitans değerleri arasında 90 derece faz farkı oluşmaktadır.

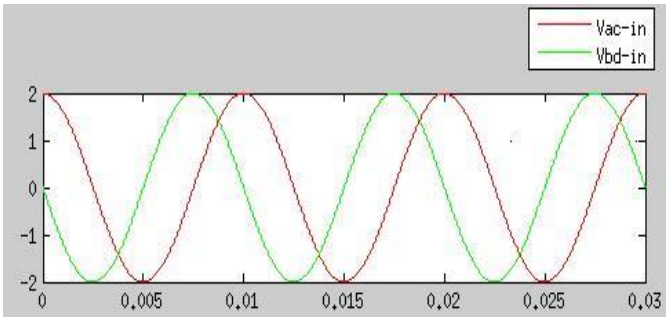
B. *Elektronik Tasarım*

Şekil 3'te modüle edilecek sinyaller gösterilmiştir. MATLAB ortamında yapılacak simülasyonlarda kapasitif rotary enkoder milinin frekansı 100 Hz olarak kabul edilmiştir. Modülasyon işlemi için frekansı 100 kHz olan bir sinüs üretilecektir. Üretilen sinüs frekansının 4 katı değer ile örnekleme yapılacaktır. Yani 100 kHz üretilen sinyal, 400 kHz örnekleme oranı ile okunacaktır.



Şekil 3. Elektrot A, B, C ve D değerleri

Kapasitanslar arasında birbirini tamamlayan bir yapı oluşturmak adına Elektrot A ile Elektrot C, Elektrot B ile Elektrot D gruplandırılmıştır. Elektrot A ile C arasında oluşan kapasitans değeri Şekil 4'te gösterilmiştir.



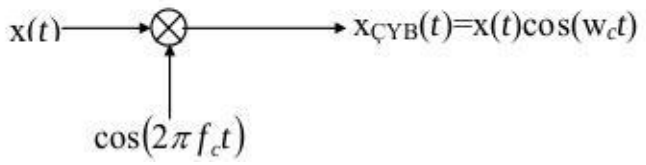
Şekil 4. Elektrot A - C, B – D arasında oluşan kapasitans farkı

Genlik modülasyonunda kullanılan taşıyıcı işaret

$$x_c(t) = A_c cos(w_c t) \quad (1)$$

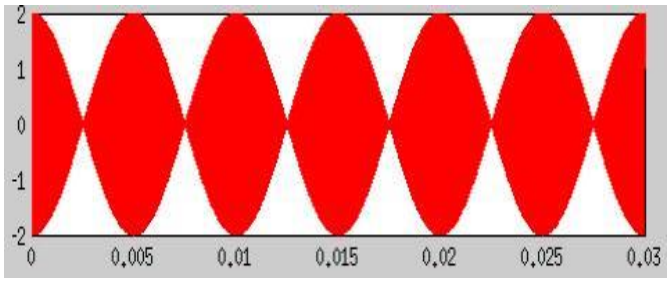
Sinüzoidal taşıyıcı işaret ile bilgi işaretinin zaman alanında çarpılmasıyla çift yan bant işareti elde edilir [9]. Formül ile belirtilen ifadenin şematik gösterimi Şekil 5'de gösterilmiştir.

$$X_{ÇYB}(t) = x(t)x_c(t) = x(t)cos(w_c t) \quad (2)$$



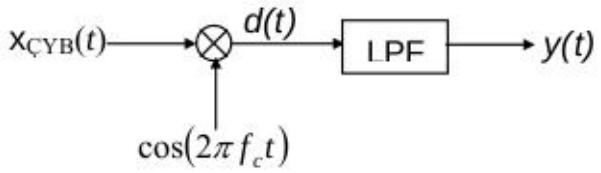
Şekil 5. Çift yan bant sinyalin modülasyon işlemi

Merkezi kaydırılmış diskin hareketiyle oluşan 100 Hz'lik sinyal ile başlayan süreç, modülasyon işlemi için üretilen 100 kHz ile sinyal ile çarpılmasıyla devam etmektedir. Kapasitif rotary enkoderin modülasyon işlem çıkışı Şekil 6'da gösterilmiştir.



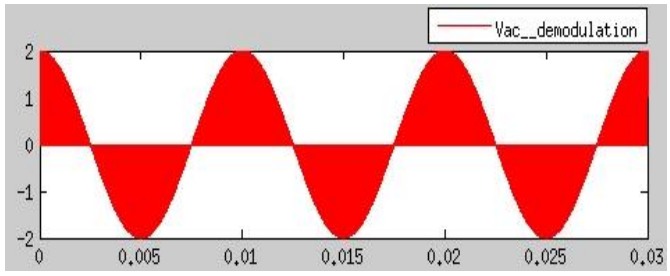
Şekil 6. Modülasyon işlemi çıkışında oluşan çıkış

Taşınan bilgi işaretine ulaşabilmek için modülasyon işlemi ardından sinyalin demodülasyonu gerekmektedir. Demodülasyon işleminin şematik hali Şekil 7'de gösterilmiştir.



Şekil 7. Çift yan bant sinyalin demodülasyon işlemi

Mesaj işareti m(t) çift yand bant sinyalli işaretin yerel taşıyıcı ile çarpılması sonucunda ortaya çıkan işaretin alçak geçiren filtreden (LPF) geçirilmesiyle geri elde edilir. MATLAB ortamında yapılan demodülasyon işlemi çıkışındaki sinyal Şekil 8'de gösterilmiştir.



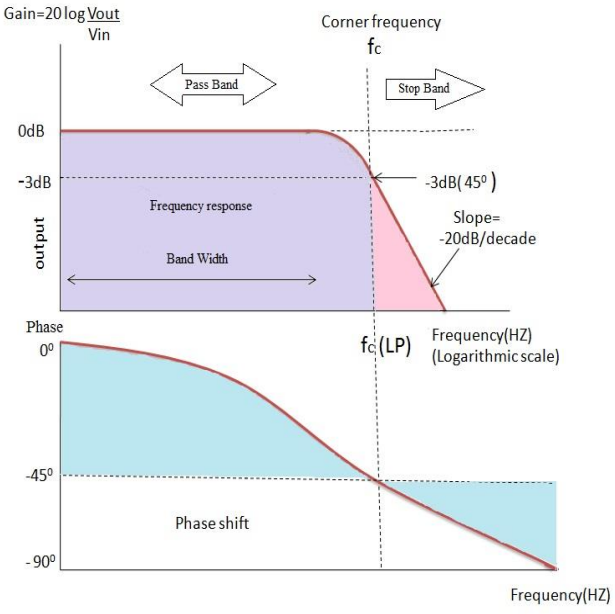
Şekil 8. Çift yan bant sinyalin demodülasyon işlemi

Filtreler genellikle aralıklarına göre, pass-band'deki frekans cevabına göre ve devre elemanlarına göre sınıflandırırlar. Filtreleme aralığına göre sınıflandırmada, dört çeşit filtre mevcuttur; alçak geçiren(low-pass), yüksek geçiren(high-pass), bant geçiren(band-pass) ve de bant durduran(bant-reject) filtrelerdir.

Devre elemanlarına göre sınıflandırmada ise, iki çeşit filtre mevcuttur; aktif ve pasif filtreler. Pasif filtreler, devrelerinde sadece pasif elemanlar(direnç, bobin ve kapasite) bulunduran yapılardır. Bu pasif elemanlar birbirlerine o şekilde bağlanır ki sadece belirli frekansları geçirirken diğer frekanslarında sönümlendirirler.

Aktif filtreler, yapılarında aktif malzemeler(transistör ve işlemsel yükselteçler) ve ayrıca direnç, bobin ve kapasite içeren devrelerdir. Aktif filtreler modern haberleşme sistemlerinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Çünkü aktif filtreler aşağıda belirtiler avantajlara sahiptirler [10]:

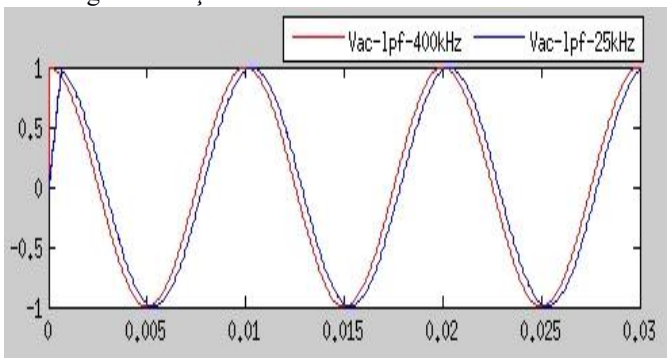
- İndüktif karakteristiğe sahip transfer fonksiyonları, özel devre tasarımlarıyla gerçekleştirilebildiğinden dolayı, indüktanslar yerine direnç kullanılabilmektedir.
- İşlemsel yükselteçin yüksek giriş empedansı ve düşük çıkış empedansına sahip olmasından dolayı, filtre devresi mükemmel izolasyon karakteristiğine sahip olmakla beraber kaskat yapılar içinde son derece uygundur.



Şekil 9. Birinci dereceden alçak geçiren filtre karakteristiği [11]

Yapılan simülasyon sonucunda mesaj işaretini elde etmek için son bir işlem kalmıştır. Demodüle edilen sinyale, alçak geçiren filtre uygulanması sonucunda mesaj işaretine

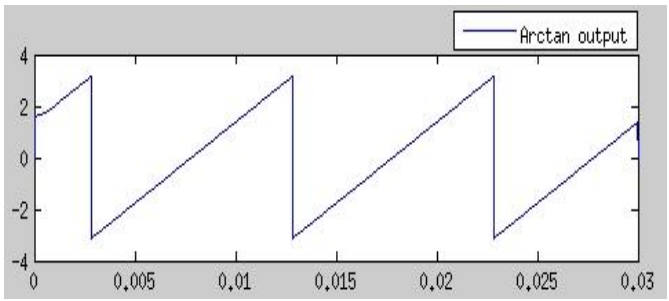
ulaşılması hedeflenmektedir. Şekil 10'da alçak geçiren filtre sonucu gösterilmiştir.



Şekil 10. Alçak geçiren filtre işlemi

Alçak geçiren filtre işlemi sonucunda, mesaj işaret frekansı 100 Hz olan sinyale, 100 kHz taşıyıcı sinyal ile sırasıyla modülasyon, demodülasyon ve alçak geçiren filtre işlemleri sonucunda herhangi bir faz farkı ve bozulma olmadan ulaşılmıştır.

Kapasitif rotary enkoderin açı bilgisini çıkışa aktarmak için son bir işlem gerekmektedir. Alçak geçiren filtre çıkışındaki elde edilen sinyalin arctangenti ile enkoderin açı bilgisine ulaşabilmektedir. MATLAB ortamında elde edilen kapasitif rotary enkoder açı bilgisi Şekil 11'de gösterilmiştir.



Şekil 11. Alçak geçiren filtre ardından arctangent işlemi

III. SONUÇ

MATLAB ortamında çift yan bant modülasyon ve demodülasyon tabanlı kapasitif rotary enkoder başarıyla gerçekleştirilmiştir.

Söz konusu rotary enkoder sabit plaka tasarımlarında çeşitli makalerle incelenmiştir. Literatürde 2 plaka ve 3 plakalı tasarımlar olmasına rağmen belirtilen sebeplerden dolayı 3 plakalı tasarımlar öne çıkmaktadır. Bu nedenlerden dolayı bu ve bundan sonraki çalışmalarda 3 plaka ve çeyrek daire dilimlerine bölünmüş plaka tasarımı üzerinde devam edilecektir.

Alçak geçiren filtre 16 katsayılı olarak kurgulanmıştır. Filtrenin tasarım metodu, FIR – Window, örnekleme oranı(sampling rate) 400 kHz, kesim frekans(cutt-off) değeri 200 Hz, ölçekleme bant geçiren beta değeri 0.5 ve Kaiser-Window metodu seçilmiştir

Belirtilen parametreler değiştirilerek elde edilen sinyal çıkışında iyileştirmeler yapılabilir. Bu tarz parametre ve tasarım metodlarının değiştirilmesi ileride yapılacak çalışmaların konusu olacaktır.

IV. KAYNAKLAR

[1] Y. Netzer, “Capacitive displacement encoder”, U.S. Patent, 6492911, Dec. 10, 2002.

[2] R. M. Kennel and S. Basler, “New developments in capacitive encoders for servo drives,” in Proc. Int. Symp. Power Electron., Elect. Drives, Autom. Motion, Jun. 2008, pp. 190–195.

[3] Zheng D, Zhang S, Wang S, Hu C, Zhao X, A Capacitive Rotary Encoder Based on Quadrature Modulation and Demodulation IEEE Tran. Of Instrumentation and Measurement. 64:143-153, 2015.

[4] V. Ferrari, A. Ghisla, D. Marioli, and A. Taroni, “Capacitive angular-position sensor with electrically floating conductive rotor and measurement redundancy,” IEEE Trans. Instrum. Meas., vol. 55, no. 2,pp. 514–520, Apr. 2006.

[5] G. Brasseur, B. Brandstatter, and H. Zangl, “State of the art of robust capacitive sensors,” in Proc. 1st Int. Workshop Robot. Sens., Örebro, Sweden, Jun. 2003.

[6] G. Brasseur, “Design rules for robust capacitive sensors,” IEEE Trans. Instrum. Meas., vol. 52, no. 4, pp. 1261–1265, Aug. 2003.

[7] Hou B, Zhou B, Song M, Lin Z, Zhang R, A Novel Single-Excitation Capacitive Angular Position Sensor Design. Sensors 16:1196-1211, 2016.

[8] M. Karali, A. T. Karasahin, O. Keles, M. Kocak, M. A. Erismis, “ A new capacitive rotary encoder based on analog synchronous demodulation”, Electrical Engineering, Springer Nature, Jan. 2018.

[9] (2018) Istanbul University website. [Online]. Available: http://ee.istanbul.edu.tr/labs/iletisimm/dosyalar/foyler/3-genlik_modulasyonu.pdf

[10] (2018) website. [Online]. Available: https://erdinckuruoglu.files.wordpress.com/2011/05/deney02.pdf

[11] (2018) website. [Online]. Available: https://www.electronicshub.org/passive-low-pass-rc-filters/