

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MALZEME SEÇİMİ YAPILARAK
IP²C OPTİMİZASYONU**

Elektronik Mühendisi Elif SAYGI

FBE Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalında Elektronik Programında Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Tülay YILDIRIM

İSTANBUL,2009

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	iv
KISALTMA LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
ÇİZELGE LİSTESİ	ix
ÖNSÖZ	x
ÖZET	xi
ABSTRACT	xii
1. ORGANİK MALZEMELER	1
1.1 Elektro-Aktif Polimerler	1
1.2 Organik İletkenler	3
2. ORGANİK DÖNÜŞTÜRÜCÜLER: IP ² C	9
2.1 Üretim	9
2.1.1 Üretim Teknikleri	10
2.1.1.1 Daldırma-kaplama (dip-coating)	10
2.1.1.2 Damlatma-Dökme (drop casting)	12
2.1.1.3 Döndürme-Kaplama (spin-coating)	12
2.1.2 Çözücü olarak deiyonize su kullanılan IP ² C	14
2.1.3 Çözücü olarak EG kullanılan IP ² C	14
2.1.4 İyonik sıvı olarak EmI Tf kullanılan IP ² C	16
3. SENSÖRLER	18
3.1 Sensörlerin Sınıflandırılması	18
3.1.1 Giriş Büyüklüklerine Göre	18
3.1.2 Çıkış Büyüklüklerine Göre	18
3.1.3 Besleme İhtiyaçlarına Göre	18
3.1.3.1 Pasif Sensörler	18
3.1.3.2 Aktif Sensörler	19
3.2 Sensörler ile İlgili Temel Kavramlar	19
3.2.1 Hassasiyet (Duyarlık)	19
3.2.2 Hassasiyet Hatası	19
3.2.3 Ölçüm Aralığı	19
3.2.4 Dinamik Ölçüm Aralığı	19
3.2.5 Tekrarlanabilirlik	20

3.2.6	Çözünürlük	20
3.2.7	Doğruluk	20
3.2.8	Ofset.....	20
3.2.9	Doğrusallık	20
3.2.10	Cevap Zamanı	20
3.2.11	Dinamik Doğrusallık	20
3.2.12	Histerisis	20
3.3	IP ² C Algılama Karakterizasyonu	21
3.3.1	Deney Düzeneği.....	22
3.3.2	IP ² C Orgacon 3040	24
3.3.3	IP ² C Baytron PHCV4	26
3.3.4	IP ² C Baytron PH500.....	27
3.3.5	IP ² C Baytron PH510.....	29
3.3.6	MATLAB kodları	30
4.	IP ² C AKTUATÖR KARAKTERİZASYONU.....	33
4.1	Deney Düzeneği	33
4.2	IP ² C Orgacon 3040	35
4.3	IP ² C Baytron PHCV4	38
4.4	IP ² C Baytron PH500	45
4.5	IP ² C Baytron PH510	49
4.6	MATLAB kodları	51
SONUÇLAR.....		54
ÖZGEÇMİŞ.....		57

SİMGE LİSTESİ

V_{out}	Çıkış gerilimi
I	Çekilen akım
R_F	Direnç
δ	Yer değiştirme

KISALTMA LİSTESİ

DC	Direct Current
EAP	Electro-active polymers
EG	Etylen glycol
EmI Tf	1-ethyl-3-methylimidazolium trifluoromethane sulfonate
IPMC	Ionic polymer metal composites
IP ² C	Ionic polymer polymer composites
PEDOT:PSS	poly(3,4-ethylenedioxythiophene)

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1 Flemion (sol), ve Nafion (sağ) un kimyasal yapıları (Nemat-Nasser ve Zamani, 2003)	2
Şekil 1.2 Ana örgüsünde konjüge çift bağlar bulunan polimer (poliasetilen) örneği (Chiang vd., 1977)	3
Şekil 1.3 Undecahexane zincirinin (a - b) 5.karbon atomu üstünden bir elektronun alınmasıyla oluşturulan Radikal katyonu (“Polaron”). c - e sıralamasında polaron göçü (Chiang vd., 1977)	4
Şekil 1.4 Soliton, cis poliasetilenin (a - b) izomerleşmesiyle oluşur ve bitişik elektronla çiftleşerek hareket eder (b - e). Bununla birlikte, genellikle dopingle üretilen solitonlar şekilde gösterilen gibi “ardışık değişen bağ kusurları”ndan daha önemlidir (Chiang vd., 1978).....	5
Şekil 1.5 Bazı iletken/yarıiletken konjüge polimerler (Fortuna vd., 2008b)	6
Şekil 1.6 Yaygın olarak kullanılan iletken polimerlerin iletkenlikleri (Fortuna vd., 2008b)	7
Şekil 1.7 Polimer kompleks PEDOT:PSS (Fortuna vd., 2008b)	8
Şekil 2.1 Daldırmalı kaplama işlemi aşamaları (Evcin, 2006)	10
Şekil 2.2 Damlatma-Dökme (drop casting) üretim tekniği (Fortuna vd., 2009b)	12
Şekil 2.3 Döndürme-Kaplama (spin-coating) üretim tekniği (Fortuna vd., 2008b)	12
Şekil 2.4 Döndürme Kaplama işlemi aşamaları (Evcin, 2006)	13
Şekil 2.5 Döndürmeli kaplama cihazı (spin coater) (Evcin, 2006)	13
Şekil 2.6 Etilen oksitten etilen glikol elde edilmesi	14
Şekil 2.7 EmI Tf'nin yapısı (Fortuna vd., 2009b)	16
Şekil 3.1 Hassasiyet Hatası.....	19
Şekil 3.2 Histerisis.....	21
Şekil 3.3 IP ² C sensörün çalışma prensibi (Fortuna vd., 2009b)	21
Şekil 3.4 Kısa devre akımı yükseltici devresinin şeması (Fortuna vd., 2009b).....	22
Şekil 3.5 Kısa devre akımını ölçmek için kullanılan devrenin kartı (Fortuna vd., 2009b)	22
Şekil 3.6 Membranın algılama yeteneğini test etmek için kurulan düzenek (Fortuna vd., 2009b)	23
Şekil 3.7 PC Tabanlı Veri Toplama.....	23
Şekil 3.8 EG_3040 örneğinin algılama akımı	25
Şekil 3.9 EmI Tf'li Orgacon un algılama akımı	25
Şekil 3.10 EG ve Baytron PHCV4 ile gerçekleştirilen IP ² C'nin algılama akımı.....	26
Şekil 3.11 EmI Tf ve Baytron PHCV4 ile gerçekleştirilen örneğin çıkış akımı	27

Şekil 3.12 EG ve Baytron PH500 ile gerçekleştirilen örneğin çıkış akımı	28
Şekil 3.13 EmI Tf ve Baytron PH500 ile gerçekleştirilen örneğin çıkış akımı	28
Şekil 3.14 EG 'li Baytron PH510'un çıkış akımı	29
Şekil 3.15 EmI Tf'li Baytron PH510'un çıkış akımı	30
Şekil 3.16 Girdi dosyası örneği	31
Şekil 3.17 Smooth fonksiyonuna bir örnek	32
Şekil 4.1 IP ² C aktuatörler için kullanılan deney düzeneği (Fortuna vd., 2009b)	33
Şekil 4.2 Aktuatör testi için ölçüm düzeneği (Fortuna vd., 2009b)	34
Şekil 4.3 Koşullandırma devresinin (conditioning circuit) prototipi (Fortuna vd., 2009b)	34
Şekil 4.4 EG_3040 örneğinin giriş gerilimi, deformasyon ve çekilen akımı (Genliği 6 Vpp ve frekansı 0.2 Hz olan sinusoidal sinyal uygulanmıştır)	35
Şekil 4.5 EG-3040 örneğinin aktuatör ölçümü: (a) frekans süpürme; (b) Bode Diyagramı. ...	36
Şekil 4.6 EmI-3040 örneğinin aktuatör ölçümü: (a) frekans süpürme; (b) Bode Diyagramı. ...	37
Şekil 4.7 EG_PHCV4 örneğinin giriş gerilimi, deformasyonu ve çekilen akımı (Genliği 6 Vpp ve frekansı 0.2 Hz olan sinusoidal sinyal uygulanmıştır)	38
Şekil 4.8 EmI_PHCV4 örneğinin giriş gerilimi, deformasyonu ve çekilen akımı (Genliği 6 Vpp ve frekansı 0.2 Hz olan sinusoidal sinyal uygulanmıştır)	39
Şekil 4.9 EG_PHCV4 örneğinin aktuatör ölçümü: (a) frekans süpürme; (b) Bode Diyagramı.	40
Şekil 4.10 EmI_PHCV4 örneğinin aktuatör ölçümü: (a) frekans süpürme; (b) Bode Diyagramı	41
Şekil 4.11 (a)Aktuatör ölçümü (genliği 1.5Vpp ve periyodu 50s üçgen sinyal uygulanmıştır); (b) IP ² C akıma karşı uygulanan gerilim grafiği.	42
Şekil 4.13 (a) Aktuatör ölçümü (genliği 1.5Vpp ve periyodu 100s üçgen sinyal uygulanmıştır) ; (b) IP ² C akıma karşı uygulanan gerilim grafiği.	43
Şekil 4.14 (a) Aktuatör ölçümü (genliği 1.5Vpp ve periyodu 150s üçgen sinyal uygulanmıştır) ; (b) IP ² C akıma karşı uygulanan gerilim grafiği.	44
Şekil 4.15 IP ² C çekilen akımına karşı değişik periyotlarda (50s, 100s and 150s) uygulanan gerilim	45
Şekil 4.16 EG_PH500 örneğinin giriş gerilimi, deformasyon ve çekilen akım (genliği 6 Vpp ve frekansı 0.2 Hz olan sinusoidal sinyal uygulanmıştır)	46
Şekil 4.17 EG-PH500 örneğinin aktuatör ölçümü: (a) frekans süpürme; (b) Bode Diyagramı. .	47
Şekil 4.18 EmI-PH500 örneğinin aktuatör ölçümü: (a) frekans süpürme; (b) Bode Diyagramı.	48

Şekil 4.19 EG_PH510 örneğinin giriş gerilimi, deformasyon ve çekilen akım (gerilimi 6Vpp ve frekansı 0.2 Hz olan sinusoidal süpürme sinyali uygulanmıştır)	49
Şekil 4.20 EG-PH510 örneğinin aktuatör ölçümü: (a) frekans süpürme; (b) Bode Diyagramı	50
Şekil 4.21 Girdi dosyası örneği	51
Şekil 4.22 Smooth fonksiyonuna bir örnek	53

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1 Etilen glikol'un bazı özellikleri.....	15
Çizelge 2.2 Hazırlanan örnekler	15
Çizelge 2.3 EmI Tf nin özellikleri.....	16
Çizelge 2.4 Hazırlanan örnekler	17

ÖNSÖZ

1980’li yıllardan bu yana devam eden yarı iletken organik polimer araştırmalarının başarıyla sonuçlanması üzerine, yepyeni bir teknoloji kolu olan Organik Elektronik de ortaya çıkmış oldu. Geleneksel elektronikte ise bakır gibi silikon gibi iletkenler kullanılmaktaydı.

Bu malzemelerin, inorganik malzemelerden daha hafif, daha esnek ve daha ucuz olması onları uygulamalar için ideal hale getirmiştir. Ayrıca organik elektronikler ile geleneksel olanlarla gerçekleştirilemeyecek uygulamalar yapılabilmektedir.

Bu çalışmada, temeli tamamen organik malzemelere dayanan yenilik getiren dönüştürücülerin (transducer) gelişimi incelenmiştir ve en iyi sonucu vereceği düşünülen malzemeler ile testler yapılmış ve sonuçlar elde edilmiştir. Test sonuçları 3. ve 4. bölümde yorumlanmıştır.

Bu tez İtalya’nın Catania şehrindeki Catania Üniversitesi’nde Prof. Dr. Luigi FORTUNA’nın danışmanlığında, laboratuvar çalışmalarını Elena Umana eşliğinde Elektronik Bölümü laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir.

Öncelikle tavsiyelerinden ve desteğinden dolayı değerli hocam Prof. Dr. Tülay YILDIRIM’a, beni her zaman destekleyen ve cesaretlendiren değerli hocam Prof. Dr. Luigi FORTUNA’ya teşekkürü bir borç bilirim.

Daha sonra her zaman bana danışmanım ve öğretmenim gibi davranan birlikte laboratuvar çalışmalarını yürüttüğümüz Elena Umana’ya yardımlarından, bana olan desteğinden ve cesaretlendirmesinden ötürü çok teşekkür ederim, ayrıca Manuela La Rosa’ya her zaman benim için rehber olduğu için teşekkür ederim.

Son olarak, en özel teşekkürlerimi her zaman hedeflerime ulaşmamda beni destekleyen aileme ve arkadaşlarıma ediyorum.

ÖZET

1983'ten bu yana yani ilk organik ince film transistörün (OTFT) gerçekleştirilmesiyle organik elektronik alanında yapılan araştırmalar canlılık kazanmıştır. Bazı organik malzemelerin yarıiletkenlik ve iletkenlik özelliklerinin keşfi, temel elemanı OTFT olan organik elektronik devrelerin gerçekleşmesine izin vermiştir; bu konu ile birlikte yeni malzemelerin kullanıldığı yenilik getiren uygulamalar gerçeklemek amacıyla ilginç elektrik ve mekanik özelliklere sahip olan akıllı malzemeler araştırılmıştır. Yenilik getiren malzemelerin ve organik elektronğin birleşmesi klasik inorganik elektronikte elde edilemeyen hafiflik ve esneklik gibi özelliklere sahip düşük maliyetli aletlerin yapılmasına izin vermiş ve birçok uygulama alanında yer almıştır.

Bu çalışmada, Organik dönüştürücülerin yeni bir sınıfı olan iyonik polimer-polimer kompozitlerin (IP^2C) algılayıcı (sensör) ve aktuatör olarak davranışları araştırılmıştır. Önerilen iyonik polimer polimer kompozitler (IP^2C), iletken polimerle kaplanmış Nafion® 117 levhasından oluşturulmuştur. Performansları karşılaştırmak için farklı organik iletkenler ve çözücüler IP^2C üretiminde kullanılmıştır. Bu organik cihazlar, eyleme (actuating) ve algılama yeteneklerini anlamak için elektriksel olarak test edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Organik Malzemeler, İyonik Polimer Polimer Kompozitler, Nafion, sensör, aktüatör

ABSTRACT

Since 1983, when the first Organic Thin Film Transistor (OTFT) (Fortuna vd., 2009b) has been realized, the ongoing research in the field of organic electronics has been invigorated. The discovery of the semiconducting and conducting properties of some organic materials allowed the realization of organic electronic circuits whose basic element is the OTFT; together with this topic the research in the field of smart materials having interesting electrical and mechanical properties has been deeply investigated with the aim to realize innovative applications based on such new materials. The combination of innovative materials and organic electronics could allow the development of low-cost all-organic electronic devices characterized by properties such as lightweight and flexibility that cannot be obtained with classic inorganic electronics and that could find application in many fields.

In this work a novel class of organic transducers which is called Ionic Polymer-Polymer Composites (IP²C) have been investigated as sensor and as actuator. The Ionic Polymer-Polymer Composites (IP²C) have been composed by Nafion[®] 117 sheets coated with conducting polymer. Different organic conductors and solvents have been used in IP²C manufacturing in order to compare different performances. These organic devices have been tested electrically, showing their actuating and sensing capabilities.

Keywords: Organic Materials, Ionic Polymer Polymer Composites, Nafion, sensor, actuator

1. ORGANİK MALZEMELER

Temelini organik malzemelerin oluşturduğu esnek organik cihazlar elektronik pazarda geleceğin ürünleri olarak yerlerini alacaklardır. Organik malzemeler, düşük sıcaklık işlemlerine ve baskı metotlarına dayanan düşük maliyetli işleme tekniklerine adapte edilebilmeleri nedeniyle popüler hale gelmişlerdir (Shahinpoor ve Kim, 2001).

Organik elektronik teknolojisinin gelişimi, organik malzemelerin iletkenlik ve yarıiletkenlik özelliklerinin sayesinde artmıştır. Getirdikleri düşük altyapı maliyeti, geniş ve esnek yüzeylere uygulanabilme, kolay ve hızlı üretim yöntemleri ile uygulamaya özgü sentezlenebilen malzeme özellikleri gibi avantajlar onları yeni cihazları gerçeklemek için bir çözüm haline getirmiştir. Elektrik performansları inorganiklerle karşılaştırılamamalarına rağmen ekonomik ve yenilikçi uygulamaları organiklerle gerçekleştirmek son derece cazip hale gelmiştir (Fortuna vd., 2008b).

1.1 Elektro-Aktif Polimerler

Polimerler günlük yaşantımızın her alanında yaygın olarak kullandığımız plastik, kauçuk, sentetik lif, boyalar, yapıştırıcılar gibi malzemelerin üretiminde kullanılan temel elemanlardır. Polimer kelimesi, çok anlamına gelen –poly- ve tanecik, küçük parçacık anlamına gelen –meros- kelimelerinden türemiştir.

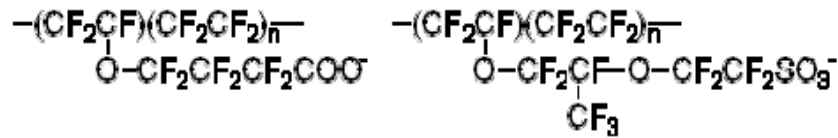
Elektro aktif polimerler aktif malzemeler ailesindendir. Aktif malzemeler, elektriksel, termal, manyetik, kimyasal, pH veya ışık ortamları gibi fiziksel ortamlarda değişikliklere karşı kendiliğinden uyum sağlayabilen malzemelerdir. Sensör, aktuatör, aktif damper ve enerji jeneratörleri olarak kullanılabilirler. EAP'lar mühendislerin ve çeşitli dallardan bilim adamlarının dikkatini fazlasıyla çekmiştir. Özellikle, biyomimetik alanında araştırmacılar (biyolojik modelleri dayanan robotik mekanizmalarla ilgilenen bir alan) bu malzemelerin hayvanların, böceklerin ve hatta insan vücudunun parçalarının hareketlerini taklit etmek için kullanılabileceğini öngörmektedirler (Shahinpoor, 2003; Reese, 2004).

Bununla birlikte, EAP malzemeler şekil hafızalı alaşımlara göre, daha yüksek tepki hızları, daha düşük yoğunlukları ve gelişmiş esneklikleri vardır. Şekil hafızalı alaşım (shape memory alloy), şekli sıcaklık ile değişen akıllı bir malzemedir. Robotik aktuatör ve mikromanipulatorlerde insan kas hareketlerini taklit etmek için kullanılır (Kim ve Tadokoro, 2007).

EAP malzemeler iki grupta sınıflandırılırlar: Elektronik EAP ve iyonik EAP'lar. Elektronik elektro aktif polimerler uzun süreler oda koşullarında çalışabilirler ve hızlı tepki süreleri vardır (ms mertebelerinde). Ayrıca, gerginliği DC aktivasyonun altında tutabilirler. Nispeten büyük harekete geçirme kuvvetine sevk etmesi elektronik EAP'ların dezavantajıdır. Bir diğer dezavantajı da gerginlik ve stres arasında uzlaşma gerektirmesidir. Bunun yanında, elektronik EAP yüksek gerilime (~ 150 MV / m), ikinci grup EAP, iyonik EAP, düşük voltaja ihtiyaç duyar. İyonik EAP'lar büyük bükülme gösterirler. İletken polimerler, iyonik polimer metal kompozitler (IPMC) ve duyarlı jeller iyonik EAP örnekleridir. Kompozit kelimesi en genel anlamıyla iki veya daha fazla farklı malzemenin karıştırılması veya belli bir düzende birleştirilmesiyle hazırlanmış sistemler için kullanılır (Saçak, 2002).

İletken polimerler dışında, iyonik EAP'lar DC gerilim altında gerginlik tutmaz ve yavaş yanıt verirler. Elektro-aktif polimerler, İyonik Polimer-Metal Kompozitler (IPMC) gibi büyük hareket elektromekanik dönüşüm yetenekleri nedeniyle yaygın olarak araştırılmışlardır. İletken polimerler ve İyonik Polimer-Metal Kompozitler (IPMC) verimli aktuatörler yapmak için önemli potansiyel göstermişlerdir. Perfluorsulfonate polimerlerden oluşan iyonik polimer-metal kompozitler (IPMC) yapay kaslar için geliştirilmektedir. Tipik bir iyonik Polimer-Metal Kompozit, Nafion® (perfluorosulfonate Dupont™ tarafından yapılmıştır) veya Flemion® (perfluorocarboxilate Asahi Glass tarafından yapılmıştır) gibi omurga(backbone) iyonomerden oluşmakta ve her iki yüzü de oksidasyondan sakınmak ve elektrotların performanslarını arttırmak için mükemmel metallerle kaplanmaktadır.

Nafion ve Flemion'un kimyasal yapıları Şekil 1.1'de gösterilmektedir.



Şekil 1.1 Flemion (sol), ve Nafion (sağ) un kimyasal yapıları (Nemat-Nasser ve Zamani, 2003)

Nafion yapay kas uygulamalarında pozitif dengeleyici iyonlar (Li^+ , Na^+ , K^+ , Rb^+ , ve Cs^+) ile levha geometrisinde üretilmesinin ardından, yukarıda bahsedildiği gibi, polimer levhanın her iki yüzü de iletken metallerle kaplanmaktadır. Sonuçta oluşan EAP polimer fiziksel genişleme yeteneğine kadar su emebilir ki bu polimer sabit iyonlar ve serbest dengeleyici iyonlar için suyun eğilimi ile dengelenmektedir. IPMC'ye bir elektrik alan uygulandığında,

polimer kompozitteki hareketli pozitif iyonlar ve suyun hareketi ile oluşan gerilimlerin sonucu olarak biçimi bozulur. Ters durumda, IPMC'nin şekli değiştirildiği zaman bir algılama akımı üretir.

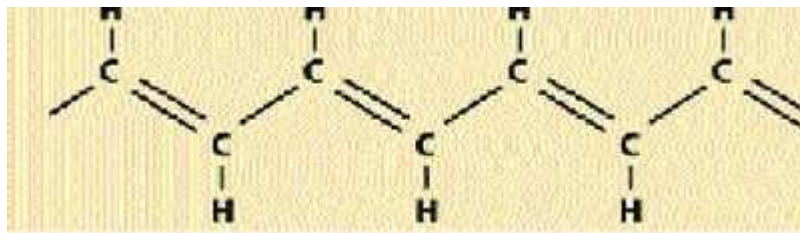
1.2 Organik İletkenler

Polimerler, ilk kullanımlarından bu yana elektriksel yalıtkanlığı iyi maddeler olarak bilinirlerdi. Kolay işlenmeleri, esneklikleri, estetik görüntüleri, hafiflikleri diğer bazı üstün özellikleridir.

Metaller, elektriksel iletkenliği yüksek, üstün mekaniksel özelliklere sahip başka madde grubunu oluşturur. Ancak metaller polimerlerden ağırdır, pahalıdır ve polimerler gibi kolayca şekillendirilemezler. Metallerin elektriksel iletkenlik ve mekaniksel özelliklerini, polimerlerin özellikleriyle birleştirerek bir tek malzemede toplayabilmek her zaman ilgi çeken bir araştırma noktası olmuştur (Young, 1981; Saçak, 2002).

1954'de Akamatu, Inokuchi ve Matsunaga tarafından hazırlanan ilk organik iletken, 1960'larda üstün iletken organik bileşiklerin, 1970'lerde organik metallerin ve iletken polimerlerin ve 1980'lerde de organik yarıiletkenlerin gelişmesini teşvik etmiştir (Rogers, 1995). Temel bilimdeki bu gelişmeler araştırmacılar üzerinde büyük bir etki oluşturmuş; piller, elektriksel ısıma gibi pratik kullanıma, alan etkili transistörlerin ve güneş hücrelerinin kapsamlı araştırmalarına olanak sağlamıştır.

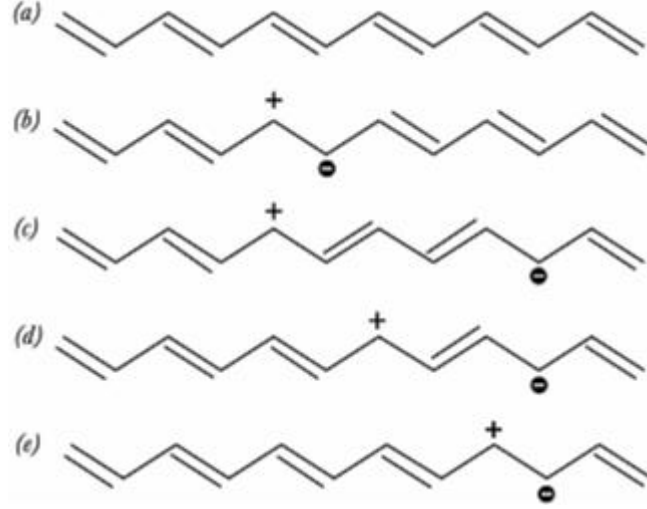
Polimerlerin elektronik iletkenlik gösterebilmesi için, polimer örgüsünde, elektronların zincir boyunca taşınmasını sağlayan uygun yerlerin bulunması gerekir. Bu koşulu ana örgüsünde konjüge çift bağlar bulunan polimerler sağlar (Saçak, 2002).



Şekil 1.2 Ana örgüsünde konjüge çift bağlar bulunan polimer (poliasetilen) örneği (Chiang vd., 1977)

Konjugasyonda, karbon atomları arasındaki bağlar birbiri ardı sıra değişen tek ve çift bağlar şeklinde dizilmişlerdir. Her bir bağ kuvvetli bir kimyasal bağ olan “sigma” (s) bağı içerir. İlave olarak, her çift bağda daha zayıf (% 30) ve daha az lokalize olmuş bir “pi” bağı vardır. Bunlara rağmen, konjugasyon, polimer maddeyi iletken yapmak için yeterli değildir. Fakat

bunlara dopant maddeleri girilerek iletkenliği artırılabilir. Dopantların yaptığı şey malzeme içersinde elektron ve boşlukların sayısını arttırmaktır. Bir elektron eksikliğinin olduğu konuma bir boşluk denir. Böyle bir boşluk komşu bir konumdan atlayan bir elektronla doldurulduğunda yeni bir boşluk oluşturulur ve bunun böyle devam etmesiyle yükün uzun bir mesafeye göç etmesi sağlanır (Chiang vd., 1977).

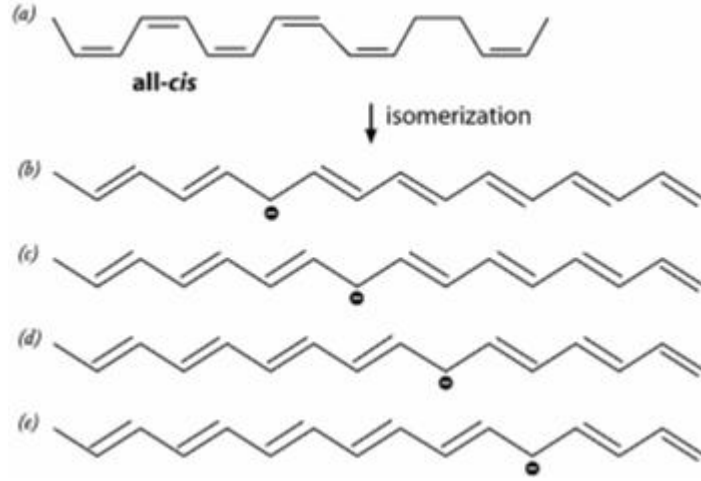


Şekil 1.3 Undecahexane zincirinin (a - b) 5.karbon atomu üstünden bir elektronun alınmasıyla oluşturulan Radikal katyonu ("Polaron"). c - e sıralamasında polaron göçü (Chiang vd., 1977)

Şekil 1.3 c-e de gösterildiği gibi, yük zincir boyunca taşınabilir. Pozitif yüke göre tamamlayıcı anyon çok hareketli olmadığından, polaronun hareket edebilmesini sağlayacak birbirine yakın tamamlayıcı anyon alanları oluşması için yüksek bir tamamlayıcı anyon konsantrasyonu gereklidir. Dolayısıyla niçin daha çok katkılama (doping) gerektiği böylece anlaşılmış olur. Organik iletkenlerde yük transferi iki inorganik molekül arasında veya bir organik molekül ile inorganik iyon arasında gerçekleşir. İletken polimerlerde yük taşıma polaron ve bipolaronların iletkenliği ile olur. Hem polaron hem de bipolaron hareketlidirler ve polimer zincirleri boyunca hareket ederler (Fortuna vd., 2008b).

Polaron radikal katyondur. Polimerin önceden okside olmuş (yükseltgenmiş) bir kısmından ikinci bir elektron çıkartılırsa, ya ikinci bir bağımsız polaron oluşturulabilir ya da, eğer çıkartılan elektron birinci polaronun çiftlenmemiş elektronu ise, bipolaron (katyon çifti) oluşturulur. Bipolaronun iki pozitif yükü birbirinden bağımsız değildir, fakat süper iletkenlik teorisindeki Cooper çifti gibi, bir çift olarak hareket ederler. Bir radikal katyonu olan bir polaron $1/2$ spinine sahipken bipolaronların toplam spini $S = 0$ 'dır. Poliasetilende iletkenlik için önemli olan polimer zincir bozuklukları içinde diğer unsurlar da, tek başına dalga bozukluklarıdır, bunlara "Solitonlar" denir. Şekil 1.4'te, bir cis (aynı yön) poliasetilen zincirinin, "termal" izomerizasyon geçirerek, kararlı bir serbest radikal olan bir bozukluğu

nasıl oluşturduğu gösterilmektedir (Skotheim ve Reynolds, 2006). Bu, zincir boyunca yayılabilmesine rağmen kendisi herhangi bir yük taşıyamayan nötr bir solitondur. Diğer yandan o farklı zincirler arasındaki yük transferine katkı yapabilir.



Şekil 1.4 Soliton, cis poliasetilenin (a - b) izomerleşmesiyle oluşur ve bitişik elektronla çiftleşerek hareket eder (b - e). Bununla birlikte, genellikle dopinge üretilen solitonlar şekilde gösterilen gibi “ardışık değişen bağ kusurları”ndan daha önemlidir (Chiang vd., 1978).

Aktuatörlerde polimerlerin elektronik iletkenlikleri hızlı güncelleme için önemlidir. Eğer iletkenlikte çok büyük değişkenlik varsa, polimerin nötr halinden katkılı haline geçişinde problem oluşur.

Şimdilerde kullanılan bazı iletken polimerler Şekil 1.5’te gösterilmiştir.

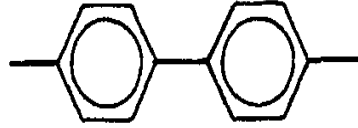
Semiconducting and Metallic Polymers



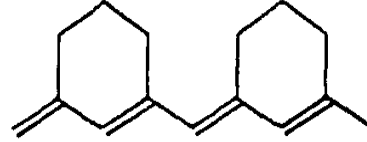
cis-polyacetylene



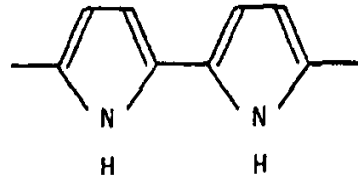
trans-polyacetylene



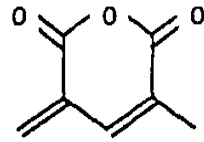
poly(p-phenylene)



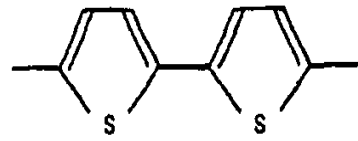
poly(1,6-heptadiyne)



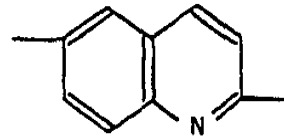
polypyrrole



poly(propionic anhydride)



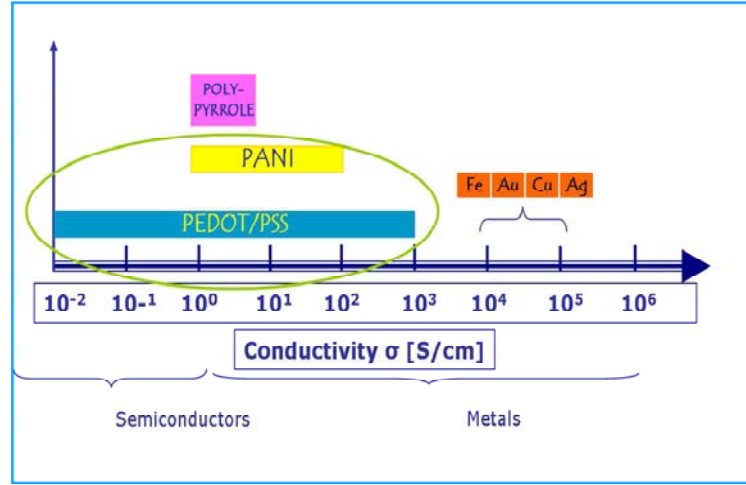
polythiophene



poly(quinoline)

Şekil 1.5 Bazı iletken/yarıiletken konjüge polimerler (Fortuna vd., 2008b)

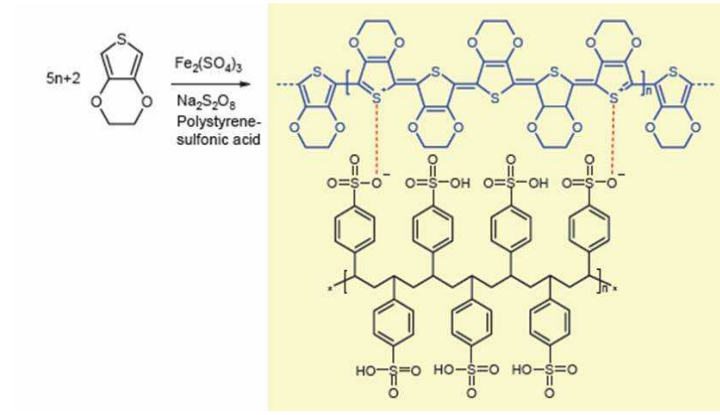
Şekil 1.6’da bazı yaygın iletken polimerlerin iletkenlikleri karşılaştırılmıştır.



Şekil 1.6 Yaygın olarak kullanılan iletken polimerlerin iletkenlikleri (Fortuna vd., 2008b)

Bu amaca yönelik araştırmalar, hala büyük çabalara ve kimya, fizik, malzeme bilimi ile mühendislik gibi birçok alandaki araştırmacılar arasındaki işbirliği ile oluşacak çok disiplinli yaklaşımlara ihtiyaç duymaktadır. Yukarıda belirtildiği gibi, farklı özelliklere sahip iletken polimerler yaratmak mümkündür. Farklı iletkenlik, kapasitans ve redoks özelliklere sahip malzemeler üretmek için elektriksel özellikleri kullanılabilir.

Organik malzeme özellikleri, çözüm uygulanabilirliği ve mümkün şarj hareketliliğine ek olarak geliştirilmiş özelliklerle yeni moleküller tasarlanması ve geliştirilmiş yaşam süresine sahip elektronik uygulamaların ihtiyaç duyduğu içeriğin elde edilmesi için oluşturulmuştur. Bunların sonucu olarak; bileşimin ve malzeme hazırlanışının değiştirilme olanağı elektronik uygulama alanında silikon sonrası teknolojilerin en güçlü atılımıdır. Aslında, uygun iletken polimerler arasında, PEDOT:PSS (poly(3,4-ethylenedioxythiophene)) santimetre başına yüzlerce siemens ile en yüksek iletkenlik değerlerini göstermektedir ve bu yüzden en çok kullanılan iletken polimerdir. PEDOT iletken polimer konjüge (eşlenik) omurgaya sahiptir ve özelliklerini arttırmak için Şekil 1.7’de gösterildiği gibi farklı dengeleyici iyonlarla katkılanabilir. Genellikle Poly (Styrene Sulphonate) veya PSS gibi polimer dengeleyici iyon içeren sulu çözeltisine yatırılır. Hareketli katyonlar dışarıdan gerilim uygulanarak polimer film içine veya polimer filminden dışarı taşınabilirler.



Şekil 1.7 Polimer kompleks PEDOT:PSS (Fortuna vd., 2008b)

PEDOT:PSS'in çözücü özellikleri kontrol edilerek, örneğin PEDOT:PSS çözeltisinin içine etilen glikol veya dimethylsulfoxide (DMSO) gibi çözücülerin eklenmesi, iletkenlik artırılabilir.

2. ORGANİK DÖNÜŞTÜRÜCÜLER: IP²C

Temelini polimerik malzemelerin oluşturduğu iyonik polimer dönüştürücüler kimyasal donanımları nedeniyle elektromekanik eşlenme göstermektedirler. Ionomer, dengeleyici iyon, çözücü ve çözücüsünü kendi yapısına alma miktarı IPMC ve IP²C'nin elektromekanik tepkisini değiştirmekte, değişik katyonlar ve çözücüler de bu cihazların aynı şeritleri için farklı hızlara ve yer değiştirmelere neden olmaktadır. Bu dönüştürücülerin geleneksel elektro-aktif malzemeler üzerinde belirli avantajları vardır. Kendilerine özgü sensör-aktuatör yeteneklerine sahip olmakla beraber hafif ve son olarak açık havada çalışabilmektedirler. IPMC'lerde kullanılan metalik elektrotlar yerine PEDOT/PSS gibi organik iletken kaplayıcı katmanı kullanır. İşte bu yüzden bu cihazlara iyonik polimer polimer alaşımlar (IP²C) denir. Son günlerde test edilmekte olan IP²C'ler farklı organik iletkenler ve farklı çözücüler kullanılarak gerçekleştirilmektedir.

2.1 Üretim

Membranlar, mikro gözenekli polimerik filmlerdir ve gözenek boyutları kontrol edilerek farklı amaçlarla kullanılırlar. Membranlar dışarıdan gelecek her türlü etki karşısında gözenekli yapısını ve gözenek boyutlarını koruyabilmelidir. Bu nedenle membranlar yük altında düşük uzama gösteren ve uzun süreli sıvılarla temastan etkilenmeyen polimerlerden yapılır (Saçak, 2005).

IP²C cihazlarının ana elemanı Nafion 117 membranlarıdır. Elektrotun mekaniksel adhezyonundan ve çözücü ile kimyasal banyodan emin olmak için kumlama (kum püskürterek temizlemek) işlemine maruz bırakılmaktadır. Membranlar, cihaz elektrotlarını gerçekleştirmek için organik iletken çözeltisi ile kaplanmaktadır. Bu organik elektrotun üretim süreci IPMC tekniğinde kullanılan süreçten daha kolaydır: konvansiyonel Nafion® perde arıtması organik malzeme çözeltisi depozisyonundan sonra yapılır (PEDOT: PSS için su, PANI için toulene). Çözücü gereksinimleri dönüştürücülerin performanslarını arttırmak için temel faktördür. Bu bilgi ışığında bu çalışmada üç çözücü kullanılacaktır: su, Etilen glikol (EG) ve 1-ethyl-3-methylimidazolium trifluoromethane sulfonate (EmI Tf).

Kuru halinde, Nafion membrandaki katyonlar sıkıca sülfonat değişim yerlerine bağlıdır ve giriş tepki olarak hareket edememektedirler. Bu durumda, membranın iyonik iletkenliği (polimerdeki iyonların hareketliliğinin ölçüsü) iletim oluşmadığı için çok düşüktür. Bu nedenle, polimer hem katyon hem de anyonik değişim bölgeleri ile ilişkide olabilecek bir çözücü ile şişirilmelidir. Böylece polimer matrisler katyonların hareketlerine izin verirler

(Saito, 2007; Berggren vd., 2008).

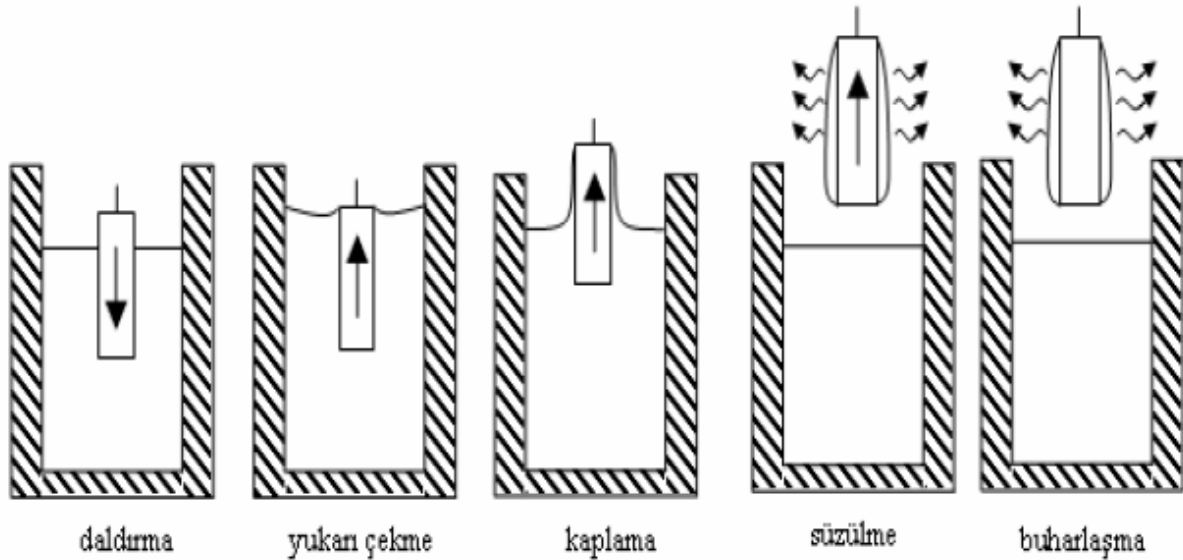
2.1.1 Üretim Teknikleri

Sol, tanecik boyutlarının sabit kaldığı ve taneciklerin çökmediği kolloidal sistemler; jel ise gözenekli, 3-boyutlu, içten bağlanmış katı ağları içeren akıcı olmayan yapılardır (Avcıata U, 2009). Sol-jel yöntemi, cam, seramik, metal ve plastik altlıkların kaplanarak yüzey özelliklerini iyileştirmek, yeni özellikler kazandırmak (optik, elektronik, kimyasal ve mekanik gibi) amacıyla uygulanan bir kaplama tekniğidir. Sol-jel tekniğinin temelinde anorganik polimerizasyon tepkimeleri yatmaktadır.

Daldırma-kaplama (dip-coating), damlatma-dökme (drop casting) ve döndürme-kaplama (spin-coating) gibi farklı depozisyon teknikleri kullanılmaktadır.

2.1.1.1 Daldırma-kaplama (dip-coating)

Bu yöntem sol – gel ile kaplama yöntemlerinin en önemlilerinden birisidir. Hemen hemen saydam iletken tabakaların üretiminde kullanılır. Yöntem, bir cam taşıyıcının hazırlanan sol içerisine belli bir hızda daldırılıp aynı hızda geri çıkarılması yoluyla film kaplanması işlemidir. Bu yöntemle kaplama yapıldığı zaman film kalınlığı, taşıyıcı sole daldırılıp çıkarıldığı esnada, zamanla değişmez.



Şekil 2.1 Daldırma-kaplama işlemi aşamaları (Evcin, 2006)

Daldırma yöntemi daldırma, yukarı çekme, kaplama, süzülme ve buharlaşma (alkol gibi uçucu çözücüler kullanıldığında buharlaşma normal olarak yukarı çekme, kaplama ve süzülme aşamalarında da gerçekleşir) olmak üzere 5 aşamadan oluşur.

Daldırma aşamasında taşıyıcı sabit bir hızla solün içine daldırılır ve yukarı çekme aşamasında, daldırıldığı hızla (10–107 mm/dk) beklenmeden yukarı çekilir. Kaplama aşamasında, taşıyıcının sol ile temasa giren kısımları kaplanmış olur.

Bu aşamada etkili olan kuvvetler:

- Yerçekimi kuvveti,
- sol ile taşıyıcı arasında ki sürtünme kuvveti ve
- solün taşıyıcıya tutunmasından oluşan yüzey gerilimi kuvvetidir.

Süzülme aşamasında yukarıda saydığımız kuvvetlerin etkisi altında bazı sol damlacıkları taşıyıcının kenarlarından süzülerek yüzeyi terk eder. Buharlaşma aşamasında; süzülme aşamasında süzülemeyen sol damlacıkları buharlaşarak uçar. En son olarak taşıyıcı üzerinde kalan sol, fırınlama işlemi sonucu film haline dönüşür (Evcin, 2006).

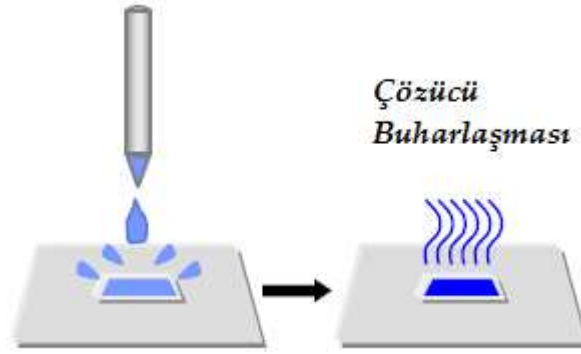
Bu yöntemin avantajları şunlardır:

- Her şekilde ve boyutta numune kaplaması yapılabilir (Tüp, boru çubuk gibi farklı geometriye sahip numuneler kolaylıkla kaplanabilir).
- Düzgün kalınlık elde edilir.
- Kalınlık kontrol edilebilir.
- Katkı miktarını minimum düzeyde tutmak bu yöntem ile daha kolaydır.
- Çözücü veya çözeltinin özelliklerine çok duyarlı değildir.
- Fazla miktarda numune aynı anda ekonomik bir şekilde kaplanabilir.
- Kolay bir yöntem olduğundan maliyeti daha ucuz olabilir.

Bu yöntemin olumsuz yönleri ise şunlardır:

- Özellikle büyük taşıyıcılar için büyük miktarda çözelti gereklidir. Çözelti pahalı ise veya çözelti sabit değilse bu yöntem elverişli değildir.
- Çapraz katkısından dolayı çok katmanlı sistemler için çok iyi bir yöntem değildir (fakat kullanılabilir).
- İşlem sırasında taşıyıcının her iki tarafı kaplandığından sadece bir tarafına kaplama yapmak istendiğinde diğer yüze maskeleme yapmak gereklidir.

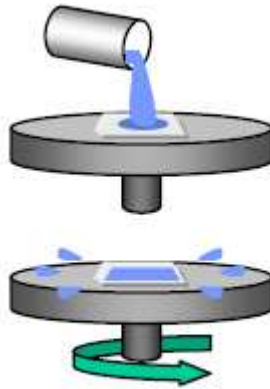
2.1.1.2 Damlatma-Dökme (drop casting)



Şekil 2.2 Damlatma-Dökme (drop casting) üretim tekniği (Fortuna vd., 2009b)

Döküm en basit ve ilk uygulanan polimer işleme tekniklerinden birisidir. Poli (metil metakrilat) levha üretimi sırasında cam veya başka malzemelerden yapılmış tabakalar uygun hale getirilerek kalıp hazırlanır. Daha sonra levhaların arası monomer, başlatıcı ve diğer katkıları içeren karışımla doldurulur ve polimerizasyon su banyosu, açık fırın ya da otoklavda yavaş hızda gerçekleştirilir (Saçak, 2005).

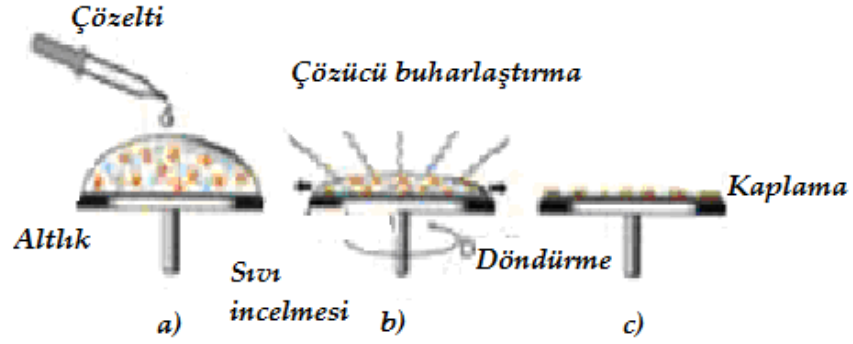
2.1.1.3 Döndürme-Kaplama (spin-coating)



Şekil 2.3 Döndürme-Kaplama (spin-coating) üretim tekniği (Fortuna vd., 2008b)

Döndürme Kaplama ince filmlerin üretiminde uzun yıllardır kullanılmaktadır. Tipik olarak süreç bir çözelti damlasının bir altlığın merkezine damlatılması ve sonra altlığın yüksek dönme hızlarında (tipik olarak 3000 dev/dak) döndürülmesi esasına dayanır. Merkezi hızlandırma fazla çözeltinin uzaklaştırılmasına ve kalan çözeltinin ise altlık yüzeyine ince film şeklinde yayılmasına neden olur.

Nihai film kalınlığı ve diğer özellikler çözelti özellikleri (viskozitesine, kuruma hızına, katı oranına ve yüzey gerilimleri) ile işlem şartlarına (devir, hızlandırma) bağlıdır. Tipik olarak kaplama işlemi üç adımdan oluşur. Şekilde şematik olarak gösterilmiştir. Hazırlanan altlık üzerine çözelti damlatılması ile başlayan işlem yüksek hızlı döndürme ile fazla çözücünün uzaklaşması ve çözeltinin yayılması ve sonra kurutma ile çözeltinin buharlaştırma ile jelleştirme ile kaplama işlemi tamamlanır.



Şekil 2.4 Döndürme Kaplama işlemi aşamaları (Evcin, 2006)



Şekil 2.5 Döndürmeli kaplama cihazı (spin coater) (Evcin, 2006)

Bu yöntemin avantajları şunlardır:

- Solvent seçimi cihaz çok tabaka içerdiğinde önemlidir.
- Solüsyon konsantrasyonu, spin hızı, solvent tipi tabakanın tekdüzeliğini, kalınlığını ve verimi etkiler.

Bu yöntemin olumsuz yönleri ise şunlardır:

- Döndürülüp kaplanmış filmin kalınlığının polimer konsantrasyonu, döndürülme oranı ve kaplama sıcaklığına bağlı olmasına karşın, kalınlık kontrolü zordur.
- Tek düzlem esnek göstergelere uygun değildir.
- Full color display yapılamaz.

İşlemlerin sonunda ince şeritler halinde kesilir.

2.1.2 Çözücü olarak deiyonize su kullanılan IP²C

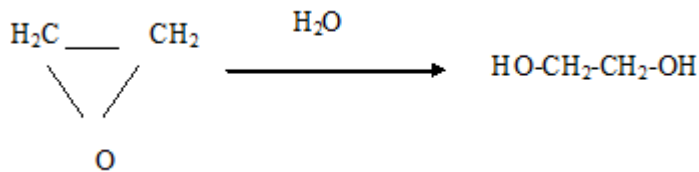
Geleneksel olarak, iyonik polimer dönüştürücülerde çözücü olarak su kullanılmaktadır. Su, proton transferi için hidrojen atomu sağlama yeteneğine sahiptir (protic) ve son derece polardır, bundan dolayı hem katyonlarını hem de değişim bölgelerini çözer. Su, yükleri birbirlerinden korur ve katyon hareketine izin verir. Böylece, iyonik iletkenlik arttırılmakta ve iletim oluşturulmaktadır.

Bununla birlikte, suyun iyonik polimer dönüştürücüler için çözücü olarak birkaç dezavantajı vardır. Birinci olarak, su uçucudur ve membrandan buharlaşır. Bu da bu cihazların havada uzun süreli kullanımını sınırlar. Bennett ve Leo su ile şişirilen bir iyonik polimer aktuatörün havada sadece 2000 defa çalışabildiğini göstermişlerdir (Masi, 2001).

Suda şişmiş dönüştürücüler ayrıca, uzay uygulamalarında kullanılamaz. İkinci olarak, İyonik polimer dönüştürücülere oda sıcaklığında uygulanabilecek maksimum gerilim 1,3 V'tan küçük olacak şekilde sınırlanmıştır. Eğer cihazın içinde su molekülleri yoksa su ile karıştırılmalıdır. Bu aşamada, örneğin organik elektrotları bozulabilir ve bu yüzden bu cihaz yeniden kullanılamaz hale gelebilir.

2.1.3 Çözücü olarak EG kullanılan IP²C

Etilen glikol veya 1,2-Ethandiol ($C_2H_6O_2$) polar moleküller içeren bir organik çözücüdür. Etilen oksit hidroliziyle elde edilir.



Şekil 2.6 Etilen oksitten etilen glikol elde edilmesi

Etilen glikol geniş sıcaklık aralıklarında kullanılabilir (Nemat-Nasser ve Zamani, 2003).

Çizelge 2.1 Etilen glikol'un bazı özellikleri

Yoğunlu k (20°C) (g/cm ³)	Formül Ağırlığı (g/mol)	Dielektrik sabit (20°C)	Viskozite (25°C) (Centipoises ,cP)	Erime Noktası(°C)	su çözünürlüğü (17.5°C)
1.1088	62.07	41.4	16.1	—13	10g/100 ml

EG'nin bazı özellikleri Çizelge 2.1'de listelenmiştir. Etilen glikol oda sıcaklığında suya göre 16 kat viskoziteye sahiptir ve molekül ağırlığı suyunkinden daha büyüktür. Etilen glikol IPMC'ler için çözücü olarak kullanılıyordu ve bu çalışmada IP²C için de kullanılmıştır. Etilen glikollü IP²C'ler açık havada uzun süreler boyunca ve düşük sıcaklıkta kullanılabilir. Eğer yüksek hızda çalışma gerekli değilse, iyi aktuatörler olabilirler.

Bu çalışmada çözücüsü EG olan farklı organik iletken elektrotlara sahip dört farklı örnek hazırlanmıştır: Baytron ® PH 500, Baytron ® P HC V4, Baytron ® PH 510 ve Orgacon® EL-P 3040.

Çizelge 2.2 Hazırlanan örnekler

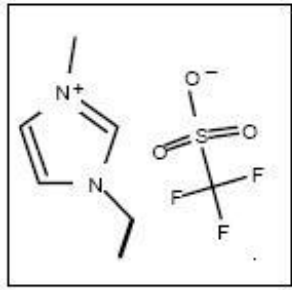
Örnek Adı	Elektrot Malzemesi	Malzeme Sağlayıcısı
EG_PHCV4	Baytron ® P HC V4	H.C.Starck
EG_PH500	Baytron ® PH 500	H.C.Starck
EG_PH510	Baytron ® PH 510	H.C.Starck
EG_3040	Orgacon® EL-P 3040	AGFA

Nafion membran 3 gün boyunca 100°C'de muhafaza edilmiş, sonrasında 100°C de filtreli kağıda sarılmıştır. Vakumda 2 saat tutularak gece boyunca bir fırın içinde saf EG içeren suya yatırılmıştır. Bu işlemlerden sonra, örneğin her iki tarafına organik iletken kaplanarak yerleştirilmiş, bir fan altında kurutulmuş ve 2 saat boyunca 60°C ısıtılmıştır. Sonunda, örnek test için 2,0 cm x 0,5 cm'lik şeritler halinde kesilmiştir (Saito, 2007).

2.1.4 İyonik sıvı olarak EmI Tf kullanılan IP²C

EmI Tf organik dönüştürücülerde iyonik sıvı olarak kullanılmaktadır. EmI elektromekanik kararlılığa sahip olması nedeniyle iyonik polimer dönüştürücülerde kullanılmak için iyi bir adaydır. Bennett ve Leo bu iyonik sıvı ile bazı deneyler yapmış ve sonuç olarak Nafion dönüştürücülerin havadaki kararlılıklarını suya göre arttırdıklarını göstermişlerdir. Ama tepki büyüklükleri yüksek frekanslarda suya göre düşüktür. İyonik sıvıların bir diğer dezavantajı tepki hızlarıdır, aslında su ile yapılmış örneklerden daha yavaştır (Masi, 2001) .

EmI Tf'nin yapısı Şekil 2.1'de görülmektedir ve bazı özellikleri de Çizelge 2.3'de listelenmiştir.



Şekil 2.7 EmI Tf'nin yapısı (Fortuna vd., 2009b)

Çizelge 2.3 EmI Tf nin özellikleri

Erime noktası (°C)	İletkenlik (mS/cm @ 25°C)	Sat. Su içerik(ağırlık % @ 20°C)	Viskozite (25°C) (Centipoises, cP)	Yoğunluk (20°C) (g/cm ³)
-9	8.6	Çözülebilir	45	1.390
-10	9.3		43	1.383

EmI Tf ile farklı organik iletken elektrotlara sahip dört farklı örnek hazırladık: Baytron ® PH 500, Baytron ® P HC V4, Baytron ® PH 510 ve Orgacon® EL-P 3040.

Çizelge 2.4 Hazırlanan örnekler

Örnek Adı	Elektrot Malzemesi	Malzeme Sağlayıcı
EmI_PHCV4	Baytron [®] PHCV4	H.C.Starck
EmI_PH500	Baytron [®] PH 500	H.C.Starck
EmI_PH510	Baytron [®] PH 510	H.C.Starck
EmI_3040	Orgacon [®] EL-P 3040	AGFA

Nafion membran 3 saat boyunca 100°C’de muhafaza edilmiştir. Sonra Nafion içindeki suyu uzaklaştırmak için 100°C de filtreli kağıda sarılmış ve vakum içinde 3saat saklanmıştır. Gece boyunca EmI Tf içine daldırılmış, 3 saat boyunca 140 °C de ısıtılmıştır. Bu işlemlerden sonra, örnek organik iletken ile kaplanmış ve kuruması için bırakılmıştır, sonrasında 2 saat boyunca 60°C de tutulmuştur. En sonunda, örnek test için 2.0 cm x 0.5 cm’lik şeritler halinde kesilmiştir.

3. SENSÖRLER

Sensör herhangi bir fiziksel büyüklüğü, örneğin hidrostatik akış basıncını orantılı olarak elektriksel sinyale çeviren cihazların genel adıdır.

3.1 Sensörlerin Sınıflandırılması

Sensörleri birbirinden farklı birçok sınıfa ayırmak mümkündür. Ölçülen büyüklüğe göre, çıkış büyüklüğüne göre, besleme ihtiyacına göre vb. Aşağıda bu sınıflardan bazılarını değinilecektir.

3.1.1 Giriş Büyüklüklerine Göre

Sensörler ile ölçülen büyüklükler 6 grup altında toplanabilirler.

Mekanik büyüklükler: Uzunluk, alan, miktar, kütsel akış, kuvvet, tork (moment), Basınç, Hız, İvme, Pozisyon, Ses dalga boyu ve yoğunluğu.

Termal : Sıcaklık, ısı akısı.

Elektriksel : Voltaj, akım, direnç, endüktans, kapasitans, dielektrik katsayısı, polarizasyon, elektrik alanı ve frekans.

Manyetik : Alan yoğunluğu, akı yoğunluğu, manyetik moment, geçirgenlik.

Işıma : Yoğunluk, dalga boyu, polarizasyon, faz, yansıtma, gönderme.

Kimyasal : Yoğunlaşma, içerik, oksidasyon/redaksiyon, reaksiyon hızı, pH miktarı.

3.1.2 Çıkış Büyüklüklerine Göre

Öte yandan analog çıkışlara alternatif olan dijital çıkışlar ise bilgisayarlarla doğrudan iletişim kurabilirler. Bu iletişimler kurulurken belli bazı protokoller kullanılır.

3.1.3 Besleme İhtiyaçlarına Göre

Besleme ihtiyaçlarına göre sensörler ikiye ayrılırlar.

3.1.3.1 Pasif Sensörler

Hiçbir şekilde dışarıdan harici enerji almadan (besleme gerilimine ihtiyaç duymadan) fiziksel ya da kimyasal değerleri bir başka büyüklüğe çevirirler. Bu sensör tipine örnek olarak Termocouple (T/C) ya da anahtar gösterilebilir

3.1.3.2 Aktif Sensörler

Çalışmaları için harici bir enerji beslenmesine ihtiyaç duyarlar.

3.2 Sensörler ile İlgili Temel Kavramlar

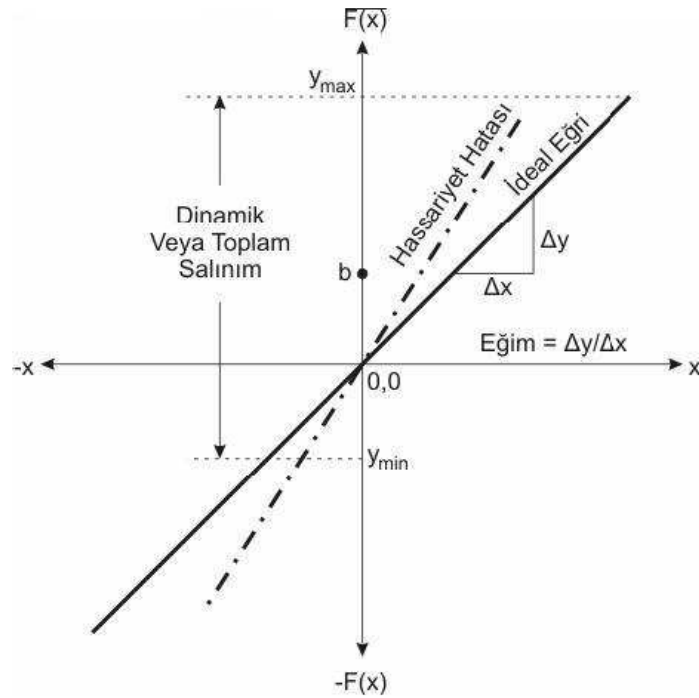
Kullandığımız birçok sensörün farklı konularda farklı özellikleri vardır. Her sensörün algılama yeteneği aynı olmayabilir ya da algıladığı verileri elektriksel sinyale dönüştürdüğü süre aynı olmayabilir.

3.2.1 Hassasiyet (Duyarlık)

Sensörün hassasiyeti, o sensörün çıkış karakteristiğine ait eğrinin eğimidir. Bir başka deyişle ne kadar küçük bir değişimi ölçebildiğinin ölçüsüdür.

3.2.2 Hassasiyet Hatası

İdeal karakteristik eğriden sapma olarak tanımlanır.



Şekil 3.1 Hassasiyet Hatası

3.2.3 Ölçüm Aralığı

Sensörün cevap verebildiği etkinin minimum ve maksimum değerlerdir.

3.2.4 Dinamik Ölçüm Aralığı

Sensörün cevap verebildiği minimumdan maksimuma kadar olan toplam alandır.

3.2.5 Tekrarlanabilirlik

Yapılan ölçümün tekrarlanabilirlik derecesidir.

3.2.6 Çözünürlük

Yapılan etkinin, çıkış sinyali üzerinde izlenebilecek bir değişim meydana getiren, en küçük giriş değeridir.

3.2.7 Doğruluk

Uygulanan etkinin gerçek değeri ile sensörün çıkışta gösterdiği değer arasındaki farktır.

3.2.8 Ofset

Bir sensörün ofset hatası, çıkışın sıfır olması gerektiği durumda çıkışta görülen değerdir. Bir başka deyişle belirlenmiş çıkış ile o anda ölçülen gerçek çıkış değeri arasındaki farktır.

3.2.9 Doğrusallık

Bir sensörün doğrusallığı, sensörün ölçülen eğrisinin ideal eğriden ne kadar saptığıyla bağlantılı bir ifade ile tanımlanır.

3.2.10 Cevap Zamanı

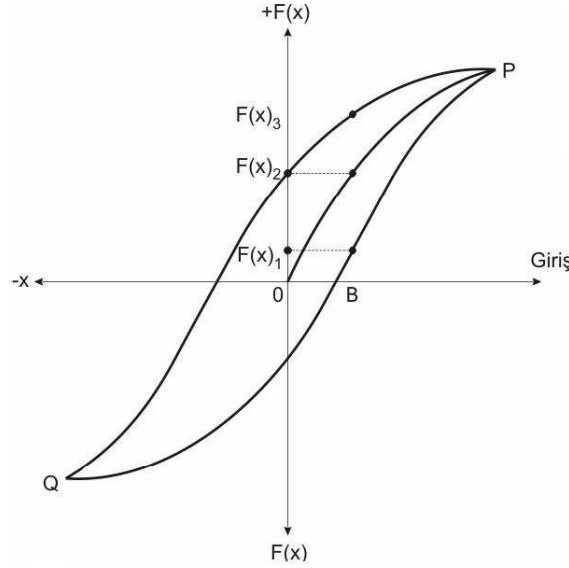
Sensörlerin giriş parametresinde oluşan değişime karşı tepki verme süresinin bir ölçüsüdür. Bir başka deyişle tepki süresinin plato değerine ulaşması için geçen zamana yatışkın durum cevap zamanı (T_r) denir. Toplam cevap süresinin %90'nına ulaşmak için geçen zaman ise T_{90} olarak adlandırılır. Birçok biyosensörde T_r çok uzun olduğu için T_{90} tercih edilir.

3.2.11 Dinamik Doğrusallık

Bir sensörün dinamik doğrusallığı, girişteki etkinin değişim hızını takip edebilme kapasitesinin ölçüsüdür.

3.2.12 Histerisis

Bir sensör, değişim yönü ne olursa olsun giriş parametresindeki değişimleri tam olarak takip edebilmelidir.

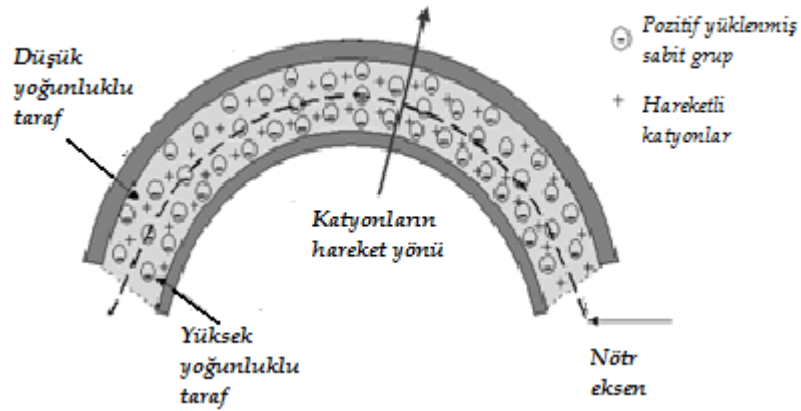


Şekil 3.2 Histerisis

3.3 IP²C Algılama Karakterizasyonu

Bölüm 2’de hazırlanmasından bahsedilen örnekler elektriksel olarak test edilmiş ve sensör olarak davranışları araştırılmıştır. Membran, uyarıcı etkilere bağlı olan algılama davranışı göstermektedir. Eğer mekanik olarak şekli bozulursa, algılama akımı üretir.

Çizelge 2.2 ve 2.4’te görülen IP²C’ler sensör olarak çalışma yeteneklerini araştırmak için test edilmiş ve farklı organik iletkenler ve çözücüler kullanarak algılama yetenekleri karşılaştırılmıştır.

Şekil 3.3 IP²C sensörün çalışma prensibi (Fortuna vd., 2009b)

Membrana mekanik deformasyon uygularsak yüklerin dağılımını değiştirmek mümkündür (Şekil 3.3). Uygulanan kuvvet, membranın bir tarafının uzarken diğer tarafının bükülmesine neden olur. Hareketli iyonlar sonuç olarak çözücü moleküllerini taşıyan düşük yük yoğunluğu ile karakterize edilen bölgeye doğru hareket eder. Negatif yüklerin yetersizliği ve pozitif yüklerin fazlalığı bir tarafın büyümesiyle sonuçlanmaktadır. Bükülmüş tarafta tam tersi

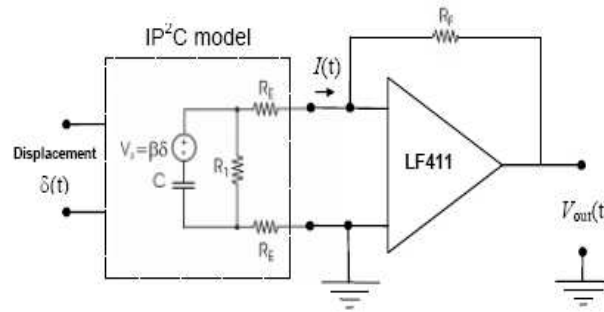
oluşmaktadır. Algılama yeteneğinin oluşmasına sebep olan bu olay elektrotlarda eğimli (gradient concentrated) gerilim üretir, böylece yük ve kısa devre akımı açısından ölçülebilmektedir.

3.3.1 Deney Düzenegi

Uygun koşullanma devresi sensör tarafından üretilen sinyalleri belirlemek için kullanılmaktadır. Membran deforme olduğu zaman üretilen akımın ölçümü, akım yükselteçleri ile yapılır (Shahinpoor, 2003). Devre Şekil 3.4'te gösterilmektedir.

Kısa devre akımı Şekil 3.4'te gösterilen devre aracılığıyla gerilime dönüştürülür ve aşağıda gösterilen denklem (3.1) elde edilir.

$$\frac{V_{out}}{I} = -R_F \quad 3.1$$



Şekil 3.4 Kısa devre akımı yükselteci devresinin şeması (Fortuna vd., 2009b)

Sensör olarak çalışan kısa devre akım yükseltecinin üstten görünüşü Şekil 3.5'te gösterilmektedir.



Şekil 3.5 Kısa devre akımını ölçmek için kullanılan devrenin kartı (Fortuna vd., 2009b)

IP²C sensörlerinin elektromekanik dönüşüm yeteneklerini test etmek için bunun için tasarlanmış mekanik bir alet kullanılır. Tüm deney düzeneği Şekil 3.6’da gösterilmektedir.



Şekil 3.6 Membranın algılama yeteneğini test etmek için kurulan düzenek (Fortuna vd., 2009b)

Düzenek, plastikten yapılmış hareketli silindirik tampon içerir ve dişli sistemi ve sürgü ile CC motor tarafından çalıştırılmaktadır. Plastik tampon IP²C membrana vuruş yönünü değiştirerek vurur, bu periyodik vuruşlara tepki olarak kısa devre yükseltecinden akan algılama akımı oluşur. Sonuçta, National Instruments™ in DAQ 6052 kartı çıkış gerilimlerini elde etmek için kullanılır.

Veri toplama (data acquisition) işleminin amacı gerilim, akım, sıcaklık, basınç ve ses gibi fiziksel büyüklüklerin ölçülmesi ve incelenmesidir. Veri toplama işlemi ölçülen kaynaklardan sinyallerin toplanmasını ve kayıt, analiz ve PC’de sunulması için sayısallaştırılmasını içerir.



Şekil 3.7 PC Tabanlı Veri Toplama

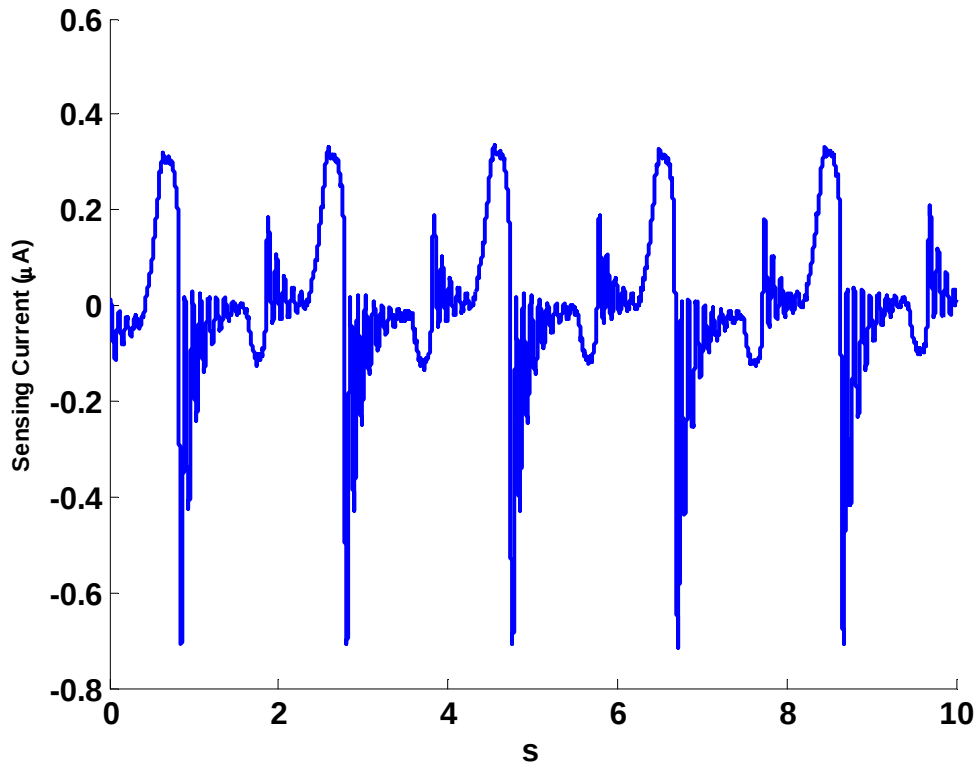
Basit bir DAQ sistemi 5 elemandan oluşur:

- Dönüştürücüler (Transducers) ve sensörler (sensors)
- Sinyaller
- Sinyal koşullandırma (Signal conditioning)
- DAQ donanımı
- Sürücü (Driver) ve uygulama (application) yazılımı

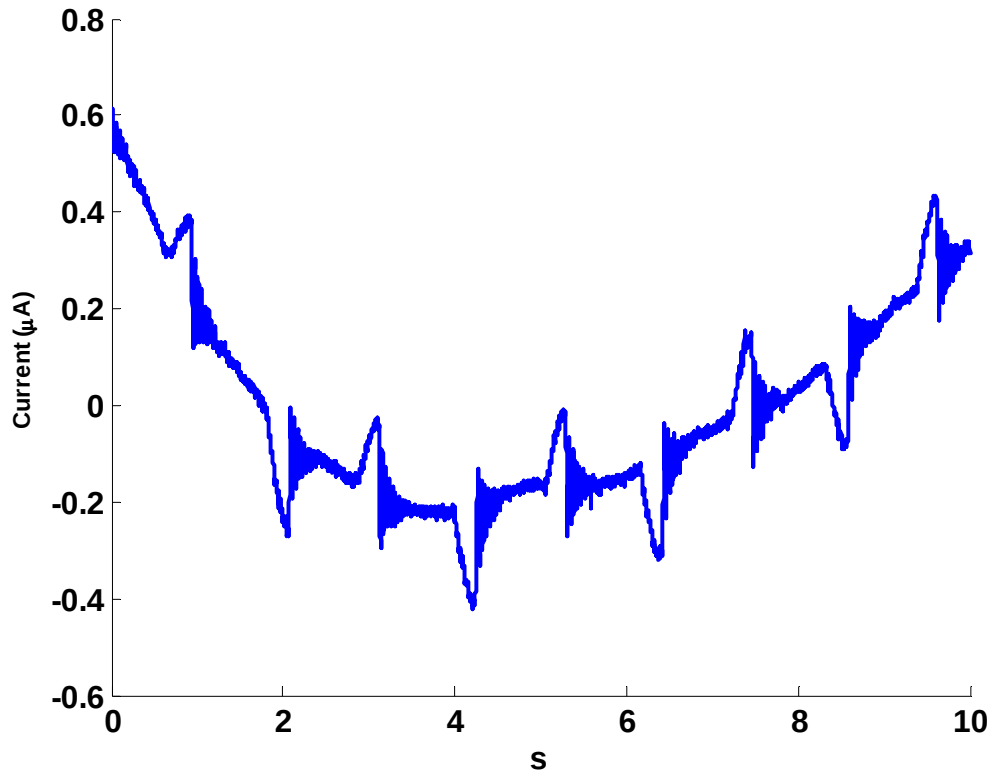
Bazen dönüştürücüler DAQ cihazı ile direk ölçmek için zor veya tehlikeli sinyaller üretirler. Yüksek gerilimler, gürültü, çok yüksek ve düşük sinyallerle uğraşırken sinyal koşullandırma etkili bir DAQ sistemi için gereklidir. Sinyal koşullandırma işlemi sistemin doğruluğunu maksimuma çıkarır, sensörlerin tam anlamıyla çalışmasına izin verir ve güvenliği garantiler.

3.3.2 IP²C Orgacon 3040

Çalışmanın bu kısmında, Orgacon™ EL-P 3040 membran örneklerinin davranışları test edilmiştir. Membran sensör davranışı göstermektedir. İki örnek test edilmiştir: EG'li Orgacon (EG_3040) ve EmI Tf 'li Orgacon (EmI Tf _3040) ve akım tepkileri Şekil 3.8 ve 3.9'da gösterilmektedir.



Şekil 3.8 EG_3040 örneğinin algılama akımı

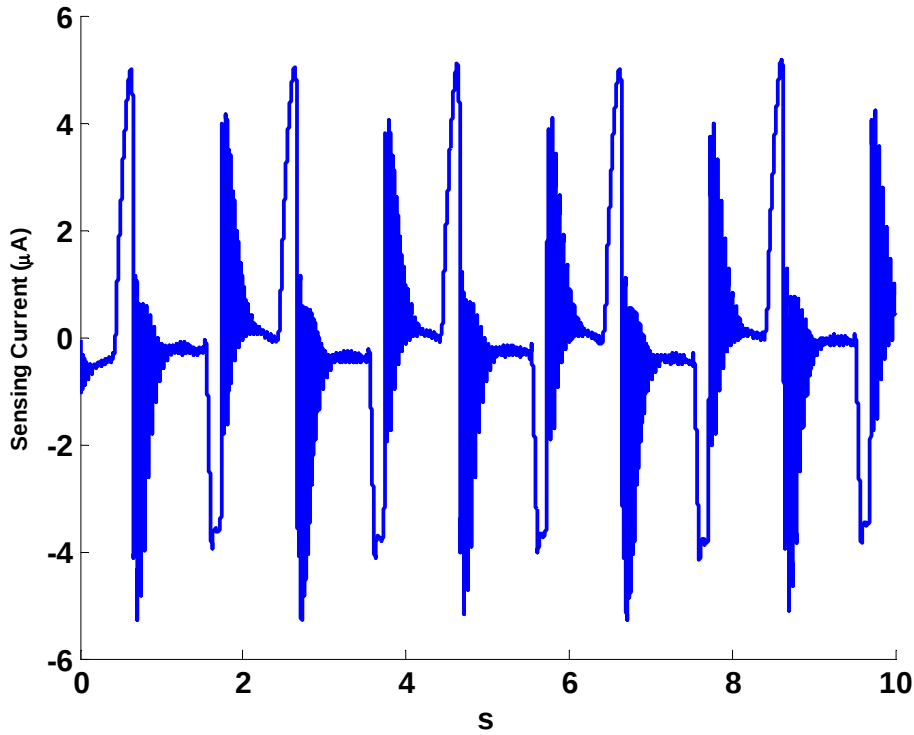


Şekil 3.9 EmI Tf'li Orgacon un algılama akımı

Yukarıda görüldüğü gibi, Orgacon ile gerçekleştirilen membranlar düşük algılama yetenekleri göstermektedir. Deney düzeneği anlatılırken bahsedildiği gibi uygulanan kuvvet iki yönlüdür. Elde edilen akımın pozitif ve negatif eş alternansları olması beklenmektedir. EmI Tf'li Orgacon'da çekilen akım hem çok küçük hem de değişkendir. Sonuçlar, sensör olarak kullanmak için EG'li Orgacon 3040'un EmI Tf'li Orgacon'a göre daha iyi bir seçim olduğunu göstermektedir. Bu tür membranlar aktuatör olarak da test edilmiş ve 4. bölümde açıklanmıştır.

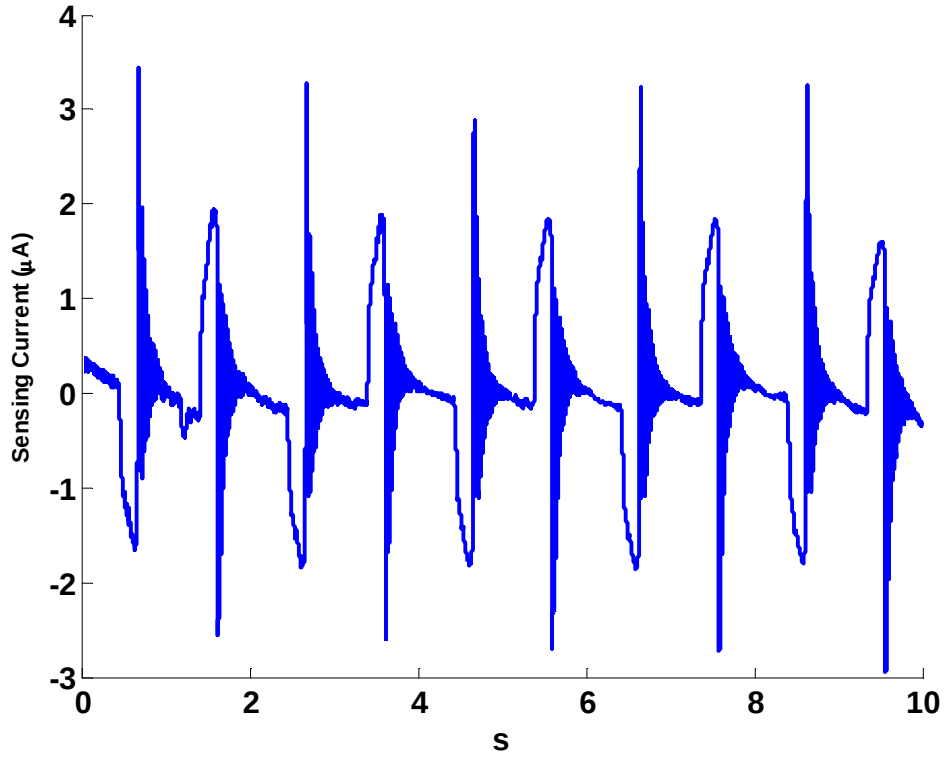
3.3.3 IP²C Baytron PHCV4

Diğer test edilmiş örnekler, Baytron PHCV4 ile gerçekleştirilen elektrotlar ile karakterize edilmiştir. Yukarıda tanımlandığı gibi, sensör olarak çalışma yeteneğini incelemek için IP²C test edilmiştir. Membran Şekil 3.10 ve 3.11'de görüldüğü gibi sensör yetenekleri göstermektedir.



Şekil 3.10 EG ve Baytron PHCV4 ile gerçekleştirilen IP²C'nin algılama akımı

Bu sonuç EG ve Baytron PHCV4 ile gerçekleştirilen örneğin Orgacon ile gerçekleştirilmiş olana göre daha yüksek algılama akımına sahip olduğunu göstermektedir.

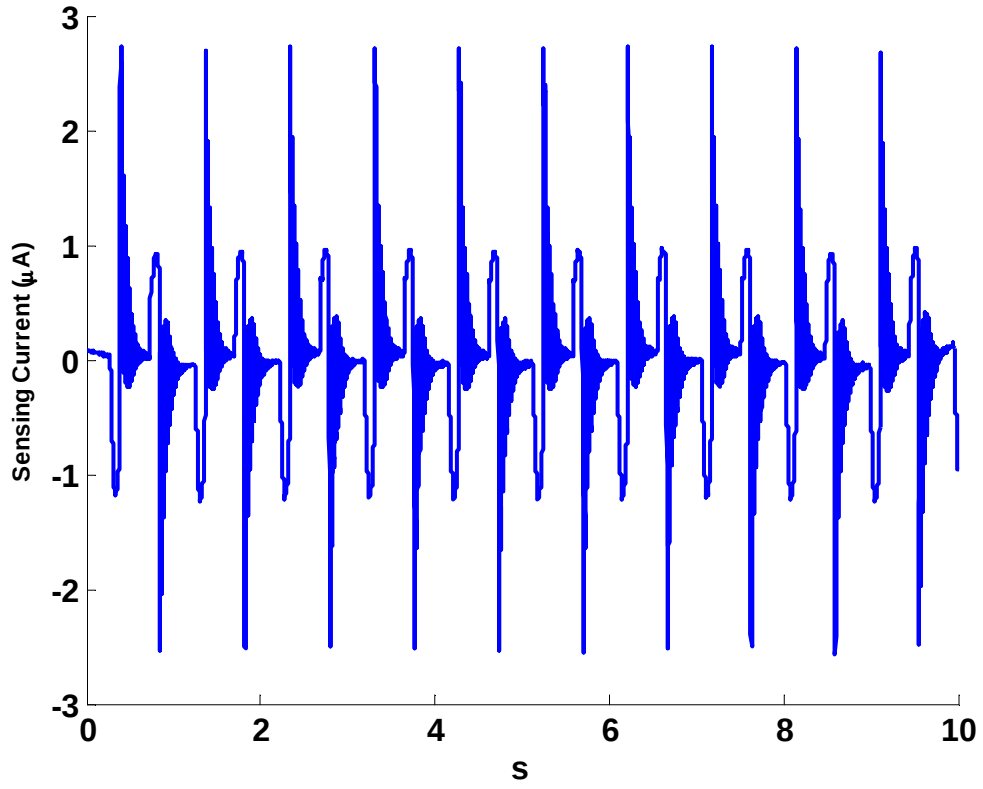


Şekil 3.11 EmI Tf ve Baytron PHCV4 ile gerçekleştirilen örneğin çıkış akımı

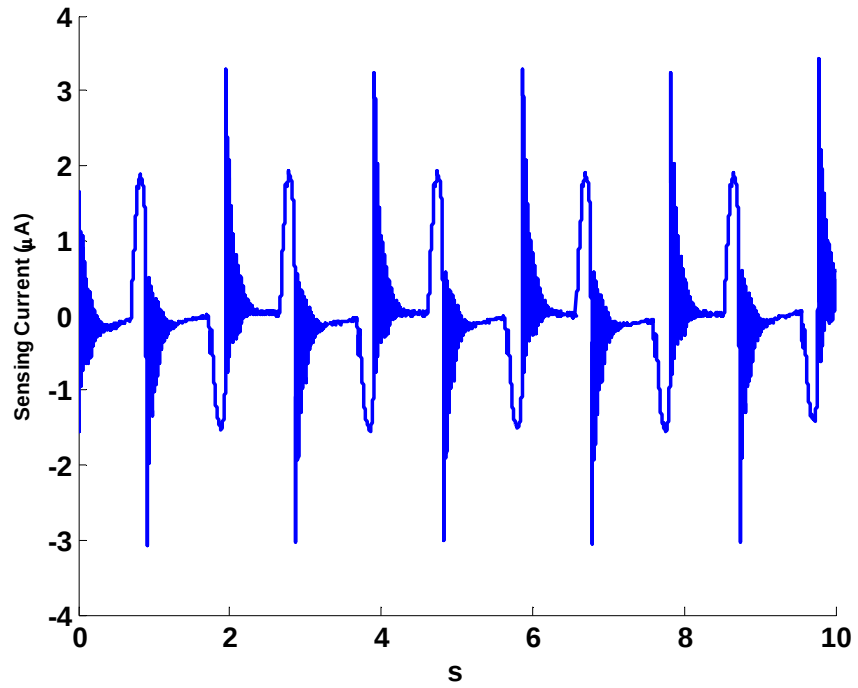
Bu sonuç, yani pozitif ve negatif eş alternansların varlığı ve μA mertebelerindeki akım değeri ile EmI Tf'li Baytron PHCV4 ile gerçekleştirilen örneğin iyi algılama davranışı gösterdiğini ispatlamaktadır. Bununla birlikte daha yüksek çıkış akımına sahip olması nedeniyle EG_PHCV4 örneği EmI_PHCV4 örneğine göre daha iyi sonuçlara sahiptir.

3.3.4 IP²C Baytron PH500

Elektrot elemanı Baytron PH500 olan örneklerin sensör davranışı test edilmiştir. Bu organik iletken EG ve EmI Tf ile gerçekleştirilen IP²C cihazlarda kullanılmıştır. Onların akım tepkileri Şekil 3.12 ve 3.13'te gösterilmektedir.



Şekil 3.12 EG ve Baytron PH500 ile gerçekleştirilen örneğin çıkış akımı

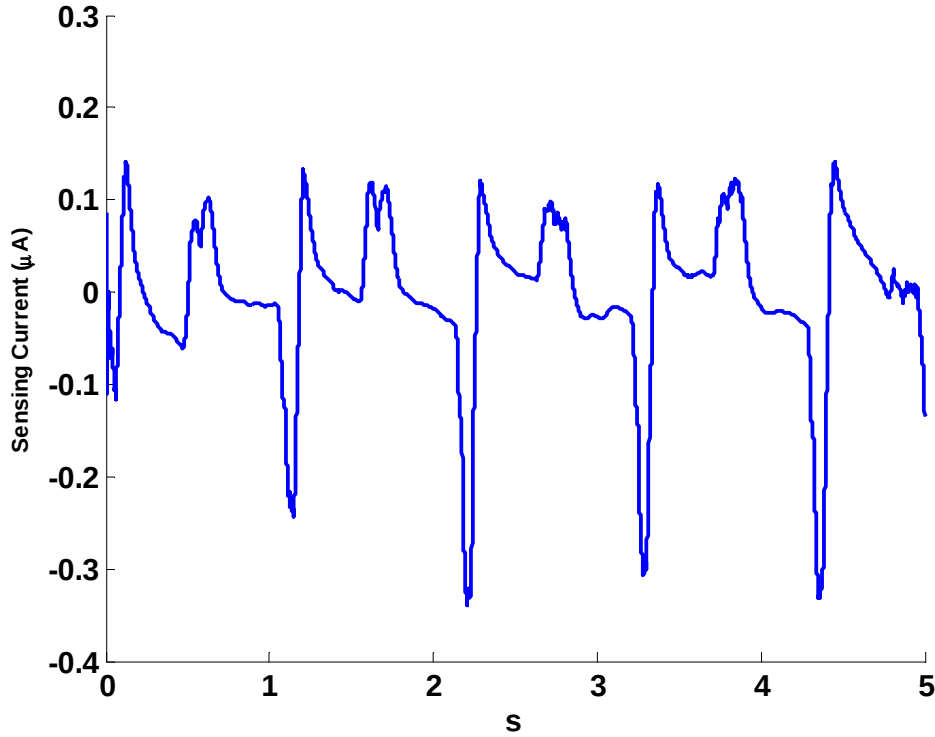


Şekil 3.13 EmI Tf ve Baytron PH500 ile gerçekleştirilen örneğin çıkış akımı

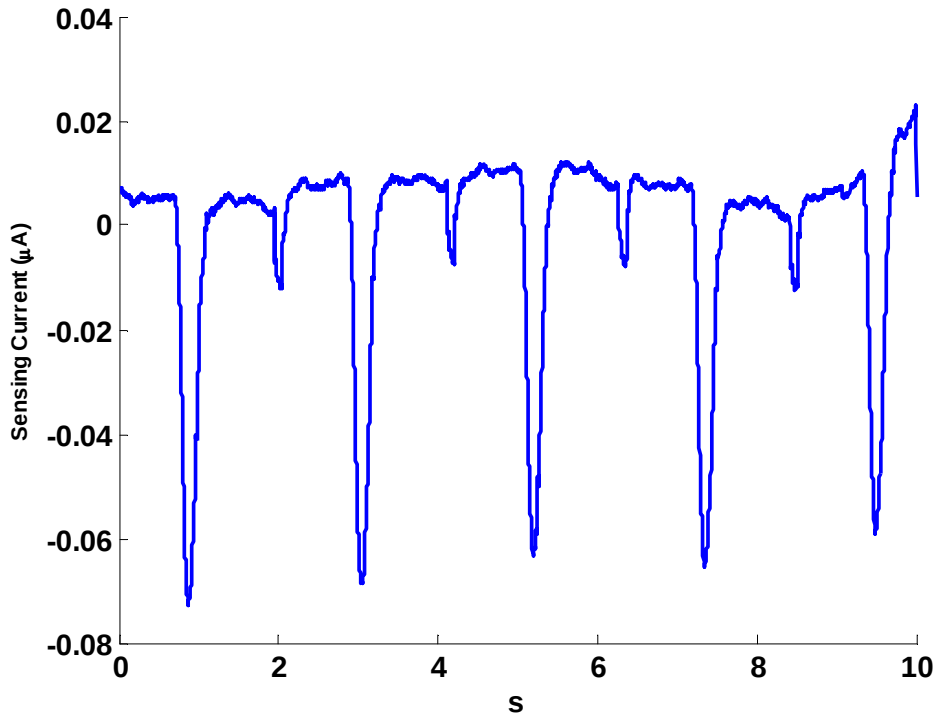
Bu sonuçlar Baytron PH500 ile gerçekleştirilen membranların sensör yeteneklerinin olduğunu ispatlamaktadır. Ayrıca, bu organik iletken her iki cihaza da yeterli algılama akımını geliştirmesi için izin vermektedir. Teknolojinin yeni olması sebebiyle elde edilen akımlar küçüktür ve μA mertebelerindeki akımlar yeterli görülmektedir.

3.3.5 IP²C Baytron PH510

Diğer test edilmiş örnekler temeli Baytron PH510 olan elektrotlar ile karakterize edilir. Örneğin iki çeşidi test edilmiştir: EG_PH510 ve EmI_PH510. Şekil 3.14 ve 3.15'te gösterilen bu sonuçlar sensör olarak çalışmak için her ikisinin de iyi yetenekleri olmadığını göstermektedir.



Şekil 3.14 EG 'li Baytron PH510'un çıkış akımı

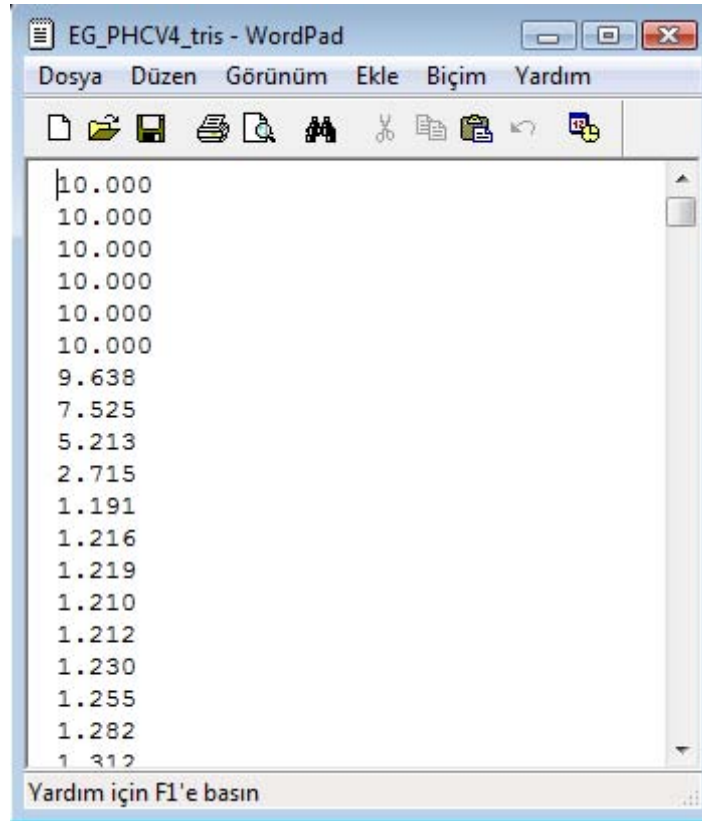


Şekil 3.15 EmI Tf'li Baytron PH510'un çıkış akımı

Yukarıda görüldüğü gibi, Baytron PH510 ile gerçekleştirilen membranlar zayıf algılama yeteneği göstermektedir ve elde edilen akımlar Orgacon 3040 ile gerçekleştirilen örneklerinkinden daha düşüktür.

3.3.6 MATLAB kodları

Plastik tampon IP²C membrana vuruş yönünü değiştirerek vurur, bu periyodik vuruşlara tepki olarak kısa devre yükseltecinden akan algılama akımı oluşur. Sonuçta, National Instruments™ in DAQ 6052 kartı çıkış gerilimlerini elde etmek için kullanılır. Bilgisayarda oluşan dosyalar MATLAB programına girdi olarak verilmekte ve yukarıdaki grafikler elde edilmektedir. Aşağıda girdi dosyası örneği ve MATLAB kodları verilmektedir.

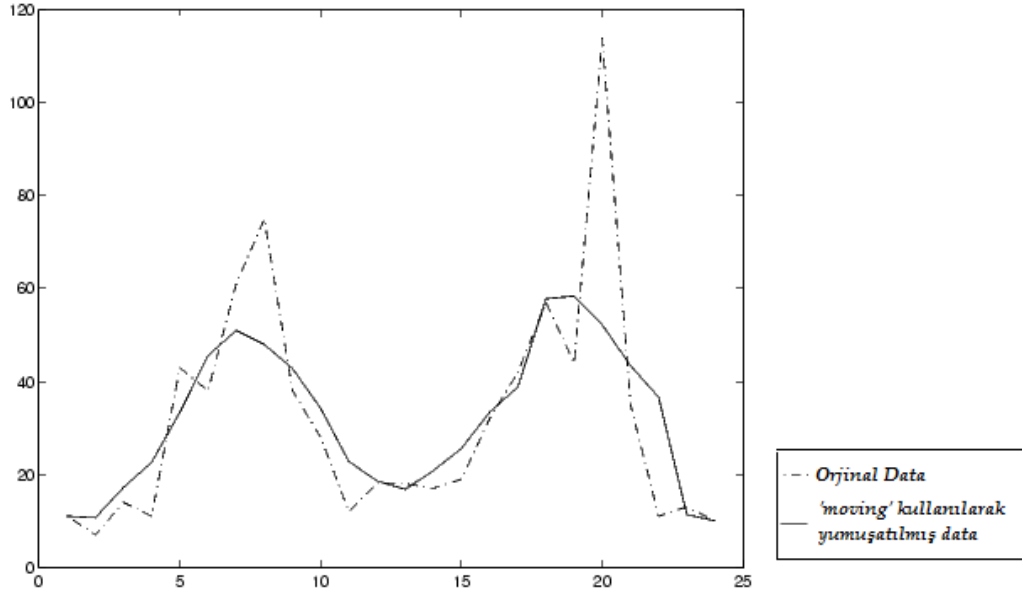


Şekil 3.16 Girdi dosyası örneği

Yukarıda MATLAB'e girdi olarak verilen dosya örneği görülmektedir. Membrana kuvvet uygulandığı zaman oluşan akımı elde etmek için aşağıdaki kod parçası kullanılmaktadır.

```
clc
clear all
close all
dir='D:\tez\matlab_calismalari\baytron\9june_for_emi\sensore1';
file='EG_PHCV4_tris';
data = detrend(load(cat(2,dir,'/',file)));
time = [1/1000:1/1000:length(data)/1000];
R=1;
hold on,
plot(time,smooth(data/R),'b','LineWidth',2),ylabel('Current
(\mu A)','FontSize',9,'FontWeight','bold')
xlabel('s','FontSize',12,'FontWeight','bold')
set(gca,'FontSize',12,'FontWeight','bold')
saveas(gcf, cat(2,dir,'/',file,'.fig'))
```

Load fonksiyonu ile bilgisayarda yer alan bir dosyayı MATLAB'te kullanabilmekteyiz. Smooth fonksiyonu 'moving average' metodunu kullanarak sinyali yumuşatmaktadır. Default data noktaları ortalama 5'tir. Aşağıda bir örnek yer almaktadır.



Şekil 3.17 Smooth fonksiyonuna bir örnek

Detrend fonksiyonu ortalama değer veya linear eğilimleri ortadan kaldırır, genellikle FFT işlemlerinde. $y = \text{detrend}(x)$ fonksiyonunda x matrix ise detrend her sütundaki eğilimi kaldırır.

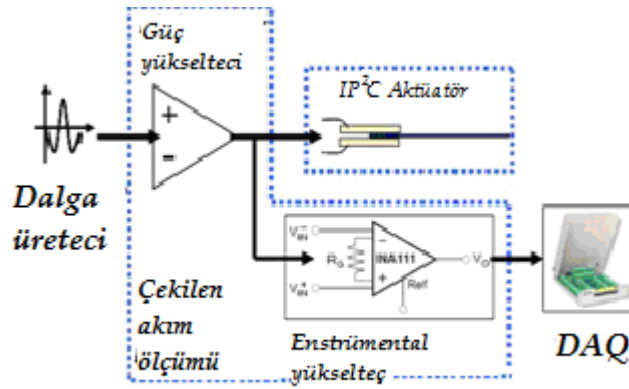
4. IP²C AKTUATÖR KARAKTERİZASYONU

İyonik polimer dönüştürücülerin 1992’de tanıtılmasından bu yana, birçok araştırmacı bu dönüştürücülerin davranışlarını araştırmaya başlamıştır. Mesela, Mojarad ve Shahinpoor (1997a) sinusoidal, üçgen, kare ve testere dişi dalga şekilleri uygulanan iyonik polimer bloke kuvvete karşı zaman grafiklerini sunmuşlardır (Fortuna vd., 2008b).

Ayrıca bu çalışmada, aktuatör olarak çalışma yeteneklerini araştırmak için giriş sinyali olarak sinusoidal ve üçgen sinyaller uygulanmıştır. Ayrıca, örneklere frekans süpürme sinyali de uygulanmış ve rezonans frekansları elde edilmiştir.

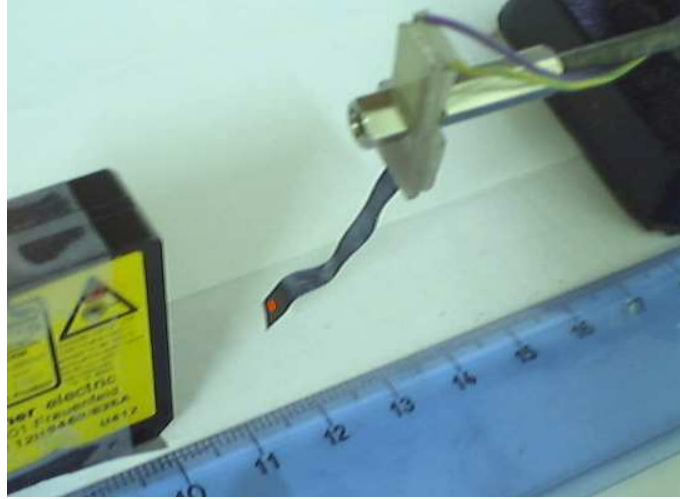
4.1 Deney Düzeneği

Örneklerin aktuatör olarak işlevselliği Şekil 4.1’de gösterilen deney düzeneği kullanılarak ölçülmüştür.



Şekil 4.1 IP²C aktuatörler için kullanılan deney düzeneği (Fortuna vd., 2009b)

Aktuatör yer değiştirme, Şekil 4.2’de gösterilen lazer yakınlık sensörü aracılığıyla ölçülmüştür. Elektriksel karakterizasyonu gerçekleştirmek için ad hoc ölçümü ve koşullandırma devresi (conditioning circuit) gerçekleştirilir. Elde edilen sinyaller, giriş gerilimi, çekilen akım ve yer değiştirme National Instruments firmasının DAQ 6052 kartı aracılığıyla elde edilmiştir ve bilgisayara gönderilmiştir [2].



Şekil 4.2 Aktuatör testi için ölçüm düzeneği (Fortuna vd., 2009b)

15 voltluk dual voltaj güç kaynağı veri koşullandırma devresine gönderilir (data conditioning circuit). 10 μ F'lık iki paralel kapasitor güç hattında üretilen gürültüyü azaltmak için kullanılır. Daha sonra çalışması için gerekli akımı sağlayan tampon katı bulunur, böylece aktuatör tepe değeri 1A den büyük olan akımı çekebilir (Şekil 4.3) [2].

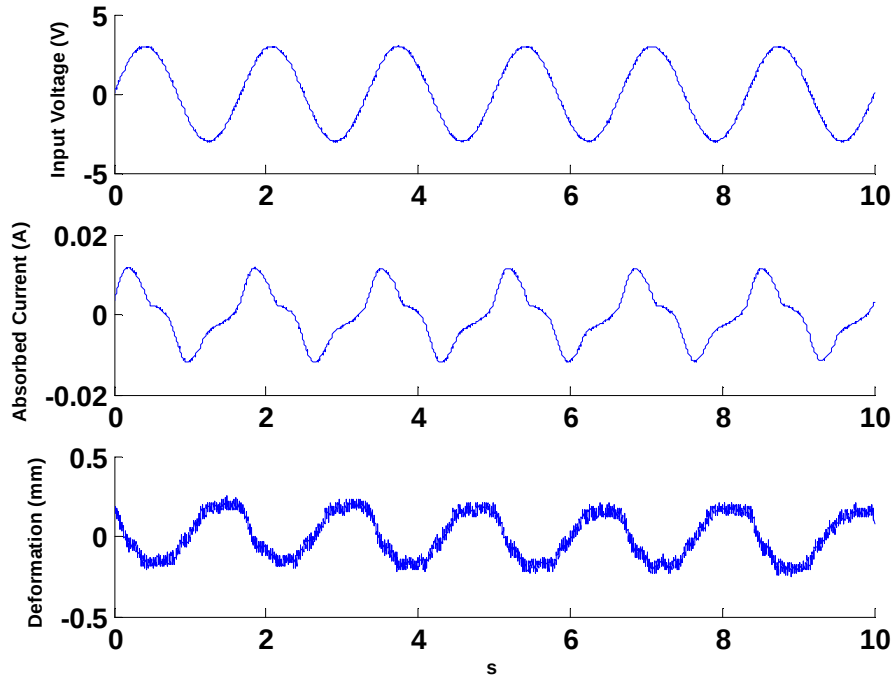


Şekil 4.3 Koşullandırma devresinin (conditioning circuit) prototipi (Fortuna vd., 2009b)

Tampon katında, Texas Instruments'dan OPA548T, yüksek-gerilim/yüksek-akım işlemsel yükselteci, kullanılmıştır. Yükseltecin çıkış gerilimi membran elektrotlarına uygulanmıştır. Aktuatör tarafından çekilen akım Texas Instruments'dan FET-giriş enstrümantal yükselteci, INA111AP-ND, aracılığıyla ölçülmüştür.

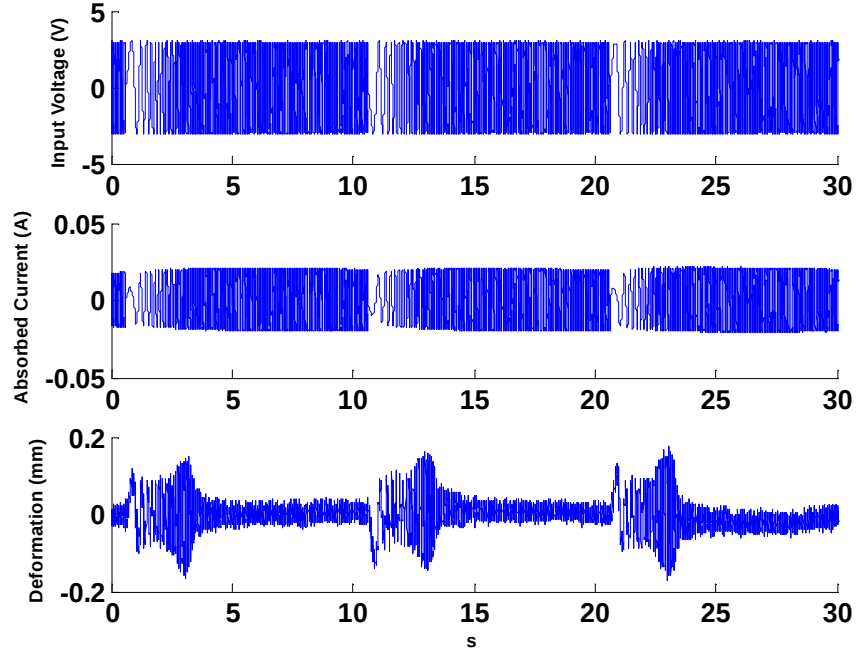
4.2 IP²C Orgacon 3040

Bu kısımda, Orgacon™ EL-P 3040 membran örnekleri aktuatör olarak davranışlarını araştırmak için test edilmişlerdir. Farklı frekanslara ve genliklere sahip bazı sinusoidal sinyaller uygulanmıştır. Frekansı 1Hz ve tepeden tepeye genliği 6 Vpp olan sinusoidal sinyal elektrot olarak Orgacon™ EL-P 3040 kullanılan örneklere uygulanmıştır. Şekil 4.4'te EG ile yapılmış örneğe uygulanmış düşük frekans sinyali, çekilmiş akımı ve lazer sensörü yardımıyla ölçülen deformasyonu göstermektedir.

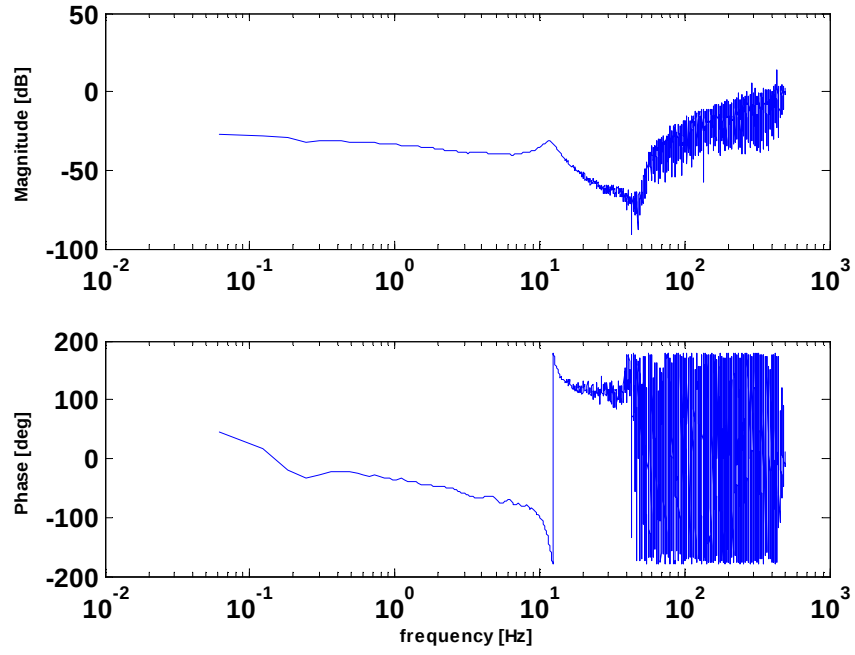


Şekil 4.4 EG_3040 örneğinin giriş gerilimi, deformasyon ve çekilen akımı (Genliği 6 Vpp ve frekansı 0.2 Hz olan sinusoidal sinyal uygulanmıştır)

Şekil 4.4' te görüldüğü üzere çekilen akımın değeri 10 mA dolaylarındadır. Bunun yanında membranda meydana gelen deformasyona da grafikte yer verilmiştir. Ölçümlere göre çok büyük deformasyon değerlerimizin olmadığı görülmektedir. Fakat teknolojinin yeni olması sebebiyle şu an birkaç mm iyi sonuç olarak değerlendirilmektedir. Ayrıca membrana, genliği 6Vpp ve frekans aralığı 50 mHz'den 50 Hz'e değişen sinusoidal süpürme sinyali uygulanmış ve elde edilen yer değiştirme Şekil 4.5(a)'da gösterilmiştir. Bunun yanında Bode Diyagramına da yer verilerek bu grafik yardımıyla örneklerin rezonans frekansları tespit edilmektedir. Bode Diyagramlarında en yüksek değer olmasa da tek bir pik noktası yer almakta ve bu noktaya karşılık gelen değer onun rezonans frekansını vermektedir.



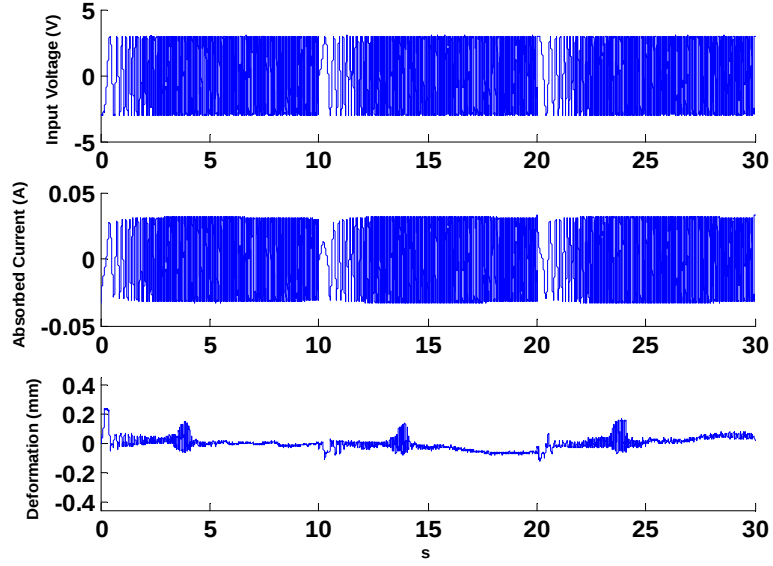
(a)



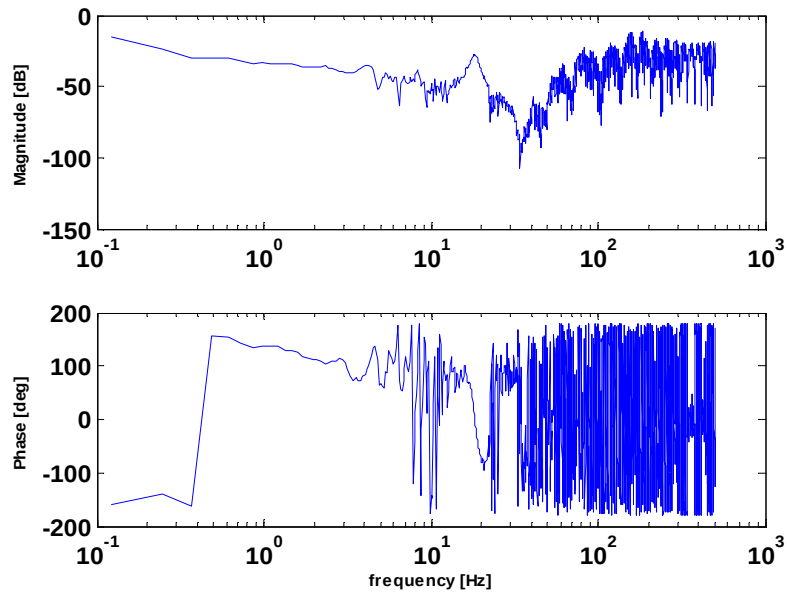
(b)

Şekil 4.5 EG-3040 örneğinin aktuatör ölçümü: (a) frekans süpürme; (b) Bode Diyagramı.

Buradan yola çıkarak Şekil 4.5 (b) yardımıyla örneğin 12 Hz'lik rezonans frekansına sahip olduğu tespit edilmiştir. EmI_3040 örneği de EG_3040 örneği gibi test edilmiştir. Şekil 4.6'da süpürme frekansı ölçümü ve Bode Diyagramı verilmiştir.



(a)



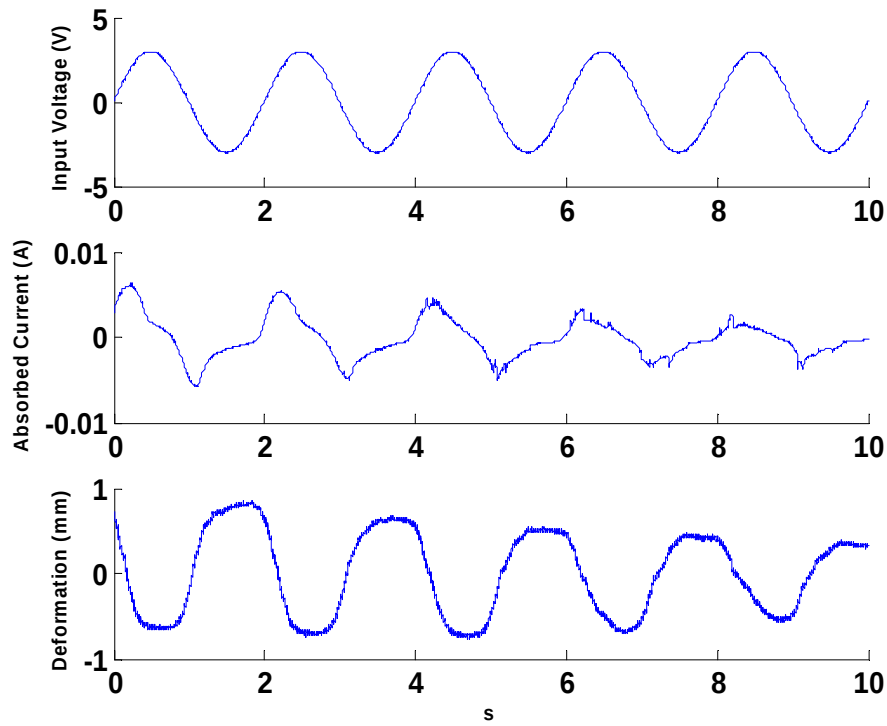
(b)

Şekil 4.6 EmI-3040 örneğinin aktuatör ölçümü: (a) frekans süpürme; (b) Bode Diyagramı.

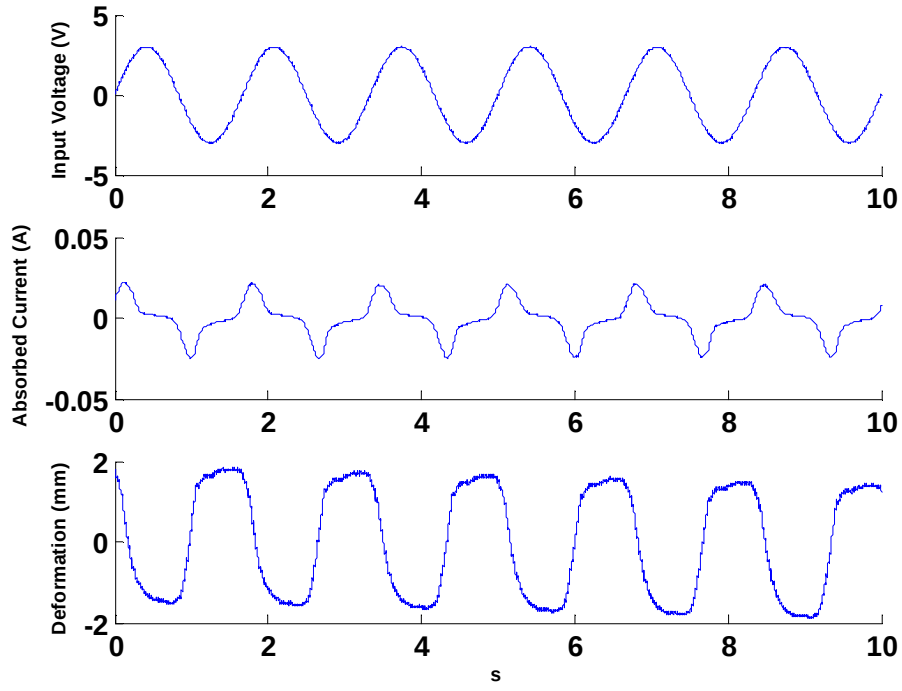
Şekil 4.6(a)'da örneğin değişik frekanslardaki giriş gerilimine karşılık meydana gelen deformasyonlar görülmektedir. Ayrıca Bode Diyagramından rezonans frekansı 18.4 Hz olarak elde edilmiştir. Bu sonuçlar, bu örneğin eyleme yeteneği (actuation capabilities) gösterdiğini ispatlamıştır, ama her iki örnek için de yer değiştirme çok küçüktür.

4.3 IP²C Baytron PHCV4

Elektrot olarak Baytron PHCV4 kullanılan ikinci örnek eyleyici yeteneğini (actuating capabilities) araştırmak için test edilmiştir. Çözücü olarak EG ve iyonik sıvı olarak EmI Tf kullanılan iki farklı örnek test edilmiştir. İki örneğe ilk olarak frekansı 0.2 Hz ve genliği 6 V olan sinusoidal giriş gerilimi uygulanmıştır ve elde edilen ölçümler Şekil 4.7 ve 4.8’de gösterilmiştir [2].

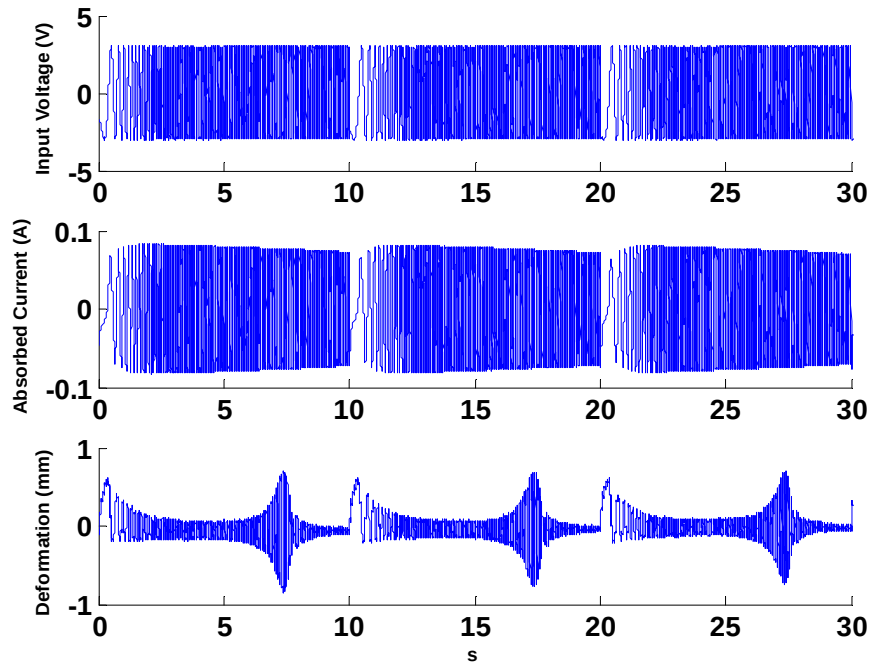


Şekil 4.7 EG_PHCV4 örneğinin giriş gerilimi, deformasyonu ve çekilen akımı (Genliği 6 Vpp ve frekansı 0.2 Hz olan sinusoidal sinyal uygulanmıştır)

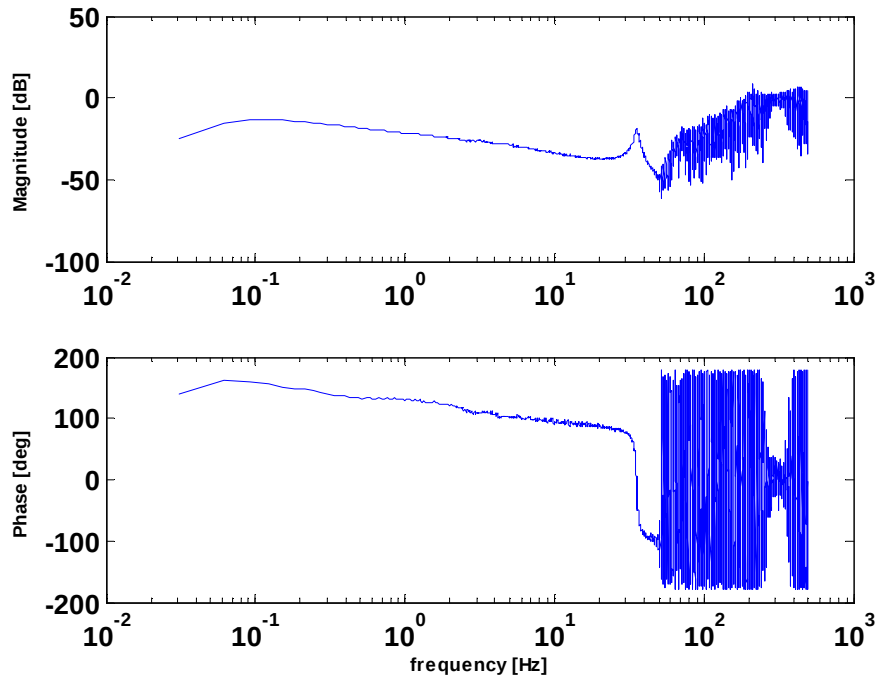


Şekil 4.8 EmI_PHCV4 örneğinin giriş gerilimi, deformasyonu ve çekilen akımı (Genliği 6 Vpp ve frekansı 0.2 Hz olan sinusoidal sinyal uygulanmıştır)

Frekans aralığı 10 mHz'den 50 Hz'e değişen sinusoidal süpürme sinyali EG-PHCV4 örneğine uygulanmış ve Şekil 4.9(a)'da gösterilen yer değiştirme elde edilmiştir. Bode Diyagramından rezonans frekansının 36 Hz olduğu görülmektedir.



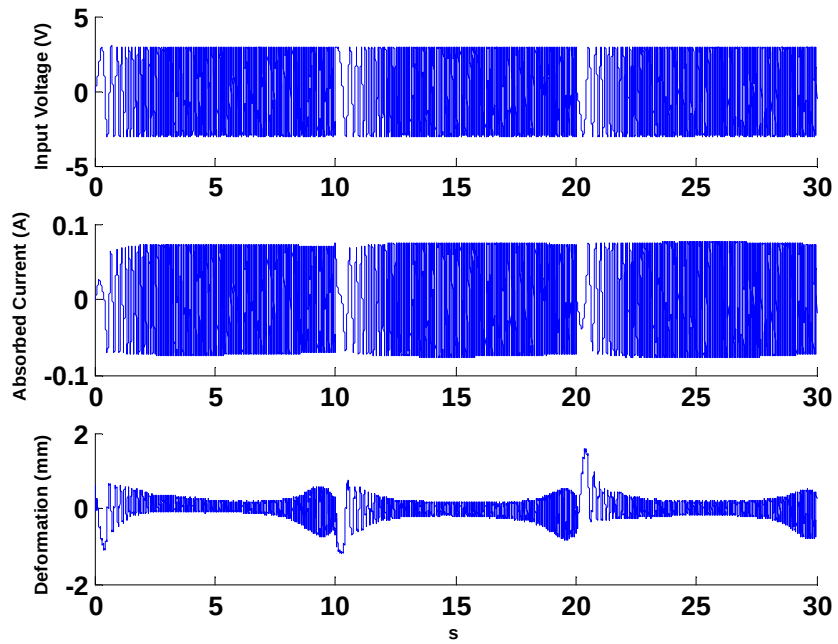
(a)



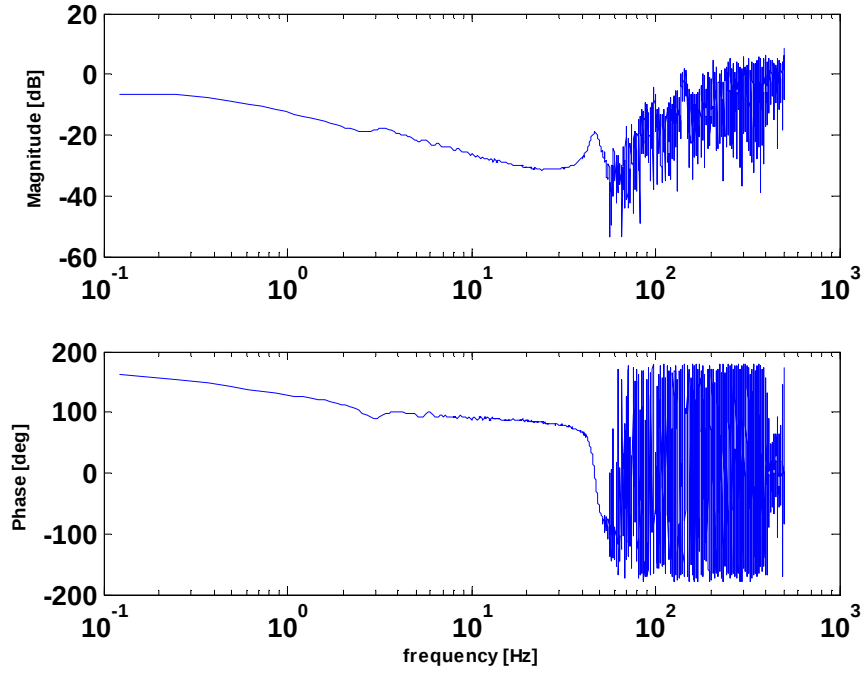
(b)

Şekil 4.9 EG_PHCV4 örneğinin aktuatör ölçümü: (a) frekans süpürme; (b) Bode Diyagramı.

EmI_PHCV4 örneğinin rezonans frekansı Bode Diyagramından (Şekil 4.10) elde edilmiş ve 41 Hz'dir.



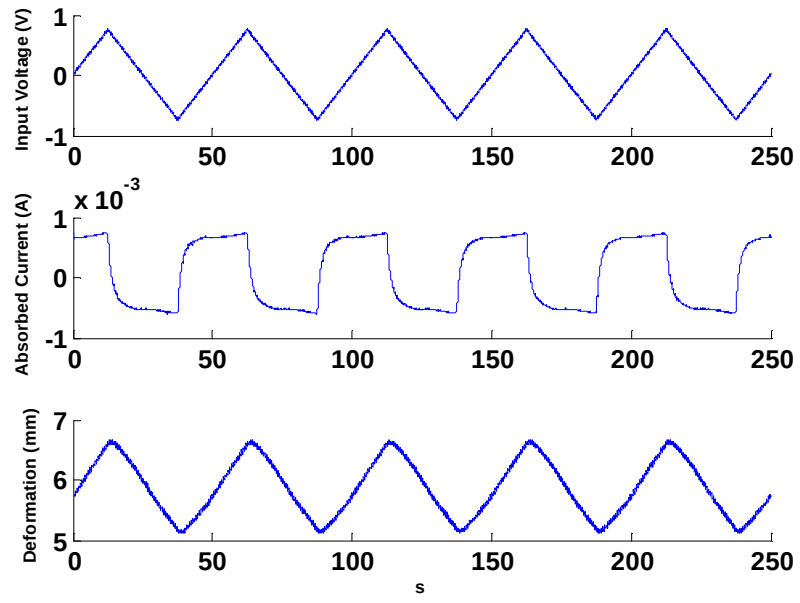
(a)



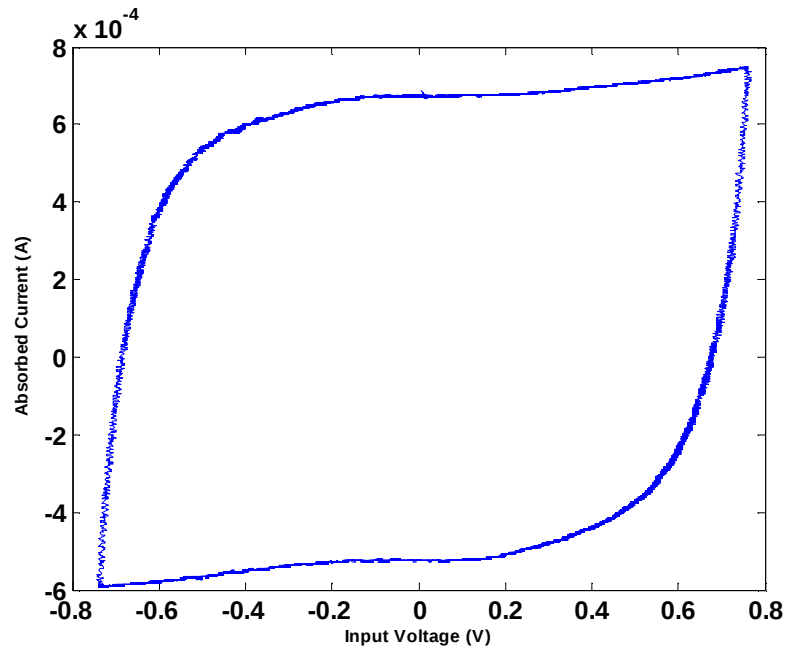
(b)

Şekil 4.10 EmI_PHCV4 örneğinin aktuatör ölçümü: (a) frekans süpürme; (b) Bode Diyagramı

Bu iki örnek benzer davranışlar göstermekte olup EmI_PHCV4 örneğinin rezonans frekansı EG_PHCV4 örneğinkinden daha yüksektir. Yani EmI_PHCV4 örneği daha yüksek frekansta çalışmaktadır. Bununla birlikte, elde edilen deformasyonun 100 mm dolaylarında olması nedeniyle bu organik iletken iyi performans göstermektedir. Daha önceki örneğimizde deformasyonun ancak 10 mm dolaylarında olduğu görülmüştür. Ayrıca, diğer ölçümler EG_PHCV4 üzerinde gerçekleştirilmiştir. Aslında, EG_PHCV4 örneğine değişik periyotlara sahip üçgen giriş gerilimleri Şekil 4.11, 4.12 ve 4.13'te görüldüğü gibi uygulanmıştır.

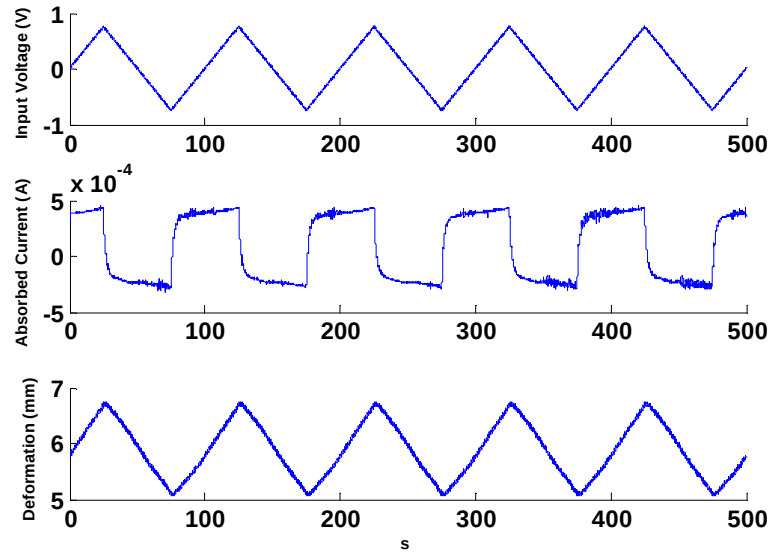


(a)

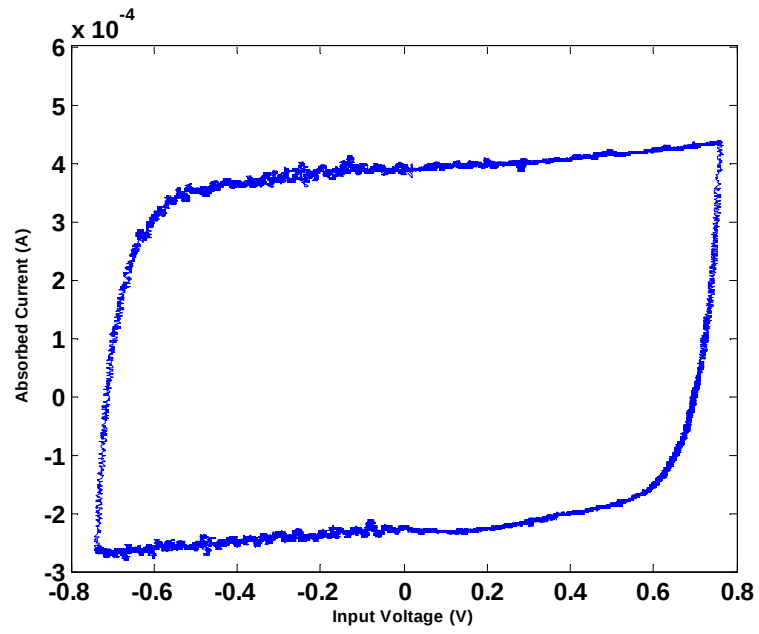


(b)

Şekil 4.11 (a)Aktuatör ölçümü (genliği 1.5Vpp ve periyodu 50s üçgen sinyal uygulanmıştır);
(b) IP²C akıma karşı uygulanan gerilim grafiği.

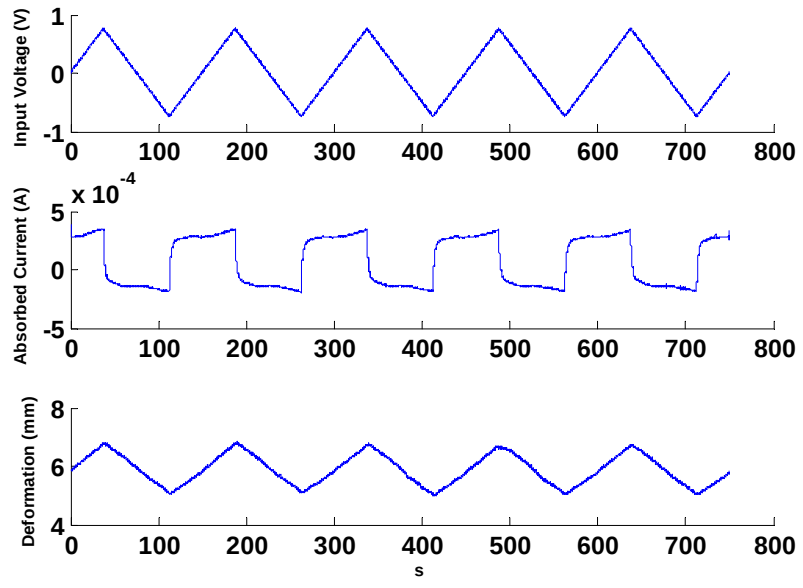


(a)

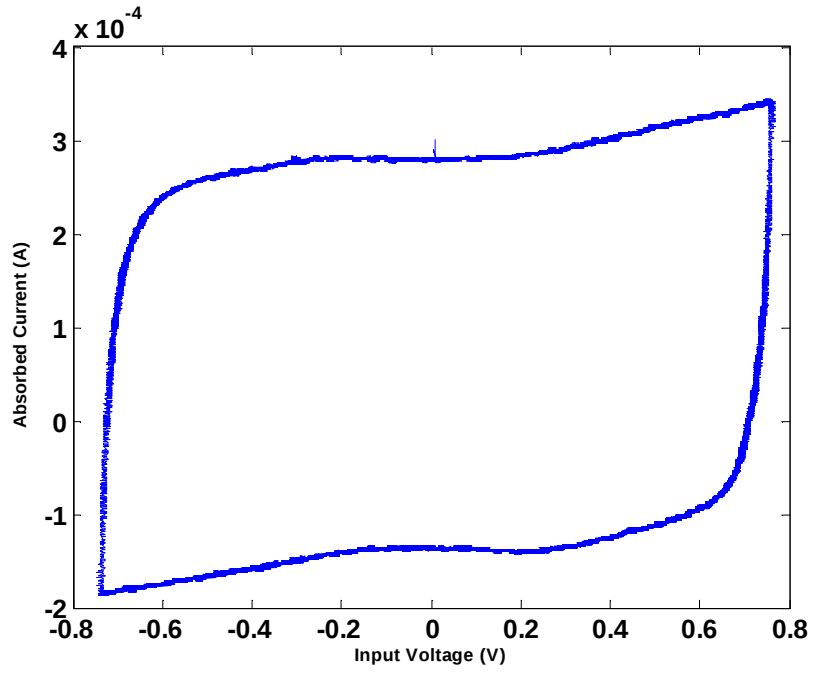


(b)

Şekil 4.12 (a) Aktuatör ölçümü (genliği 1.5Vpp ve periyodu 100s üçgen sinyal uygulanmıştır) ; (b) IP^2C akıma karşı uygulanan gerilim grafiği.



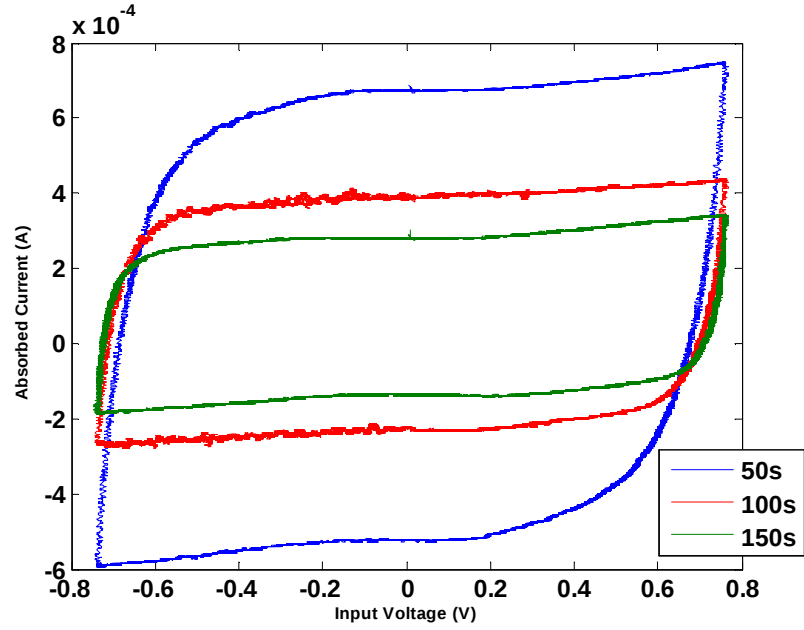
(a)



(b)

Şekil 4.13 (a) Aktuatör ölçümü (genliği 1.5Vpp ve periyodu 150s üçgen sinyal uygulanmıştır) ; (b) IP²C akıma karşı uygulanan gerilim grafiği.

Şekil 4.11(a), 4.12(a) ve 4.13(a)'da gösterilen değişik periyotlardaki üçgen ölçümleri Şekil 4.14'te I/V eğrisine göre karşılaştırılmıştır.

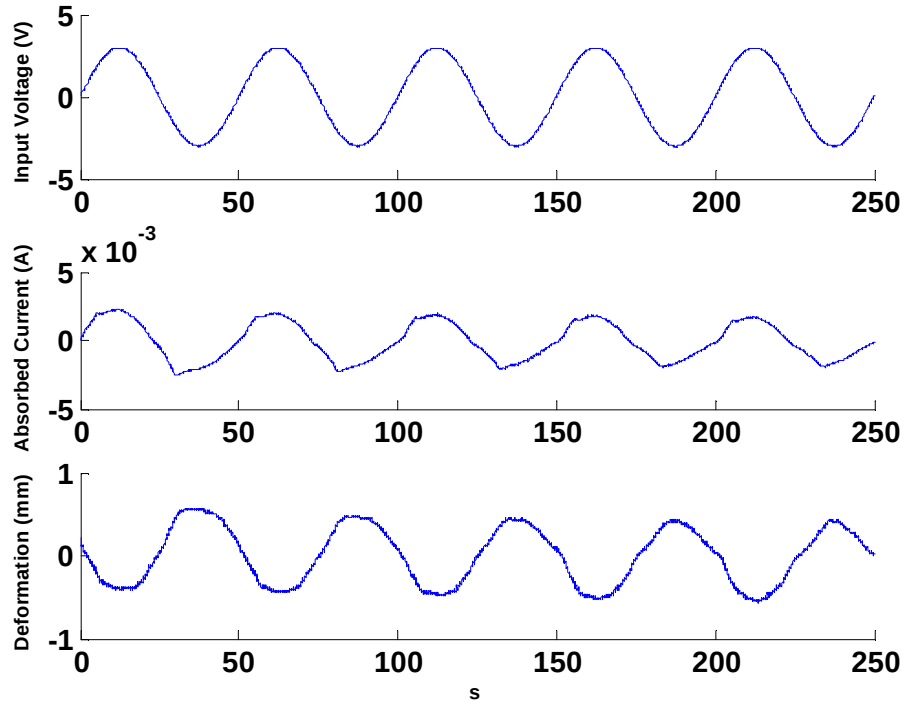


Şekil 4.14 IP²C çekilen akımına karşı değişik periyotlarda (50s, 100s and 150s) uygulanan gerilim

Elde edilen voltammogramlar artan periyotla geniş eğri artışı gösterir.

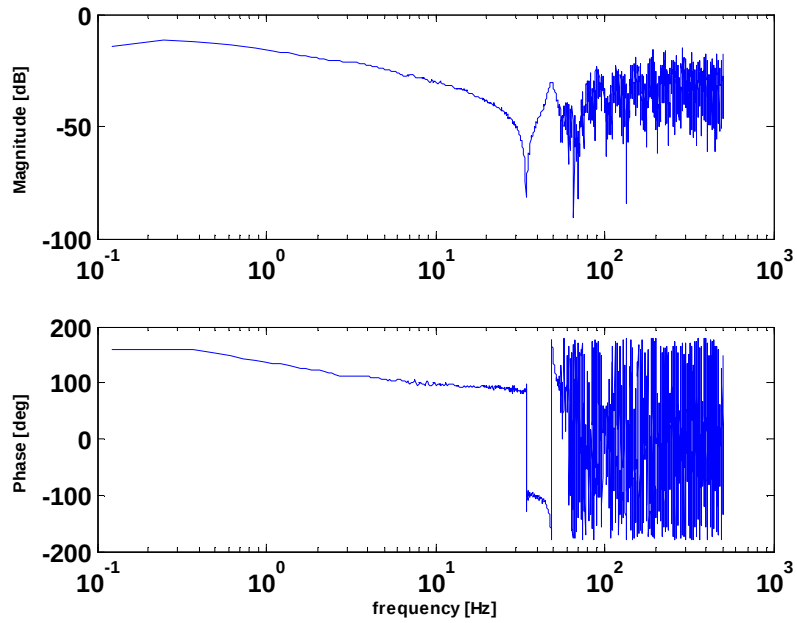
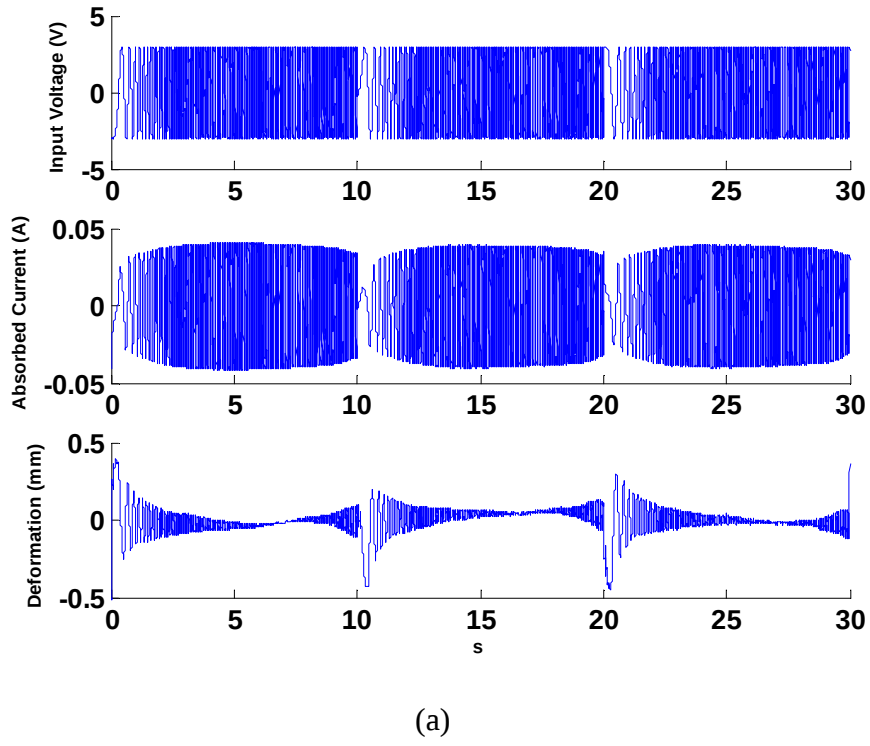
4.4 IP²C Baytron PH500

Elektrot olarak Baytron PH500 kullanılan üçüncü örnek test edilmiştir. Çözücü olarak EG ve iyonik sıvı olarak EmI Tf kullanılan iki örnek test edilmiştir. EG_PH500 örneğine düşük frekanslı sinusoidal sinyal uygulanmıştır (Şekil 4.15).



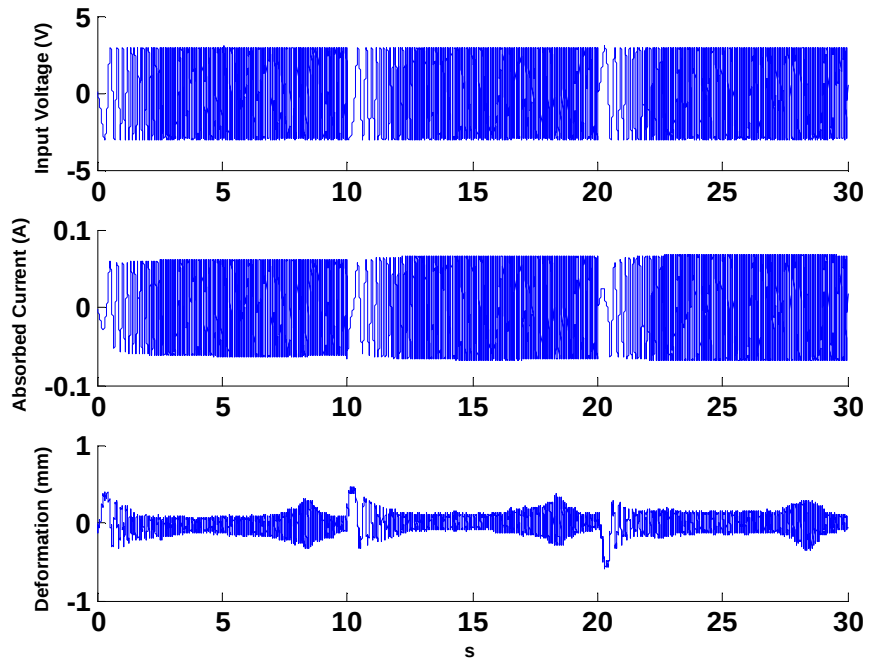
Şekil 4.15 EG_PH500 örneğinin giriş gerilimi, deformasyon ve çekilen akım (genliği 6 Vpp ve frekansı 0.2 Hz olan sinusoidal sinyal uygulanmıştır)

Frekans süpürmesi 50mHz den 50Hz'e kadar olan ve gerilimi tepeden tepeye 6 V olan sinusoidal gerilim sinyali bütün örneklerle uygulanmıştır. Çekilen akım ve örneğin yer değiştirmesi koşullandırma devresi ve lazer yakınlık sensörü aracılığıyla ölçülmüştür. Bode Diyagramı elde edilmiş ve örneğin rezonans frekansı değerlendirilmiştir.

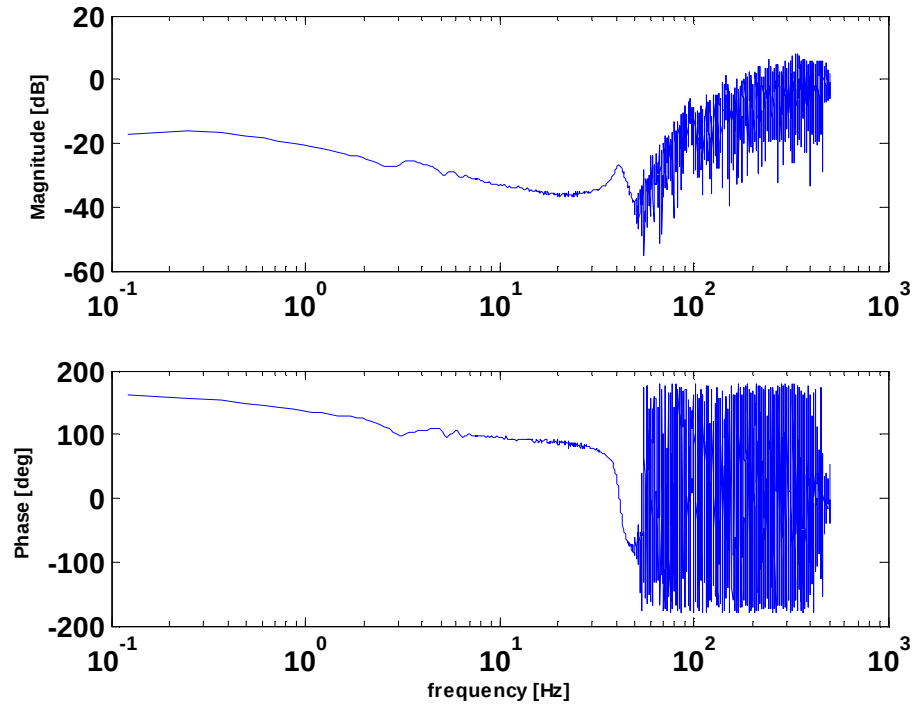


Şekil 4.16 EG-PH500 örneğinin aktuatör ölçümü: (a) frekans süpürme; (b) Bode Diyagramı.

Şekil 4.16(a)'da görüldüğü gibi deformasyon düşük frekanslarda yüksek frekanslara göre daha iyidir. Bode Diyagramının genlik-frekans grafiğinden EG_PH500 örneğinin rezonans frekansının 48 Hz olduğu elde edilmektedir.



(a)



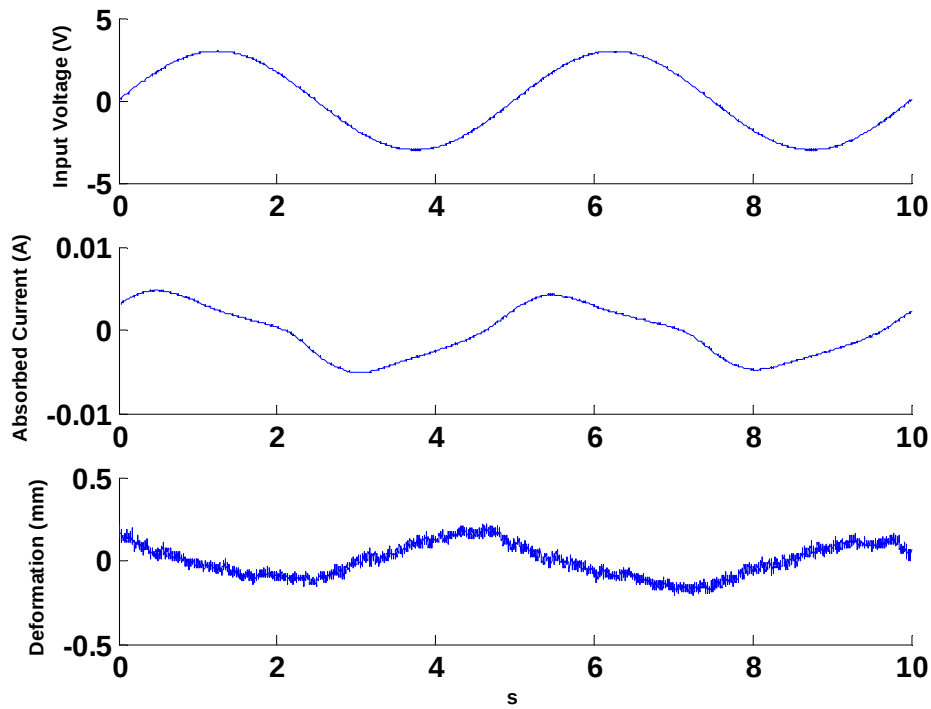
(b)

Şekil 4.17 EmI-PH500 örneğinin aktuatör ölçümü: (a) frekans süpürme; (b) Bode Diyagramı.

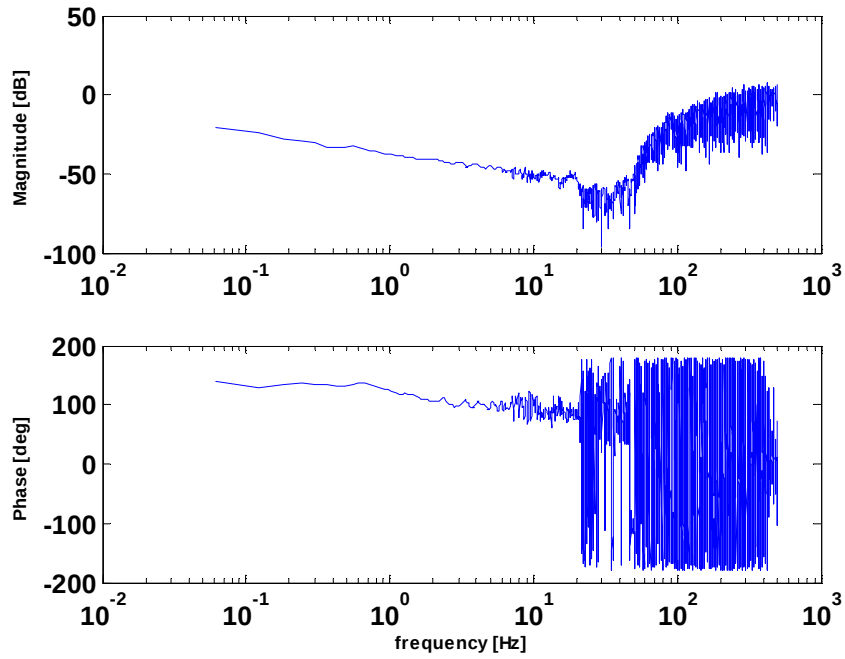
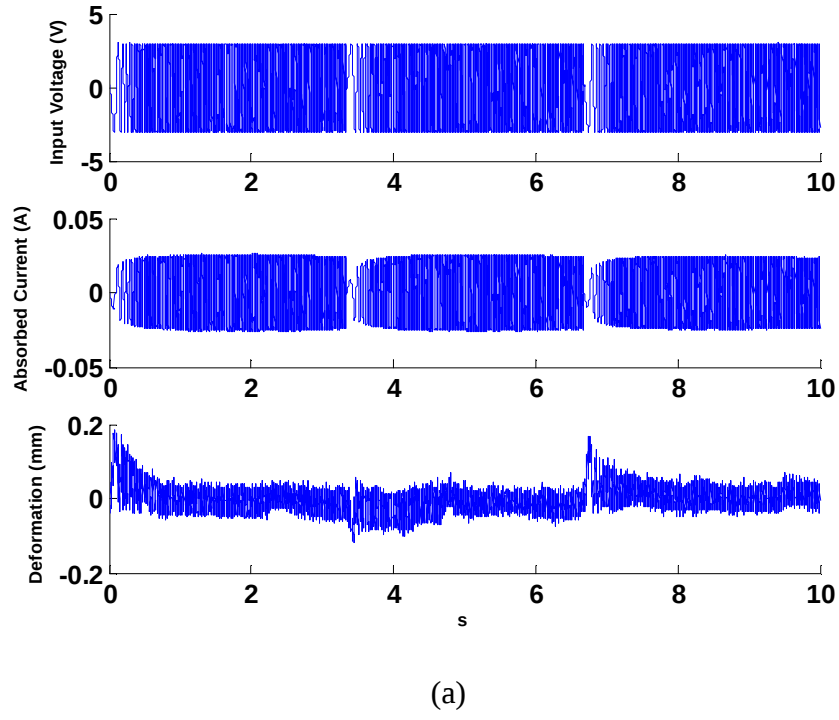
EmI kullanılan bu örneğin rezonans frekansı 41.6 Hz'dir, bu nedenle PH500 ile yapılmış IP²C hem EmI ile hem de EG ile yapılmış örnekler aynı performanslara sahiptir. EG ile yapılmış EG_PH500 örneği EmI ile yapılmış olandan daha büyük yer değiştirmeye sahiptir.

4.5 IP²C Baytron PH510

Elektrot olarak Baytron PH510 kullanılan son örnekler test edilmiştir. Çözücü olarak EG kullanılan ve iyonik sıvı olarak EmI Tf kullanılan iki örnek test edilmiştir. EG_PH510 örneğine düşük frekanslı sinusoidal sinyal uygulanarak çekilen akım ve deformasyon ölçülmüştür (Şekil 4.18).



Şekil 4.18 EG_PH510 örneğinin giriş gerilimi, deformasyon ve çekilen akım (gerilimi 6Vpp ve frekansı 0.2 Hz olan sinusoidal süpürme sinyali uygulanmıştır)



Şekil 4.19 EG-PH510 örneğinin aktuatör ölçümü: (a) frekans süpürme; (b) Bode Diyagramı

Şekil 4.19 (a) küçük yer değiştirme göstermektedir ve Şekil 4.19(b) rezonans frekansını değerlendirmeye izin vermemiştir. Ayrıca EmI_PH510 örneği iyi performansa sahip değildir, bu yüzden grafikleri gösterilmemiştir. Bu sonuçlar, Baytron PH510'un IP²C için uyarlanamayacağını ispatlamıştır.

4.6 MATLAB kodları

Daha önce de bahsedildiği gibi, aktuatör yer değiştirmesi lazer yakınlık sensörü aracılığıyla ölçülmüştür. Elde edilen sinyaller, giriş gerilimi, çekilen akım ve yer değiştirme National Instruments firmasının DAQ 6052 kartı aracılığıyla elde edilmiştir ve bilgisayara gönderilmiştir[2]. Bilgisayarda oluşan dosyalar MATLAB programına girdi olarak verilmekte ve yukarıdaki bütün grafikler elde edilmektedir. Aşağıda girdi dosyası örneği ve MATLAB kodları verilmektedir.

Dosya	Düzen	Biçim
0.040	2.111	1.418
0.048	2.111	1.413
0.061	2.111	1.413
0.071	2.114	1.413
0.079	2.134	1.405
0.104	2.116	1.418
0.112	2.121	1.410
0.122	2.121	1.413
0.137	2.129	1.413
0.142	2.131	1.405
0.165	2.121	1.418
0.170	2.139	1.408
0.185	2.131	1.413
0.196	2.137	1.416
0.206	2.149	1.405
0.229	2.131	1.418
0.231	2.142	1.413
0.249	2.142	1.413
0.259	2.147	1.413
0.267	2.152	1.408
0.290	2.147	1.416
0.300	2.149	1.413
0.313	2.149	1.413
0.320	2.157	1.413
0.331	2.167	1.405
0.351	2.157	1.421
0.351	2.167	1.408
0.371	2.172	1.413
0.384	2.167	1.413
0.392	2.172	1.408
0.415	2.165	1.421
0.417	2.177	1.408
0.435	2.170	1.413
0.445	2.180	1.413
0.458	2.180	1.416
0.476	2.177	1.418
0.476	2.193	1.405

Şekil 4.20 Girdi dosyası örneği

Yukarıda MATLAB'e girdi olarak verilen dosya örneği görülmektedir. Sütunlar National Instruments firmasının DAQ 6052 kartı aracılığıyla elde edilen sinyalleri yani giriş gerilimini, çekilen akımı ve yer değiştirmeyi temsil etmektedir. Aktüatörü sürmek için giriş sinyali olarak sinüsoidal uygulandığında grafikleri elde etmek için aşağıdaki kod parçası kullanılmaktadır.

```

clear all
close all
clc
Rg = 796;
R = 1;
dir = 'D:\tez\matlab_calismalari\6Marzo\baytron\sample1\sin';
file1 = 'sin2Vpp1hz';
data = load(cat(2,dir,'\ ',file1));
time = [1/1000:1/1000:length(data)/1000];
f=length(time);
time=time(1:f);
G = 50e3/Rg + 1;
Iabs = smooth(data(1:f,2)/(G*R));
Vin = data(1:f,1);
def =detrend(smooth(data(1:f,3))*2);

figure(1),hold on
subplot(3,1,1),hold on,plot(time,Vin);ylabel('Input Voltage
(V)','FontSize',8,'FontWeight','bold'),set(gca,'FontSize',12,'FontWeight','
bold')
subplot(3,1,2),hold on,plot(time,Iabs);ylabel('Absorbed Current
(A)','FontSize',8,'FontWeight','bold'),set(gca,'FontSize',12,'FontWeight','
bold')
subplot(3,1,3),hold on,plot(time,def);ylabel('Deformation
(mm)','FontSize',8,'FontWeight','bold'),xlabel('s','FontSize',8,'FontWeight
','bold')
set(gca,'FontSize',12,'FontWeight','bold')
saveas(gcf, cat(2,dir,'\ ',file1,'.fig'))

```

Giriş sinyali olarak frekans süpürme sinyali kullanıldığında grafikleri elde etmek için kod parçası aşağıda yer almaktadır.

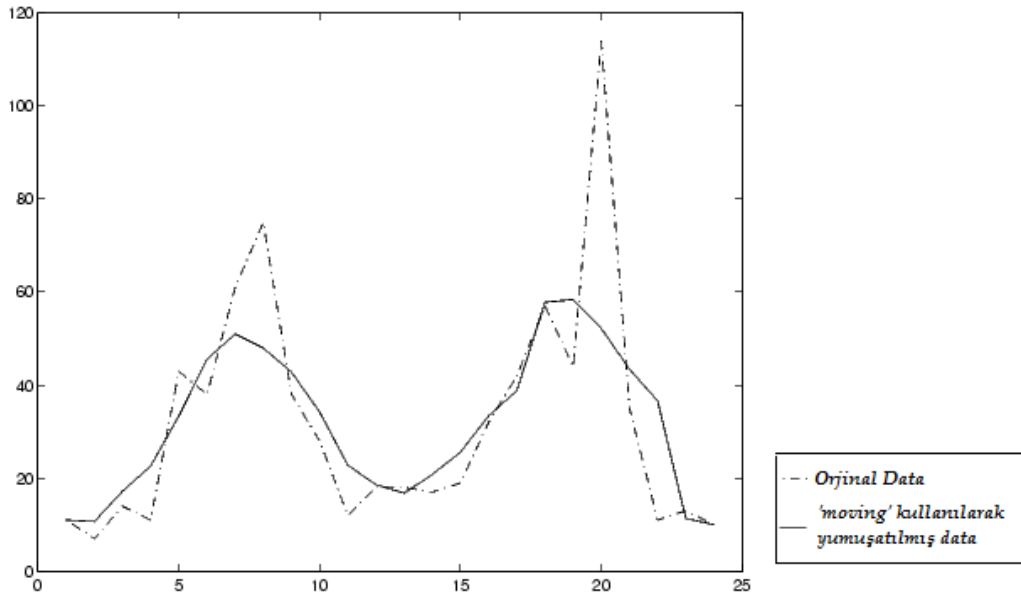
```

clear all
close all
clc
Rg = 796;
R = 1;
dir = 'D:\tez\matlab_calismalari\6Marzo\baytron\sample1\sweep';
file1 = 'sweep6vpp50m50hz';
data = load(cat(2,dir,'\ ',file1));
time = [1/1000:1/1000:length(data)/1000];
G = 50e3/Rg + 1;
Iabs = smooth(data(:,2)/(G*R));
Vin = data(:,1);
def=detrend(smooth(data(:,3))*2);
figure(1)
subplot(3,1,1),hold on,plot(time,Vin);ylabel('Input Voltage
(V)','FontSize',8,'FontWeight','bold'),set(gca,'FontSize',12,'FontWeight','
bold')
subplot(3,1,2),hold on,plot(time,Iabs);ylabel('Absorbed Current
(A)','FontSize',8,'FontWeight','bold'),set(gca,'FontSize',12,'FontWeight','
bold')
subplot(3,1,3),hold on,plot(time,def);ylabel('Deformation
(mm)','FontSize',8,'FontWeight','bold'),xlabel('s','FontSize',8,'FontWeight
','bold')
set(gca,'FontSize',12,'FontWeight','bold')
saveas(gcf, cat(2,dir,'\ ',file1,'.fig'))
% BODE
[T f]=tfestimate(Vin,def,[],[],[],1000);
M=20*log10(abs(T));
P=angle(T)*180/pi;

```

```
figure(2)
subplot(2,1,1),semilogx(f,M);ylabel('Magnitude
[dB]','FontSize',8,'FontWeight','bold'),set(gca,'FontSize',12,'FontWeight',
'bold')
subplot(2,1,2),semilogx(f,P);ylabel('Phase
[deg]','FontSize',8,'FontWeight','bold'),set(gca,'FontSize',12,'FontWeight',
'bold'),xlabel('frequency [Hz]','FontSize',8,'FontWeight','bold')
saveas(gcf, cat(2,dir,'/',file1,'Bode.fig'))
```

Load fonksiyonu ile bilgisayarda yer alan bir dosyayı MATLAB'te kullanabilmekteyiz. Girdi olarak kullanılan dosyanın ilk sütunu Vin (giriş gerilimi), ikinci sütunu Iabs (çekilen akım) ve üçüncü sütunu def(deformasyon)'tir. Smooth fonksiyonu 'moving average' metodunu kullanarak sinyali yumuşatmaktadır. Default data noktaları ortalama 5'tir. Aşağıda bir örnek yer almaktadır.



Şekil 4.21 Smooth fonksiyonuna bir örnek

Detrend fonksiyonu ortalama değer veya linear eğilimleri ortadan kaldırır, genellikle FFT işlemlerinde. $y = \text{detrend}(x)$ fonksiyonunda x matrix ise detrend her sütundaki eğilimi kaldırır.

$Txy = \text{tfestimate}(x,y)$ giriş sinyali x ve çıkış sinyalinin y olduğu transfer fonksiyonu Txy 'yi bulur. X and y aynı uzunlukta olmalıdır. Giriş x ve çıkış y arasındaki ilişki lineer ve zaman sabitli Txy transfer fonksiyonu olarak modellenmiştir. Eğer boş matrix ($[]$) kullanılırsa default değer alınır.

SONUÇLAR

Eyleme (actuating) ve algılama (sensing) özellikleri olan bazı organik elektromekanik dönüştürücüler önerilmiş ve test edilmiştir. Önerilen iyonik polimer polimer kompozitler (IP²C), iletken polimerle kaplanmış Nafion ® 117 levhasından oluşturulmuştur. Performansları karşılaştırmak için farklı organik iletkenler ve çözücüler IP²C üretiminde kullanılmıştır. Bu organik cihazlar, eyleme (actuating) ve algılama yeteneklerini anlamak için elektriksel olarak test edilmiştir. Algılama yeteneklerini araştırmak için membran deforme olduğu (şekli bozulduğu) zaman, membran boyunca akan akım ölçülmüştür. Bölüm 3'teki deney düzeneğinde de bahsedildiği gibi plastik tampon IP²C membrana vuruş yönünü değiştirerek vurur, bu periyodik vuruşlara tepki olarak kısa devre yükselteciden akan algılama akımı oluşur. Elde edilen akımın pozitif ve negatif eş alternansları olması beklenmektedir. Aktuatör yeteneklerini araştırmak için ise deformasyon ölçülmüştür. Üretilen örnekler farklı giriş sinyalleri uygulanmış ve deformasyon lazer sensorü ile ölçülmüştür. Teknolojinin yeni olması sebebiyle μ A mertebelerindeki akım sensör özelliği, mm'ler mertebelerindeki deformasyon da aktuatör özelliği gösteriyor denilmesi için yeterlidir.

Bu organik dönüştürücülerin özelliklerini araştırmak için 4 organik iletken ve 2 çözücü kullanılarak yapılan 8 örnek test edilmiştir. Bu sonuçlar, hem EG hem de EmI Tf kullanılan Baytron PH500 ve Baytron PHCV4 örneklerinin pozitif ve negatif eş alternansların varlığı ve μ A mertebelerindeki akım değeri ile iyi algılama; elde edilen birkaç mm deformasyon ile iyi eyleme yetenekleri olduğunu göstermiştir. Diğer organik malzemeler hem sensör hem de aktuatör olarak iyi sonuçlar vermemiştir. Bu yüzden elde edilen sonuçlar organik malzemelerin yeni elektromekanik dönüştürücüler yapmak için kullanılabileceğini göstermiştir. Böylece, düşük maliyetli üretim teknikleri ve malzemeleri sayesinde düşük maliyetli elektromekanik dönüştürücüler organik malzemeler ile gerçekleştirilebilir. Yeni malzemeler bulunarak veya mevcut sistemler geliştirilerek daha iyi sonuçlar elde etmek için araştırmalar devam etmektedir.

KAYNAKLAR

- Avcıata U. (2009), “Nano TiO₂ Sentezi ve Kaplamalarda Uygulanması”, Fen ve Teknoloji Bilim Danışmanı Çalıştayı, 23-30 Haziran 2009, İstanbul.
- Bennett, M., Leo, D., (2004), “Ionic liquids as stable solvents for ionic polymer transducers,” *Sensors and Actuators A: Physical*, 115: 79-90.
- Berggren, M., Forchheimer, R., Bobacka, J., Svensson, P.-O., Nilsson, D., Larsson, O. ve Ivaska, A., (2008), PEDOT:PSS-Based Electrochemical Transistors for Ion-to-Electron Transduction and Sensor Signal Amplification, Springer Berlin Heidelberg.
- Chiang, C.K., Druy, M.A., Gau, S.C., Heeger, A.J., Louis, E.J., MacDiarmid, A.G., Park, Y.W. ve Shirakawa, (1978), “Synthesis of Highly Conducting Films of Derivatives of Polyacetylene, (CH)_x”, *Journal of the American Chemical Society*, 100: 1013-1015.
- Chiang, C.K., Fischer, C.R., Park, Y.W., Heeger, Shirakawa, A.J., , H., Louis, E.J., Gau, S.C. ve MacDiarmid, (1977), “Electrical Conductivity in Doped Polyacetylene”, *Physical Review Letters*, 39: 1098-1101.
- Di Pasquale, G., Fortuna, L., Graziani, S., La Rosa, M., Nicolosi, D., Sicurella, G. , Umana, E., (2008) ,“All organic actuation and sensing devices”, 771–776, IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC), 2008, Victoria, Vancouver Island, Canada.
- Evcin A., (2006), Kaplama Teknikleri Ders Notları, Kocatepe Üniversitesi.
- Fortuna, L., Graziani, S., La Rosa, M., Nicolosi, D., Sicurella, G., ve Umana, E., (2009a), “Modelling and design of all-organic electromechanic transducers”, *The European Physical Journal Applied Physics*, 46: 12513.
- Fortuna, L., Frasca, M., Giofrè, M., La Rosa, M., Malagnino, N., Marcellino, A., Nicolosi, D., Occhipinti, L., Porro, F., Sicurella, G., Umana, E., Vecchione, R., (2008a), “ On The Way to Plastic Computation”, *IEEE Circuits and Systems Magazine*, 8:6-18.
- Kim, K.J. ve Tadokoro, S., (2007), *Electroactive Polymers for Robotic Applications*, Springer, Berlin.
- Masi, J. V., (2001), “Electrically Active Polymers: Overview”, *Electrical Insulation Conference and Electrical Manufacturing & Coil Winding Conference*, 16/10/2001, OH.
- Nemat-Nasser, S., Zamani, S., (2003), “Experimental Study of Nafion- and Flemion-based Ionic Polymermetal Composites (IPMCs) with Ethylene Glycol as Solvent”, 233-244, *Electroactive polymer actuators and devices (EAPAD) Conference*, 3-6 March 2003, San Diego, CA.
- Nicolosi, D., (2008b), *Towards All-Organic Transducers: the IP2C Actuators*, Doctorate thesis, University of Catania.
- Reese C., Roberts M., Ling M., Bao, Z., (2004), “Organic thin film transistors”, *Materials Today*, 7: 20-27.
- Rogers, C., (1995), "Intelligent Materials", *Scientific American*, 273: 154-157.
- Saçak, M., (2002), *Polimer Kimyası*, Gazi Kitabevi, Ankara.

Saçak, M., (2005), Polimer Teknolojisi, Gazi Kitabevi, Ankara.

Saito, G., (2007), ‘The World of Organic Conductors and Superconductors’. The 2007 Kyoto Prize Workshop in Advanced Technology, 12 November 2007, Kyoto.

Shahinpoor, M., (2003), “Ionic Polymer-Conductor Composites as Biomimetic Sensors, Robotic Actuators and Artificial Muscles-A Review”, *Electrochimica Acta*, 48: 2343-2353.

Shahinpoor, M. ve Kim, K.J., (2001), “Ionic Polymer-Metal Composites: I. Fundamentals”, *Smart Materials and Structures*, 10: 819-833.

Sicurella, G., (2009b), Polymer based sensors for motion transduction, Doctorate thesis, University of Catania.

Skotheim, A.T. ve Reynolds R.J., (2006), *Conducting Polymers: Theory, Synthesis, Properties and Characterization*, Crc Press, NW.

Young, R.J., (1981), *Introduction to Polymers*, Chapman and Hall Ltd., New York.

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	27.12.1984	
Doğum yeri	Tarsus	
Lise	1995-2002	Tarsus Abdülkerim Bengi Anadolu Lisesi
Lisans	1985-1989	Yıldız Teknik Üniversitesi Mühendislik Fak. Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	1989-1991	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı, Elektronik Programı

Çalıştığı kurum

2006–2008	Tamara Elektronik Ltd Şti.
-----------	----------------------------