

## MİKROELEKTROMEKANİK SİSTEMLER

Çeviri : Mak. Müh. Nilgün KARAKÜÇÜK

**M**ikroelektromekanik sistemler (MEMS) birkaç yıldır mühendislik dünyasının en ilgilendiği konulardan biri olmuştur. Hepsinden öte, mucitlerin yarı iletkenlerden yapılan maddelerden transdüktörler (güç çevirici) yaratmalarındaki ustalığı görmek büyüleyicidir.

Bunun destekçileri teknolojinin pek çok avantaja sahip olduğunu söylemektedir. Örneğin, onun küçük kütleli, verimli, çok ucuz sağlam cihazlar verme yeteneğinden söz etmektedirler.

MEM otomotivden biomedikale, endüstriyelden telekomünikasyona kadar bazı endüstrilerde yüksek pazar talebi elde etmiş durumdadır. Otomotiv endüstrisi her biri on milyonlarca sayıda yüksek hacimli birkaç uygulama görmüştür. Günümüzde en büyük otomotiv uygulaması, 2004 yılında 90 milyon araca takılan hava yastığı ivme ölçerleridir (akselerometre).

Günümüzde ticari alandaki yeni bir fısıltı otomobilin başka bir çekici uygulaması hakkındadır. Ve yine güvenlik yasası amaçlıdır. Hava yastıklarının yeni arabalara yasayla konulması gibi, tekerlek basıncı izleme sistemleri de çok uzak olmayan bir gelecekte binek otomobillerinin çoğunda standart ekipman olmaya başlayacaktır.

Tekerlek şişkinliğini korumak için farklı yollar olmasına rağmen, seçim yöntemi -her bir tekere ince bir sensör koymak- bir gecede milyonlarca mikroelektromekanik transdüktör talebi yaratma işareti vermektedir. Yani MEM üreticileri için hava yastıklarında olanlar tekrarlanacaktır.

Tekerlek basıncı izleme sistemleri seçilmiş yolcu taşıtlarında 1990'ların sonundan beri bulunmaktadır.

Kısaca "TREAD" Yasasının adı önemsiz gibi görünse

de yasanın amacı öyle değildir. Bu sistemle, Forf Explorers'ın da dahil olduğu tekerleklerin az basınçla şişirilmesine bağlanan birkaç kazadan sonra halkın tepkisine yanıt verilmiştir.

Yasa, ağırlığı 10.000 poundun altında olan yeni taşıtların tekerlek basınç uyarı sistemleriyle donatılacağını belirten federal bir kuralı gerektirmektedir. Yasa henüz yayınlanmamıştır ama Ulusal Otoyol Trafik Güvenliği Yönetimi (NHTSA) üzerinde çalışılmaktadır. Yasa yürürlüğe girdiğinde, A.B.D.'de her yıl satılan yaklaşık 17 milyon taşıtı etkileyecektir. Her biri, her tekerinde bir basınç izleme sistemine sahip olacaktır. Piyasanın tahminlerine göre yeni yasanın birden bire yılda 70 milyonluk MEMS cihazı pazarı yaratması mümkün olabilecektir.

Bu, günümüzde yollardaki MEMS basınç



*Bir tekerlek basınç algılama göstergesi, bir binek otomobilinin her bir tekerine yerleştirilmiş basınç sensörü tabanlı sayısal basınç okumalarını vermektedir.*



*Tipik olarak, bir tekerlek basıncı algılama modülü tekerin jantına yerleştirilmekte. MEMS paketi titreşim, ısı ve korozif akışkanlara dayanıklı olmalıdır.*

sensörlerinin sayısında çok büyük ve ani bir sıçramayı göstermektedir. Bir strateji analisti, ABD'de 2003 yılında binek otomobilleri ve hafif ticari taşıtlarda sadece dört milyon civarında MEMS tekerlek basınç sensörü olduğunu ve bu sayının 2008 yılında 76 milyona ulaşacağını belirtmiştir.

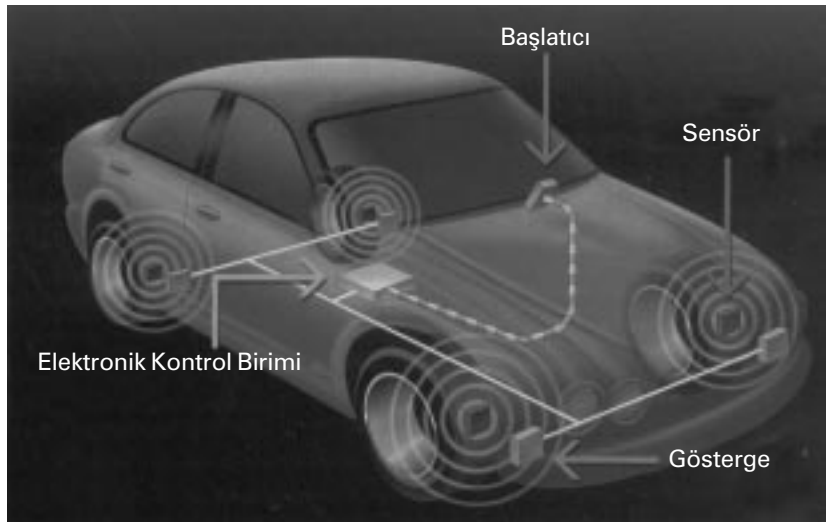
Yasanın yabancı pazarlarda da bir miktar etkisinin olacağı beklenmektedir. Bunun bir nedeni otomotiv üreticilerinin ABD'ye ihraç edecekleri taşıtlarını tekerlek basınç sensörleriyle donatmaları gerekeceğidir. Bu yıl, 67.3 binek otomobili ve hafif ticari taşıtın yaklaşık %13.7'si MEMS tekerlek basınç sensörlerine sahip olacaktır. Bunun anlamı 9.2 milyon taşıt veya 36.8 milyon sensör demektir. 2011 yılında, MEMS tekerlek basınç sensörleri dünya çapında üretilen binek otomobiller ve hafif ticari taşıtlarda bulunan tekerlek basınç

algılama sistemlerinin dörtte üçünden daha fazlasında yer alacaktır.

Tekerlek izlemeye bir yaklaşım yazılım tabanlı ve taşıtın ABS' si (Anti-lock Brake System) ile birlikte çalışacak şekilde tasarımıdır. Çıkarımsama ya da dolaylı olarak bilinen yöntem, basınç farkını tekerleğin dönme hızıyla karşılaştırarak belirlemektedir.

Bunun alternatifi her bir tekerleğe bir sensör modülünün yerleştirildiği doğrudan tekerlek basıncı izleme yöntemidir. Sensörler her bir tekerdeki basıncı ölçer ve veriyi taşıttaki merkezi alıcıya kablosuz olarak iletir. Merkezi alıcı bilgiyi analiz eder ve bunu sürücüye gösterir. Bilgi, basınç çok düştüğünde alınan basit uyarı ışıklarından basınç ölçümlerinin dışarı okunmasına kadar değişmektedir. Bazı sistemler ayrıca yedek tekerlek basıncını da içermektedir.

Çıkarımsamalı yöntemin temel avantajı fazladan donanım gerektirmediği için görece olarak ucuz olmasıdır. Pil ömrü sorunlarına, tekerin montesi veya yol hasarlarının zarar verebileceği uzaktan kumandalı sensörlere sahip



*Tipik bir tekerlek basıncı izleme sistemi pek çok işlevi yerine getirmektedir. Her bir tekerdeki sensörler düzenli aralıklarla sıcaklığı ve basıncı ölçerler. Bu bilgi radyo frekans sinyaliyle taşıtın içindeki bir elektronik kontrol birimine gönderilir. Birim aldığı veriyi analiz eder. Başlatıcılar, olası uyarıları hızlı olarak onaylaması gerektiğinden ve sürücüye doğru bilginin gönderildiğinden emin olmak için sensörleri sorgular. Normal durumdan bir sapma olduğunda bir gösterge gerçek zamanda sürücüyü uyarır.*

değildir. Öte yandan, bir NHTSA test raporuna göre, dört teker eşit yumuşaklıkta olduğunda veya aynı taraftaki iki tekerin havası inik olduğunda kayda değer hava inikliği saptamayacaktır.

NHTSA her bir tekerin basıncını ölçebilen doğrudan tekerlek basınç sistemlerinin çıkarsamalı sistemlerden daha tutarlı uyarı eşiklerine sahip olduğunu ve daha hızlı uyarılar sağladıklarını bulmuştur.

Potansiyel pazarda yer tutmaya hevesli sensör ve diğer parça üreticileri, otomotiv sistem modülü firmalarıyla daha avantajlı bir konuma geçmeye çalışmışlardır. Genişleyen firma tabanıyla parça entegrasyonu, paketleme ve güç tüketimini geliştirmek için mühendislikte yeni gelişimler olmuştur ve üç ana gereksinim ile birlikte maliyet, taşıtlara hangi cihazların yapılacağını belirleyecektir.

## Maliyet ve Teknoloji

Günümüzde taşıtlar üstüne MEMS basınç sensörlerini koymada başarılı olacak firmalar en ucuz ürünleri piyasaya sunacak olanlardır. Doğrudan teker basıncı izleme sistemlerinin üretimindeki yükseliş bunların maliyetlerinin aşağı çekilmesine yardımcı olmuştur. Her bir tekerleğin teker basıncı algılama modülü güncel maliyeti 12 ile 15\$ arasındadır. Üretim arttıkça 2007 yılında maliyetin her bir teker için 5\$'a düşeceği beklenmektedir. Tekerlek basıncı izleme sensörleri ilk gündeme geldiğinde her teker için maliyet 25 ile 35\$ arasında olmuştur.

Tekerlek basıncı sensör modülleri birkaç bileşenden oluşmaktadır. Bir MEMS basınç sensörü anahtar elemandır, ama paket bir sıcaklık sensörünü, voltaj sensörünü, ivme ölçeri, mikrokontrolörü, radyo frekans devresini, anteni ve pili de içerebilir. Bu mikro cihazların her biri, ağırlığı 30-40 gram olan ince bir entegre modülün basıncı ölçmesine, sinyali iyileştirmesine ve

verinin iletilmesine olanak veren bir işi yerine getirmektedir.

Çeşitli bileşenleri çip üstünde birlikte gruplamanın pek çok yolu vardır. Maliyetleri azaltma açısından, MEMS tasarımcıları paket içindeki çip sayısını azaltmak için silikon bir parça üstüne daha fazla bileşeni entegre etmeye çalışmaktadırlar. Ve bu, algılamayı, sinyal işlemeyi ve veri iletimini tek birimde birleştiren çok zor bir iştir.

En az bir MEMS firması bir monolitik, veya çip-üstü tasarımı üstünde çalışmaktadır. En ucuz çözümler ancak toplam entegrasyonla olabilecektir.

Freescale Semiconductor Firmasının sensör ve analog ürünler bölümü teknik grubunun bir üyesi, firmanın teker basıncı algılama modülünün dört ana kısımdan oluştuğunu belirtmektedir. Bunlar: sensör, mikrokontrolör, bir uyandırma anahtarı ve bir iletişim çipi. Modül ayrıca bir de pil kullanmaktadır. Sistem tasarımcıları çeşitli bileşenleri birleştirmenin en iyi yolunu saptamak zorundadır.

Çip üstünde bir sistem olarak adlandırılabilen, her şeyi bir araya koyma konusunda pek çok teknolojik zorluklar vardır. Bileşenlerin tek bir çip üstünde entegre edilmesinde malzeme, ısı bütçede, karmaşık işlem entegrasyonunda ve diğer konularda sınırlamalarla



*Freescale Semiconductor tekerlek basıncı izlenmesi için bir kapasitif basınç sensörü sunmaktadır. Bazı sensör firmaları kapasitif sensörlerin pilin gücünü korumasına yardımcı olduğunu iddia etmektedir.*

karşılaşmaktadır. Ayrıca bileşenlerin test edilmelerini de zorlaştırmaktadır. Çok çipli bir cihazın avantajı daha yönetilebilir olması ve daha yüksek esneklik sağlamasıdır.

Ürünü geliştiren firma şu anda büyük taşıt pazarına tekerlek basınç sensör modülleri sağlamakta ve bir basınç sensörü, mikrokontrolör, RF vericisi ve hareket dedektörünü tek bir pakette birleştiren ikinci nesil bir sensör geliştirmektedir. Bileşenleri tek bir pakette birleştirmek firmanın birim maliyetini azaltmaya yardım edeceği de öngörülmektedir.

Diğer sensör modülü firmaları da aynı şekilde davranmaktadır. SmarTire Systems Richmond'da bir tekerlek basınç sensörü firmasıdır. Birkaç firmanın sensör modülü bileşenlerini monte etmektedir. Firmanın mühendis yetkilisi, firmaların mikroişlemci, basınç sensörü ve analog-dijital devreyi tek entegre cihazda birleştirdiğini ve bunun firmanın montaj işlerini basitleştirdiğini belirtmektedir.

Basınç sensörü firmaları paketlemeden önce basınç sensörü ve mikroişlemciyi kalibre ettirmektedir. Bu hizmet firmalardaki üretim çevrimindeki darboğazı kaldırmaktadır.

Mikro cihazları çalıştırmak ayrı bir zorluktur. Günümüzde taşıtlarda kullanılan tekerlek basıncı izleme modüllerine kendinden tahrikli, modül içindeki jeton tipli bir pille enerji verilmektedir. Otomobil üreticileri verilen pilin yüksek ısı, nem ve yol tuzu yakınlığına göre on yıllık hizmet ömrü (ki yüksek bir beklentidir) istemektedir. Pil ömrünün sınırını pilin kendisi belirlemektedir. Bir firma 72 saat süreyle 125 °C'de sürekli çalışabilen ve 170 °C'ye kadar çıkabilen daha dayanıklı bir pil seçmiştir. Pek çok lityum pili 85°C'de çalışacak şekilde tasarlanmış ve daha dayanıklı pillerin maliyetinin kabaca bunların iki katı olduğu görülmüştür. Pil gücünü olabildiğince saklamak için, tekerlek basınç sensör modülleri sensörün sadece



*MEMS sensörleri alıcıya gönderilmeden önce, steril bir laboratuvar ortamında sıvıya daldırma, basınçlı değiştirme ve diğer testlere tabi tutulmaktadır.*

bir basınç okuması için çağrıldığında harekete geçmekte uyur-uyanık modda çalıştırılmaktadır. Taşıtın hareket ettiğini uyararak için ya bir ivme ölçer ya da bilyalı yay gibi mekanik bir anahtar kullanılmaktadır. Bazı firmalar bilyalı yay hareket anahtarının tamamen pasif olma avantajına sahip olduğunu ve bu nedenle pil gücünü tüketmeyeceğini söylemektedir. İvme ölçerler ölçüm yapmak için 1 ila 4 mili amper tüketmekte, ve böylece taşıtın hareket edip etmediğini saptamak için epeyce enerji harcamaktadır.

### Basıncı Algılama

Basınç sensörünün tipi de güç konusunda rol oynamaktadır. Bazı sensör modülü firmaları geleneksel piezo-dirençli MEMS sensörleri kullanmaktadır.

Diğerlerinde ise kapasitif MEMS sensörleri kullanılmaktadır. Kapasitif sensörleri destekleyen, firmalarsa daha az güç tüketmektedir. Kapasitif basınç sensörlerinin kendisi çok az güç tüketmektedir; sinyal sadece kapasitansdaki değişiktir ve devre kapasitansı bir gerilime dönüştürmektedir.

Ürünlerinde piezo-dirençli sensörler kullanan firmalardan biri, 2003 yılında TRW Automotive ve Michelin (Fransa) ortaklığında kurulan Farmington Hills EnTire Solutions firmasıdır. Firma otomotiv üreticileri için tekerlek basınç sensör modülleri sağlamaktadır. TRW Automotive'in baş mühendisi Dave Juzwik'e göre, firma geniş basınç ve sıcaklık aralıklarında piezo-dirençli sensörleri kapasitif sensörlerden daha doğrusal ve biraz daha doğru bulmaktadır.

Infineon Technologies'in (Norveç) bir alt kuruluşu olan SensoNor'da tekerlek basınç izleme sistemleri ürün müdürü olan Hatto Schick, otomotiv pazarında MEMS tekerlek basınç sensörlerinin ana firmalarından biridir. Ona göre bir piezo-dirençli sendör kapasitif olandan daha fazla güç çekebilirken, sensör hala sistemdeki toplam güç tüketiminin küçük bir yüzdesinden sorumludur. Schick, radyo-frekans transmisyonu ve mikrokontrolör ve elektronik devrelerin çalıştırılması daha fazla güç çektiğini söylemektedir.

Kurulan iki MEMS ivme ölçer üreticisi tekerlek basınç algılama pazarına MEMS kapasitif sensörü sunan ürünlerle girmeye hazırlanmaktadır. Firmalardan biri geliştirdiği bir tekerlek basınç modülünün çekirdek parçası olarak düşündüğü bir kapasitif basınç sensörü tasarlayan Analog Devices'dir. Firmanın iş geliştirme müdürü Kieran Harney'e göre, firma henüz ticari bir basınç sensörüne sahip değildir ve önümüzdeki ay bir müşterisine çalışan bir prototip sağlamayı planlamaktadır.

Harney, MEMS kapasitif sensörlerinin düşük güç

tüketimi özelliklerinin tekerlek basınç algılama uygulaması için önemli olduğuna inanmaktadır. Harney, MEMS grubunun Analog'un Limerick'deki (İrlanda) yüksek çözünürlüklü dönüştürücü gurubuyla birlikte, yeni MEMS basınç sensörlerinde kullanılacak olan bir kapasitiften dijital dönüşürücü üzerinde çalıştığını belirtmektedir. Limerick'deki pazarlama müdürü John Wynne, entegre modül için RF, mikrokontrolör ve paket teknolojileri geliştirmek için MEMS grubunun firmanın diğer bölümleriyle birlikte çalıştığını belirtmektedir. Bazı MEMS tekerlek basınç sensörü firmaları pilleri ortadan kaldırmayı ve tekerlek basınç algılama modülünü alternatif bir güç kaynağı ile çalıştırmak için araştırma yapmaktadır. Bu, bir mikro ivme ölçer firması olan VTI Technologies'in bir yaklaşımıdır. Firmanın pazarlama ve satış müdürü Rick Russel, diğer uygulamalar arasında bir tekerlek basınç izleme pazarında bir gözlü bir MEMS kapasitif dizisi geliştirdiklerini söylemektedir. Tekerlek algılama modülünü tekerlek lastiğinin içine yerleştirilmesi düşünülmektedir. Minimal güçle çalıştığı için kapasitif bir sensörün uygun olacağı pilsiz bir sistem çok az güçle çalışacaktır.

Russel, firmanın hem pilli hem de pilsiz modelleri sunmayı planladığını söylemektedir. O, otomotiv üreticilerinin pilsiz MEMS tekerlek basınç sensörlerine ilgi göstereceğine ve ürünün gelecekteki jenerasyonları için talebin artacağına inanmaktadır. Russel pilsiz sistemlerde çalışmak için bir dizi otomotiv firmasıyla bazı programlar üstüne anlaşma yaptıklarını belirtmektedir. Firmanın stratejisi algılama elemanını sağlamak ve tüm modülü üretmesi için firmalara güvenmektir. Firma henüz hiçbir MEMS basınç sensörünü piyasaya sürmemiştir.

Tüm firmalar, pilsiz kavramını gözden geçirmektedir. Lammers, bir dış radyo frekans alanının sisteme enerji vereceğini açıklamaktadır. Tekerlek boşluğundaki bir

anten radyo frekansı enerjisini alacak ve gerilime dönüştürecektir. Bu, iç devreyi çalıştıracak, bunu basınç ölçümüne dönüştürecek ve tekrar tekerlek boşluğundaki alıcıya gönderecektir.

Dirk Leman, Melexis Microelectronic Integrated Systems (Belçika) otomotiv ürün müdürüdür. Firma bir MEMS basınç sensörü geliştirmiştir ve birkaç yıl içinde piyasaya sürmeyi planladıkları entegre tekerlek basınç modülleri geliştirmektedir. Leman, pil bazlı MEMS tekerlek basınç modüllerinin yakın gelecekte endüstride egemen olacağına inanmaktadır. Ancak başka araçlarla güç üretme konusunda bazı zeki düşünceler olduğunu da eklemektedir.

Tekerlek basınç sensörü modüllerindeki basınç sensörleri ve hassas elektroniklerin her ne kadar ekstrem sıcaklıklara, titreşime ve yoldaki korozif akışkanlara dayanacak şekilde tasarlanmaları gerekse de, tekerlekçideki kaba kullanımlardan söz edilmemektedir. Juzswik'e (EnTire Solutions) göre tekerlekteki sıcaklık suyu buharlaştırmaya yetecek 100 °C'ye ulaşabilmektedir. O, modül sızdırmazlığının gerçekten çok kritik olduğunu söylemektedir.

Juzswik, bir tekerlek algılama modülünü sızdırmaz yapmanın iki yolu olduğunu belirtmektedir. Bunlardan biri, onu silikon gibi yerleşecek ve sertleşecek, ama ısıl genleşmeye olanak vererek kırılğan olmayacak gibi bir akışkanla çevrelemektir. EnTire Solutions tarafından kullanılan alternatif ise, sensörün üstünde bir kapak kaynak etmektedir. İkinci yaklaşımın ana avantajı ağırlığın az olmasıdır.

Sonra sensörün vana sapına montajı bulunmaktadır. EnTire Solutions iki versiyon kullanmaktadır. Birincisi sabit açılı ve ayarlanabilir açılı montajlardır. İkincisi daha fazla esneklik vermekte ve sensörün aşağı dönerek jantla

temasına olanak vermektedir. Sensörün tekerlek jantına oturduğu açı vana blokuna potansiyel zararı en aza indirmek için önemli olmaktadır.

Sensör modülünde, paketlenme sensörü hava basıncı etkisine açık bırakmalı ve kalan bileşenleri bundan korumalıdır. Örneğin Gogoi'ye göre Frescale, sensörünü sadece kuru havanın girebileceğini ve diyaframa basınç uygulayabileceğini garanti eden bir teflon filtre ile korumaktadır. Parçaların geri kalanı plastik altındadır.

Doğrudan tekerlek basınç izleme sistemleri firmaları yeterli üretim kapasitesinin olduğundan ve ABD'deki yasa hükümlerinin karşılandığından emin olmaya odaklanmıştır. Ve şimdilik bu koşullar karşılanıyor gibi görünmektedir.

General Motors Teknik Merkezindeki tekerlek basıncı algılama modülleri baş mühendisi John Maxgay, firmanın günümüzde var olan izleme sistemleri için hükümlere göre uyumlu olma beklentisinde olduklarını söylemektedir. GM halen tekerlek sensör modüllerinin çoğunu Schrader Electronics firmasından almaktadır.

Maxgay, daha az güç tüketen, daha hafif ve pilleri ortadan kaldıran teknolojilere açık olduğunu ama bunlara karşı halen ihtiyatlı yaklaştığını belirtmektedir. Bir tek şey kesin: Oralarda bir yerde ilgi çekecek yeterli fikirden daha fazlası vardır.

*Mechanical Engineering, April 2005 sayısından alınmıştır.*