



Tork Sensöründe Kullanılan Teknolojiler

Hamza Işık^{1*}

^{1*} Esit Elektronik Sistemler İmalat ve Ticaret, Ar-Ge Bölümü, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-3612-9071), hamzai@esit.com.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1009173)

ATIF/REFERENCE: Işık, H. (2021). Tork Sensöründe Kullanılan Teknolojiler. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (28), 622-626.

Öz

Günümüzde gelişen endüstriler için tork ölçümü dönen mekanik sistemlerin gücünü karakterize etmek amacıyla kullanılan önemli bir parametredir. Tork ölçümleri iki ana kategoride incelenebilir; dinamik ve statik tork ölçümü. Statik tork ölçümü, ölçülen parçaların dengeleme ilkesini kullanarak tork miktarını belirler. Dinamik tork ölçümünde, ölçülen mil sürekli olarak dönme durumunda olduğu ve dönüş hızı sürekli olarak değiştiği için düzgün ölçüm almak oldukça zordur. İlerleyen teknoloji ile dinamik tork ölçümü yapabilmek için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bu makale dinamik tork ölçümünde kullanılan sensörler ve çalışma prensiplerinden bahseder. Dinamik tork ölçümünde direnç gerinim ölçer (strain gauge), yüzey akustik dalga (surface acoustic waves (SAW)), manyeto-elastik, gibi çeşitli tork algılama teknolojileri vardır. Ortam koşullarına, tasarlanan sistemin yapısına göre kullanılan sensörlerin avantaj ve dezavantajları vardır.

Anahtar Kelimeler: Direnç Gerinim Ölçer, Manyeto Elastik, Yüzey Akustik Dalgalar.

Technologies Used in Torque Sensor

Abstract

Torque measurement is an important parameter used to characterize the power of rotating mechanical systems for developing industries. Torque measurement can be examined in two main categories; dynamic and static torque measurement. Static torque measurement determines the amount of torque using the principle of balancing for the measured parts. In dynamic torque measurement, it is very difficult to get a proper measurement because the measured shaft is constantly in rotational state and the rotational speed is constantly changing. Various methods have been developed to measure dynamic torque with the advancing technology. This article talks about sensors used in dynamic torque measurement and their working principles. In dynamic torque measurement, there are various torque sensing technologies such as resistance strain gauge, surface acoustic waves (SAW), magneto-elastic. The sensors used according to the ambient conditions and the structure of the designed system have advantages and disadvantages.

Keywords: Resistance Strain Gauge, Surface Acoustic Waves, Magneto-Elastic.

* Sorumlu Yazar: hamzai@esit.com.tr

1. Giriş

Tork sensörleri endüstriler üretim süreçlerinden, uzay ve havacılık ürünleri, biyomühendislik, gemi ve denizaltı motorları, rüzgâr türbinleri, robotik, sağlık ve daha birçok alanın gelişiminde önemli ölçüde rol oynar. Tork sensörünün endüstride kullanılmasının temel amacı, motorun veya herhangi bir güç cihazının dönme şaftına uygulanan gücü karakterize etmektir. Tork ölçüm yöntemleri iki farklı kategoride incelenebilir; dinamik ve statik ölçüm. Statik tork ölçümü, ölçülen parçaların dengeleme ilkesini kullanarak tork miktarını belirler [1].

Dinamik tork ölçümünde, ölçülen mil sürekli olarak dönme durumunda olduğu ve dönüş hızı sürekli olarak değiştiği için düzgün ölçüm almak oldukça zordur. Dinamik tork miktarını hızlı ve doğru bir şekilde ölçmek önemli araştırma konularından biri haline geldi. Bu araştırmalar sonucu farklı yöntemler kullanılarak tork ölçümü büyük oranda doğru ve hızlı sonuçlar elde edecek şekilde tasarımlar yapıldı.

Günümüzde direnç gerinim ölçer (strain gauge), yüzey akustik dalga (surface acoustic waves (SAW)), manyeto-elastik, gibi çeşitli tork algılama teknolojileri vardır [1]. Direnç gerinim tork sensörlerinin yapıları oldukça basit ve hafiftir. Mil üzerine küçük boyutlarda bir gerinim ölçerin (strain gauge) yapıştırılmasıyla tork ölçümü mümkündür. Ayrıca, ölçülen parçaların çalışma koşulları ve gerilim dağılımı üzerinde herhangi bir etkisi yoktur. Ancak yapıları dönen mile bağlı olduğu için yüksek hızdaki dönüşlerde dinamik balans sorunları kolaylıkla oluşabilmektedir. Ek olarak, zaman ve sıcaklık kayması büyüktür, çıkış sinyali zayıftır, ürünün güvenilirliği düşüktür ve genel doğruluk yüzdesi çok yüksek değildir [1]. Yüzey akustik dalgaları (SAW) cihazları düşük güç tüketimi ve çeşitli ölçümler yapmak için son derece hassas sensörlerdir. SAW sensörleri, havacılık yapılarının içinde bulunduğu zorlu ortamlarda çalışabilen küçük pasif kablosuz sensörler olarak tasarlanabilirler [2,3]. Manyeto elastik tork sensörleri, uygulanan kuvvetin neden olduğu mekanik gerilmelerin etkisi altında ferromanyetik çekirdekteki manyetik alan geçirgenlik değişimi ilkesine dayanır. Yüksek hassasiyet ve çıkış gücü, büyük mekanik mukavemet ve aşırı yüklenmeye karşı kararlılık, atmosferik ve kimyasal faktörlerin zayıf etkileri ve uzun ömürlü olması manyeto elastik tork sensörlerini önemli özelliklerindedir [4].

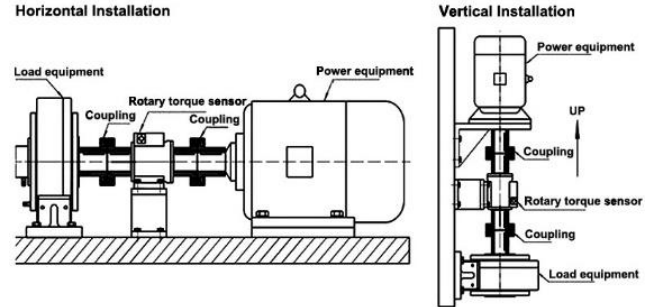
Bu ölçme teknolojilerinin temel amacı mekanik gerginimi ölçüp elektriksel sinyallere dönüştürmesidir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Dinamik Tork Sensörü

Dinamik tork sensörü, sürekli dönen bir sistemdeki tork miktarını ölçmek için kullanılan bir cihazdır. Tork transdüserleri, birçok endüstrinin gelişimi ve testlerinin yapılması için çok önemlidir. Örneğin; Otomotiv Endüstrisinde, tork sensörü, herhangi bir üretim veya montaj hattında, bir vardiya boyunca sürekli olarak iki veya üç yüzün üzerinde elektrikli aletin

testlerinde ve üretiminde kullanımda olabilir. Bu aletler, otomobil motorları ve frenler gibi önemli bağlantıları ve bileşenleri sıkmak için doğru tork seviyelerini uygulamalıdır, aksi takdirde bu, ürün arızasına ve potansiyel olarak daha ciddi sorunlar neden olabilir. Otomotiv endüstrisinde, tork seviyelerinin doğru bir şekilde uygulandığından emin olmak için alet testi ve bağlantı elemanı kalite denetimi süreçlerinde tork transdüserleri kullanılır.



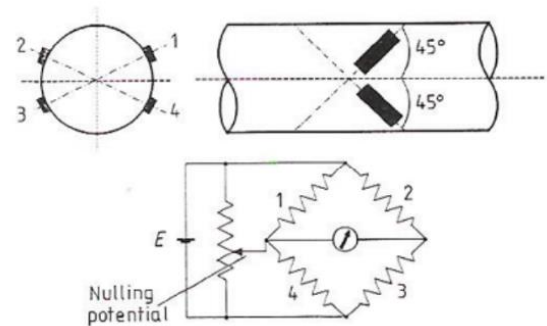
Şekil 1 Dinamik Tork Ölçüm Bileşenleri

2.2. Dinamik Tork Sensöründe Kullanılan Teknolojiler

Zaman içerisinde endüstrilerin tork ölçüm ihtiyaçlarına bağlı olarak, milin üzerinde meydana gelen burulma etkilerini ölçmek için birçok yöntem geliştirilmiştir. Geçmiş literatürlerden veya mevcut ticari ürünlerden, büküm açısı veya faz kayması (burulma sapması) ölçümü, gerinim ölçer (Strain gauge), manyeto-elastik tork sensörleri ve SAW tork sensörleri kullanan dinamik torkmetre türlerini bulabiliriz.

2.2.1. Direnç Gerinim Ölçer (Strain-Gauge) Tork Sensörü

Gerinim ölçer tork sensörlerinin çalışma prensibi, şaftın esnek bir bölümündeki gerilimi ölçmektir. Bu durumda, dört strain-gauge, Wheatstone köprü devresi olarak dönen şafta takılır. İlk iki gerinim ölçer şaft ekseninin bir tarafında $\pm 45^\circ$ de sabitlenir ve diğer iki gerinim ölçer de Şekil 2' de gösterildiği gibi şaftın diğer tarafında aynı şekilde hazırlanır.



Şekil 2 Strain-Gauge şaft üzerindeki yerleşimi

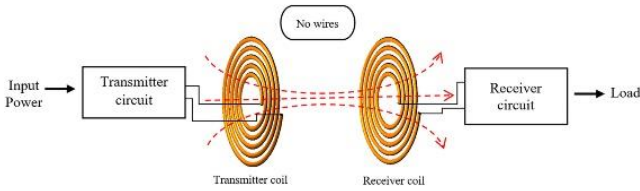
Bu durumda, mile tork uygulandığında mil üzerinde bir gerilim oluşur. Çekme gerilimini ölçen bir strain-gauge çifti devre direncini arttırır, diğer yandan sıkıştırma gerilimini ölçen diğer strain-gauge çifti devre direncini azaltır. Bu iki nokta arasında ölçülen voltaj gerilim farkı uygulanan tork miktarıyla orantılı olarak artar veya tersine uygulanıyorsa azalır.



Şekil 3 Metalik gerinim ölçer (Strain-Gauge)

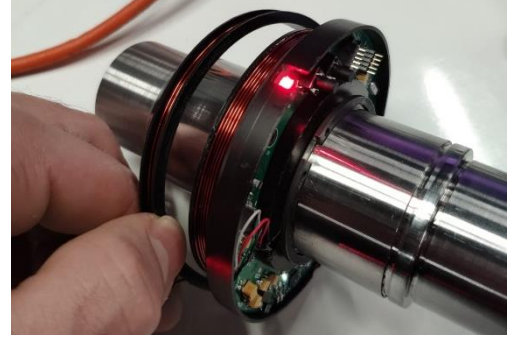
2011 yılında Harish, 5Nm'lik yüksek mukavemetli alüminyum alaşımdan yapılmış bir tork transdüseri tasarladı. Bu yöntemin prensibi analitik yöntemle olup, sonlu elemanlar analizi ile de ispatlanmıştır. Şekil 3, algılama elemanının katı kare bir eleman olduğunu, tork uygulandığında elastik deformasyona uğradığını ve deformasyonun üzerine sabitlenmiş gerinim ölçerler tarafından tespit edildiğini göstermektedir [6].

Gerinim ölçer metodu ile tork ölçmenin bazı zorlukları vardır. Bunlardan başlıca olanı; statik ve dinamik kısımlar arasındaki güç ve data aktarımını sağlayabilmek. Bu problem için kayma halkaları güç ve data aktarımında çözümlerden biri olarak kullanılabilir ancak temiz olmayan koşullar altında çalıştığı zaman tam güvenli bir sistem olamaz. Öteki bir çözüm yolu ise kablosuz olarak güç ve data aktarımını sağlamak. Bu sistemde güç aktarımı, birbirinin içine sığacak şekilde tasarlanmış iki bobin ile sağlanabilir.



Şekil 4 Kablosuz güç aktarım şeması

Şekil 4' de görüldüğü gibi güç aktarımı karşılıklı iki bobin üzerinden gerçekleşir. Güç gönderecek taraf bobin üzerindeki manyetik alanı değiştirir, karşısında bulunan bobin üzerinde manyetik alan değişimi nedeniyle bir akım meydana gelir. Doğrultucu bir devre ile bu akım güç kaynağı olarak kullanılabilir.



Şekil 5 Kablosuz güç aktarımı uygulaması

Kablosuz güç aktarımı yaparken aynı zamanda aynı bobin üzerinde data alışverişine izin veren teknolojiler mevcuttur, ancak data alışverişi çok yüksek hızlara çıkamadığından dolayı tork sensöründe bobin üzerinde data aktarımını sağlamak ihtiyaçları karşılayamayacaktır. Bu nedenle farklı bir çözüm sunulması gerekmektedir. RF haberleşmesi bu sorunu çözmek için kullanılabilir.

Gerinim ölçer yöntemi yirmi yıl öncesine kadar tork ölçümü için kullanılan en yaygın yöntemdi. Bunun nedeni, bu yöntemde sunulan herhangi bir sürtünme torku olmamasıdır. Ek olarak sıcaklık değişimlerinden çok fazla etkilenmez ayrıca bükülme ve eksenel gerilmelere karşı duyarlıdır.

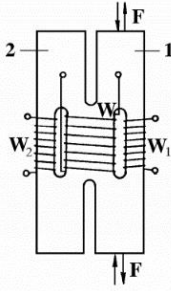
2.2.2. Manyeto-Elastik Tork Sensörü

Dış kuvvetlerin neden olduğu mekanik streslerin etkisi altında bir ferromanyetik çekirdekteki manyetik geçirgenlik değişimine dayanırlar. Bütün bunlar, yüksek hassasiyet, büyük çıkış gücü, büyük mekanik mukavemet ve aşırı yüklenmeye karşı kararlılık, atmosferik ve kimyasal faktörlerin zayıf etkileri, uzun ömür ve uzun ömür gibi en önemli bir dizi olumlu özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Dinamik özellikler sayesinde dönüştürücüler, çok sayıda endüstriyel kuvvet ölçüm cihazında önemli bir uygulama alanı bulmuştur.

Manyeto-elastik tork sensörleri iki kategoride incelenebilir; endüktif ve karşılıklı endüktif. Hem endüktif hem de karşılıklı endüktif dönüştürücüler, tek ve diferansiyel olarak gerçekleştirilebilirler. Diferansiyel transdüserler ile ilgili ölçüm sargıları, mekanik gerilmelerin zıt işaretlere (çekme ve sıkıştırma) sahip olduğu manyetik çekirdeğin kısımlarında düzenlenir. Bu dönüştürücüler, tekli olanlara göre daha yüksek hassasiyet, dış parazit faktörlerin etkisine karşı daha iyi koruma (daha yüksek doğruluk), daha rasyonel ölçümler için bağlantı gibi önemli avantajlara sahiptirler.

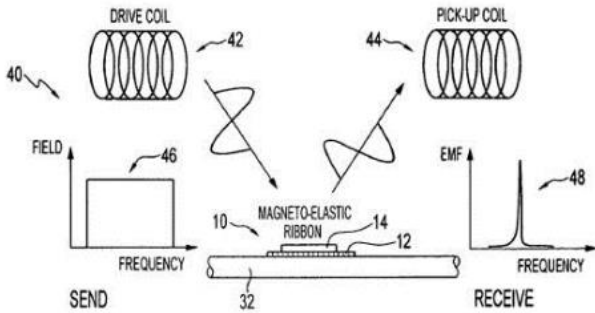
Dönüştürücünün H-şekilli manyetik çekirdeği, Şekil 6, ifade edilmiş manyeto elastik özelliklere sahip ferromanyetik malzemeden yapılmıştır. Dar dikdörtgen açıklıklar, çevresinde birbirinden bağımsız iki kapalı manyetik kontur oluşturan dikey

sütunları 1 ve 2' de işlenir. Dönüştürücünün çalışma prensibi, sargıların düzenine ve kuvvet uygulama şekline bağlıdır [4].



Şekil 6 Manyeto-elastik transdüseri yapısı [4]

Manyeto-elastik tork sensörü, alt tabaka ve manyeto elastik algılama bileşenlerinden oluşur (Şekil 7). Manyeto-elastik algılama bileşeni ve alt tabaka dış bir kuvvete maruz kaldığında, uygulanan kuvvete karşılık, manyeto-elastik tabaka karakteristik frekansını doğrusal olarak değiştirir.



Şekil 7 Manyeto-elastik rezonatör kullanarak tork algılama sistemi [Bunyer, Scott L, 2007]

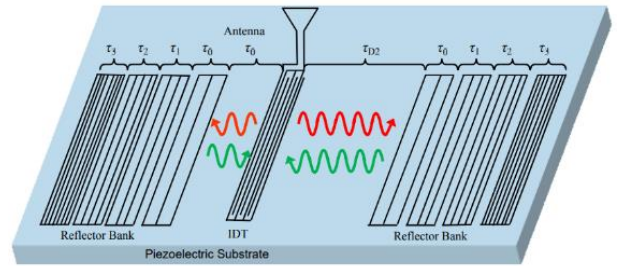
Manyeto-elastik enerjinin baz alınan düzlemindeki titreşimleri uyararak için birleştirildiği bir yolu indükleyerek manyeto-elastik sensörün bir rezonatör frekansına dayalı tork temelli bilgi üretir. Bu cihaz yaklaşık $\pm\%1$ 'lik bir doğruluk sağlayabilir.

2.2.3. Yüzey Akustik Dalgaları (SAW)

SAW tork cihazları, çok yüksek frekans modülasyonlu gerilime duyarlı ve bir elektrik sinyalini aynı frekansta akustik bir sinyale dönüştürme yeteneğine sahip elemanlardır. Yayılma hızındaki büyüklük mertebesindeki azalma nedeniyle, SAW cihazı çok daha küçük bir dalga boyuna sahiptir, bu da çok küçük bir pakette bir RF sinyalinin manipülasyonuna izin verir. Bu nedenle, bir SAW cihazını, şafttaki gerilmenin neden olduğu rezonans frekansındaki değişikliği ölçmek için kullanılabilen, frekansa bağlı bir gerinim ölçer olarak düşünebiliriz. Dinamik tork ölçümü için, SAW cihazı, sinyali şafttan sabit bir toplayıcıya iletmek için bir RF çiftine ihtiyaç duyar. Yaklaşık $\pm\%0,35$ toplam

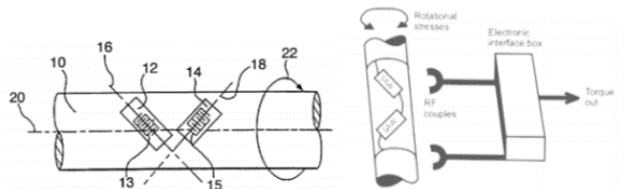
sistem doğruluğu sağlayan $\pm\%0,25$ doğruluk sunan nispeten düşük maliyetli bir cihazdır (patent Magee, 2007).

İki kümede dört adet ortogonal frekans kodlu (OFC) reflektör kullanan basit bir SAW sensörü Şekil 8'de gösterilmektedir. OFC kodlu bir cihazda, her bir reflektörün tepe frekansı, diğer tüm reflektörler için minimumda gerçekleşir. Anten tarafından toplanan radyo frekansı (RF) enerjisi, interdigital dönüştürücü (IDT) tarafından malzemenin yüzeyindeki elektrik enerjisinden mekanik dalgalara dönüştürülür. IDT çift yönlüdür ve bu nedenle iki yönde dalgalar üretir. Dalgalar alt tabaka boyunca ilerler ve her bir özdeş reflektör kümesini oluşturan dört reflektör ızgarasıyla karşılaşır. Dalgalar, elektrik enerjisine dönüştürüldüğü IDT'ye geri yansıtılır ve daha sonra antenden RF enerjisi olarak yayılır [2].

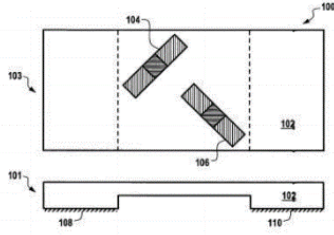


Şekil 8 Anten ve Dört OFC reflektör içeren iki sıralı SAW dönüştürücü [2]

Zaman gecikmeli kodlamada, her reflektör, aynı reflektör bankasındaki bir sonraki reflektör için mevcut olan enerji miktarını azaltır. Bununla birlikte, frekans kodlamasında, OFC reflektörleri IDT'nin frekans bant genişliğini böler ve her biri bant genişliğinin farklı bir parçasını yansıtır. Bu teknik, bant genişliği boyunca maksimum miktarda enerjinin sorgulayıcıya geri yansıtılmasını sağlayarak cihazı çok verimli hale getirir. Her bir sensöre benzersiz bir tanımlama kodu vermek ve çok yönlü RF ortamlarında sağlam çalışma için yayılmış spektrum iletişimini dahil etmek için her bankada birden fazla OFC reflektör ızgarası kullanılır. Bu, aynı ölçüm sisteminde çok sayıda benzersiz şekilde tanımlanmış sensörün kullanılmasına izin verir. Bu örnekte sadece frekans çeşitlemesi kullanılsa da kod sayısını artırmak için faz kodlama ve zaman bölmeli çoğullaşma eklenebilir [2].



Şekil 9 SAW tabanlı torkmetre blok şeması



Şekil 10 SAW Tork sensörü sistem diyagramı

SAW sensörlerin parmak genişlikleri, gerginlik altında artarken sıkıştırma altında parmak genişlikleri azalır. Bu durumda ters orantılı olarak parmak genişliğindeki artış frekansın azalmasına yol açarken; parmak arasındaki azalma, frekansın artmasına yol açar.

SAW cihazları, karmaşık sinyal işleme fonksiyonlarını sağlamak için tasarlanabilme, düşük maliyet, zorlu ortamlara karşı daha mukavemetli olma, tekrarlanabilirlik ve doğruluk sağlama gibi bazı avantajları mevcuttur.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Bu araştırma sonuçlarında mekanik sistemlerde tork ölçümü için kullanılan çeşitli yöntemler anlatılmıştır. Mekanik sistemin gereksinimine göre kullanılacak olan yöntemin sistem gerekliliklerini karşılamalı, aynı zamanda çok hassas olması gerektiği takdirde farklı yöntemlerin kullanılması gerekmektedir. Tork ölçümünde farklı yöntemlerin sunmuş olduğu avantaj ve dezavantajları göz önünde bulundurarak mekanik sisteme kolay entegre edilebilmesi ve ölçüm hassasiyeti ve doğruluğu göz önünde bulundurularak seçim yapılmalıdır.

4. Sonuç

Tork mekanik sistemlerin önemli bir parametresidir. Tork ölçümü dönen parçaların gücünü karakterize etmek için başvurulan yöntemlerin başında gelmektedir. Bir dönme şaftının torkunu algılama yöntemi ve gerçek zamanlı sinyal işleme mekanik ekipmanlar için anahtar teknolojidir. Dönme mili kompakt (katı, yoğun) bir yapıya ve dar bir alana sahiptir. Bu nedenle dönme miline bir sensörün sinyal iletimini ve güç kaynağı cihazını takmak zordur. Bu zor sorunları çözmek için farklı çözüm yöntemlerinden yararlanılarak dönen milin mekanik torkunun güvenilir, hassas ve kararlı bir şekilde tespit edilebilmesi farklı yöntemler ile elde edilebilmektedir. Tork ölçümünün zorlukları gelişen teknoloji ile yeni tip ölçüm sistemlerini ortaya çıkarmıştır. İlerleyen teknoloji ile dinamik tork ölçüm metotlarında da ilerleme olacağı çok aşikardır.

5. Teşekkür

Bu çalışmada testlerde kullanılması gereken test kartları ve ekipmanları için sağlanan maddi desteklerinden dolayı ESIT Elektronik Sistemler İmalat ve Tic. Ltd. Sti firması yönetim kurulu üyelerinden sayın Ferhat Tigrel ve Serhat Tigrel'e, teknik desteklerinden dolayı AR-GE departmanı müdürü sayın Berk Güldoğan'a teşekkürü bir borç bilirim.

Kaynakça

- [1] Chao Zhang, Zhipeng Li, Jie Chen, Feng Qiu, Shaodan Na, 2021. Design and research of a novel non-contact vertical inductive torque sensor, s.1-2. DOI: 10.1016/j.measurement.2021.109252
- [2] William Wilson, Gar Atkinson, 2011. Surface Acoustic Wave Strain Sensor Model s.1-2.
- [3] Chih-Jer Lin, 2012. Study on Wireless Torque Measurement Using SAW Sensors DOI: 10.5772/36452 · Source: InTech
- [4] Georgi Ianakiev Trendafilov, 1996. Magnetoelastic Force-Measuring Transducer [Google Scholarship]
- [5] Beckwith, T.G., Marangoni, R.D. and Lienhard, J.H. (1993) Mechanical Measurements, 5th ed. USA:Addison-Wesley Publishing Company.
- [6] Harish. K, Ani. K and Sanjiv. G. (2011) Design Studies and Testing of Torque Transducer. Indian Journal of Pure and Applied Physics Vol. 49, pp.653-656