

DMP41- UZAMA ÖLÇERLİ TİP KUVVET DÖNÜŞTÜRÜCÜLERİ İÇİN YENİ BİR ÖLÇÜM CİHAZI

Emre TOLAY*
Dr. Bülent AYDEMİR**

*Sensor Teknolojileri, ANKARA, Turkey,
e.tolay@sensor-hbm.com

**TÜBİTAK UME, Gebze/KOCAELİ, Turkey
bulent.aydemir@tubitak.gov.tr

ÖZET

Uzama ölçer (strain gauge) prensip olarak bir dirençtir. Eğer ona bir yük uygulanırsa, direnç değerinde çok küçük bir değişiklik meydana gelir. Bir wheatstone köprüsü yardımıyla direnç değişimi voltaj değişimine dönüştürülebilir. Ancak köprünün çıkış gerilimi yine çok düşüktür. Bu nedenle gelişmiş metotlar ile kazanç sağlanmalıdır. Bu çalışmada, kuvvet, moment, basınç dönüştürücüleri veya yük hücrelerinin kalibrasyonlarında kullanılmak üzere geliştirilen yüksek çözünürlük ve yüksek kararlılıklı (stabiliteli) yeni hassas ölçüm cihazı DMP41'in özellik ve performansı açıklanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Hassas ölçüm, Uzama ölçer, Yüksek çözünürlük, Yüksek kararlılık

ABSTRACT

The strain gauge principle is a resistive principle. If a strain is applied only a very small change of resistance occurs. By a Wheatstone bridge the change of resistance can be transferred into a voltage. However this voltage signal on the output of the bridge is still very small. Therefore it must be gained by sophisticated methods. This paper describes the new strain gauge precision instrument DMP41 with highest resolution and highest stability for the use in calibration tasks with e.g. force, torque, pressure transducers or load cells.

Key Words: Precision instrument, strain gauge, high resolution, high stability

1. GİRİŞ

Bu çalışma, Schafer ve Kitzing tarafından hazırlanan ve 2012 yılındaki XX. IMEKO kongresinde sunulan çalışmanın ülkemize kazandırılması amacıyla hazırlanmıştır [1].

DMP 41 cihazı içerisinde kullanılan, mükemmel sinyal okumasını sağlayan, üç ana prensip, giriş bölümünde kısaca açıklanmıştır.

Malzemelerin elastik deformasyonu, ölçülen birim uzama miktarlarından malzemenin geriliminin hesaplanması yöntemleri Hook Kanunu'na dayanmaktadır. Tek eksenli gerilme durumu için Hook Kanunu'nun en basit hali (şekil 1) [2-4]:

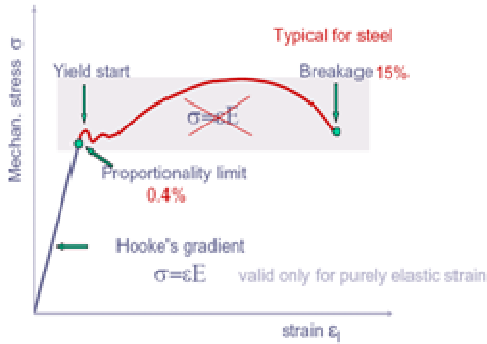
$$\sigma = \varepsilon \cdot E \quad (1)$$

σ = malzeme gerilimi

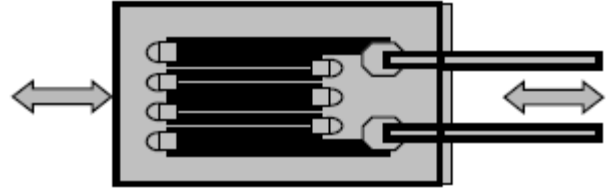
ε = birim uzama

E = malzemenin elastisite modülü

Birim uzama, uzama ölçer ile elde edilebilir (şekil 2) [3-6] :



Şekil 1. Çekme gerilmesi Uzama grafiği ve Hook kanununun gösterimi



Şekil 2. Yük altında bir uzama ölçerin direnç değişiminin şematik olarak gösterilmesi

Direnç değişimi şu şekilde ifade edilir:

$$\Delta R/R_0 = k \cdot \varepsilon \quad (2)$$

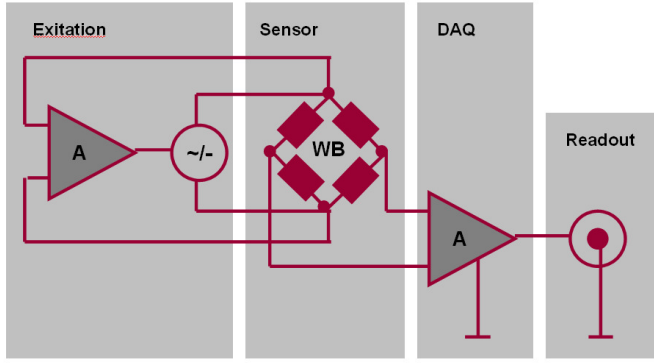
ε = birim uzama

k = ölçer faktörü

ΔR = direnç değişimi

R = temel direnç

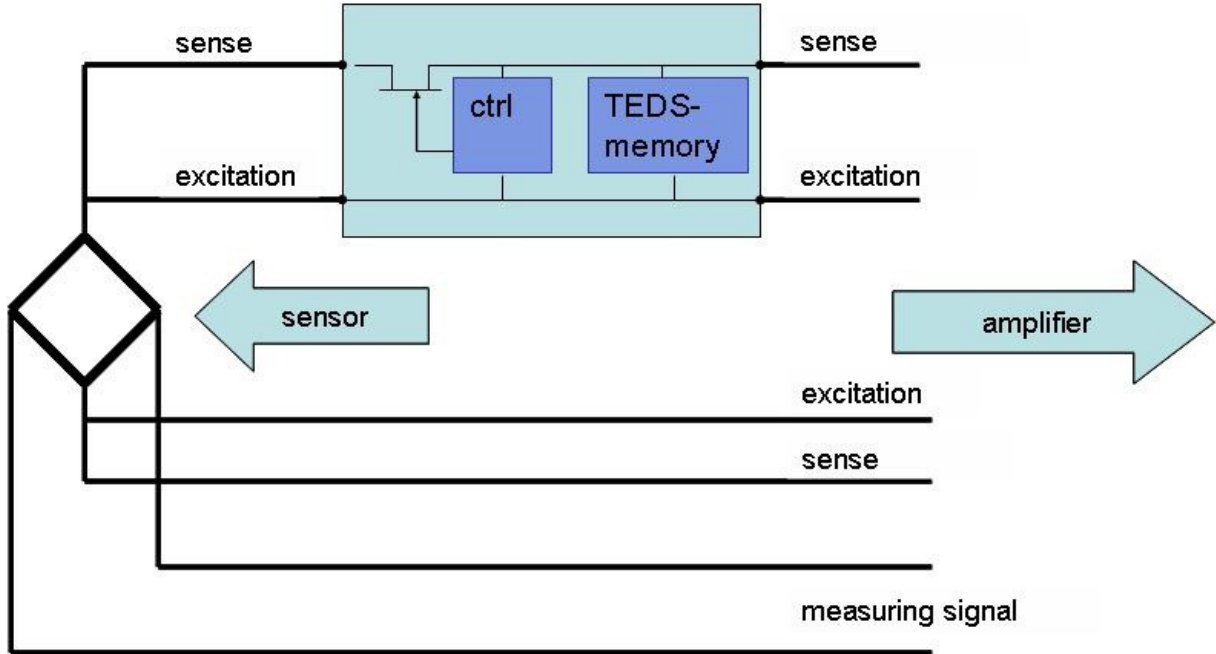
Şekil 3, uzama ölçer prensibine dayanan Wheatstone köprüsü (WB) içeren bir amplifikatör (DAQ) içeriğinin elektrik devresini göstermektedir.



Şekil 3. Uzama ölçer amplifikatör prensibi

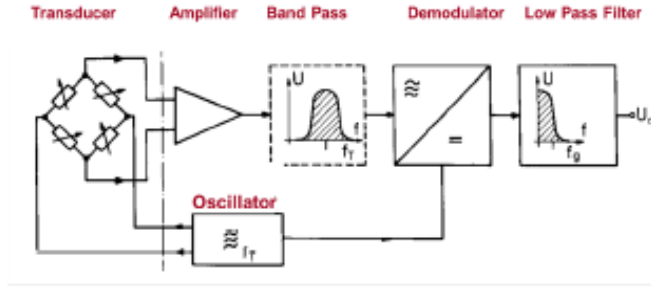
İkinci ana prensip altı-telli devredir. Uzama ölçer tam köprü devreleri için kabloların direnci nedeniyle gerilim düşümünü önlemeye yarayan bir yöntemdir. Şekil 4 prensibi göstermektedir. Ayarlanabilir bir gerilim üretici uzama ölçer tam köprü devresi ile donatılmış dönüştürücü beslemesi için voltaj sağlar. Besleme uçlarının kablo dirençlerinin üzerinden geçen besleme akımına bağlı olarak kaynaklanan gerilim düşümünün bir sonucu olarak, dönüştürücü düşük bir besleme voltajı alır. İki algılama ucu, gerilimi, referans bir gerilim ile karşılaştıran bir komparatöre geri döndürür. Referans gerilimi, gerekli köprüyü besleme gerilimine eşittir. Algılama uçlarının kablo dirençlerinin herhangi bir olumsuz etkisi yoktur, çünkü üzerlerinden hiçbir akım geçmemektedir. Eğer, gerçek besleme gerilimi referans besleme geriliminden saparsa, komparatör tarafından kontrol edilen jeneratör, algılama uçlarındaki sinyal referans besleme gerilimi ile aynı oluncaya kadar kendi gerilimini artırır. Bu yöntemle gerekli gerilim dönüştürücü üzerinden geçirilir.

Yeni cihaz DMP41, ayrıca benzersiz tanımlama ve parametre depolaması için TEDS (Dönüştürücü Elektronik Bilgi Formu) kullanımına imkan sağlamaktadır.



Şekil 4. 6 telli devre prensibi ve TEDS Opsiyonu

Üçüncü prensip, bir CF (taşıyıcı frekans) kullanımınıdır. Burada dönüştürücü bir sinüs dalga gerilimi ile beslenir ve bu nedenle bir modülatör gibi çalışır. Detayları Şekil 5'te görebilirsiniz.



Şekil 5. CF (taşıyıcı frekans) temelli HBM Yüksek Hassasiyetli Amplifikatör

Sonuç olarak, bir taşıyıcı frekans kullanımı çok daha iyi bir sinyal gürültü oranı sağlamaktadır. HBM kendi DMP serisi için 225 Hz taşıyıcı frekans kullanmaktadır [8].

2. CİHAZIN TARİHÇESİ

1970'li yıllarda HBM DK38 cihazı, diğer bir deyişle dijital kompensatör ile dünya çapında ve birçok değişik pazarda büyük başarı kazandı. Kalibrasyon alanında daha da yüksek doğruluk için ortaya çıkan gereksinim trendi, henüz 1980 yılında HBM tarafından yakalandı. Alman Ulusal Metroloji Enstitüsü, PTB [9] ile birlikte HBM, endüstrinin talepleri ötesinde, fiziksel sınırlara kadar gidebilen bir cihaz hakkında düşünmeye başladı. Bu 1980 yılında DMP39 cihazının tanıtılması ile gerçek oldu, ardından 1992 yılında DMP40 cihazı ile devam etti. DMP39 cihazı toplam doğruluk içerisinde ihmal edilebilen, "ideale yakın" bir doğruluğa sahip bir cihaz elde etme girişimindeki büyük bir sıçramadır:

$$c^2 = \text{sqr}(a^2 + b^2) \quad (3)$$

c = ölçüm zincirinin toplam doğruluğu
a = dönüştürücünün doğruluğu (örn. kuvvet veya tork)
b = hassas ölçüm cihazının doğruluğu

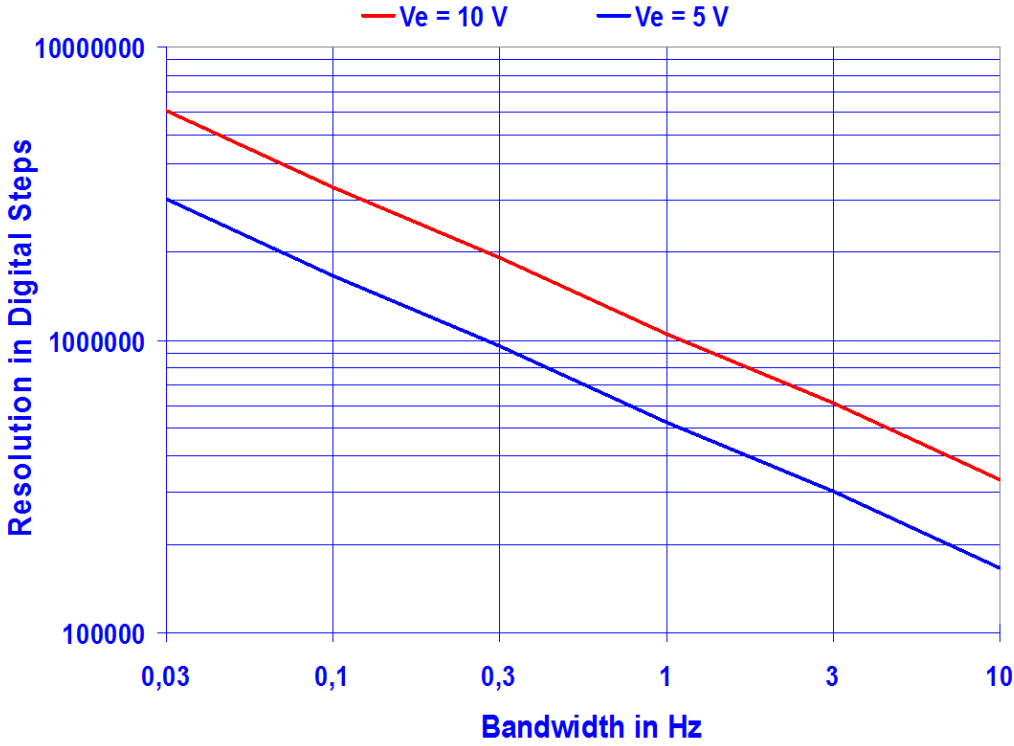
Ve eğer b = 0 ise, doğru olan nedir,

$$c = a \quad (4)$$

Başka bir deyişle: iyi bir dönüştürücü yapılması için çaba harcamayı göz önüne almak gerekir, amplifikatördeki bu doğruluğu kaybetmeyecek şekilde olmalıdır. Bu cihaz serilerini geliştirirken her zaman bu nokta akılda olmalıdır [10]. Bu nedenle dünya çapında yaklaşık yüz standart enstitülerinde "referans cihaz" haline gelmiştir.

3. CİHAZIN TEMEL PARAMETRELERİ

Yeni piyasa sürülecek olan DMP41 cihazı aşağıdaki bölümlerde tartışılacak olan kalibrasyon alanındaki yeni isteklerin gelişiminin bir yansıması olarak, bu cihazların en gelişmiş varisidir [11].



Şekil 6. Çözünürlük karşısında Bant genişliği

Şekil 6 termal gürültü nedeniyle bir uzama ölçer dönüştürücünün fiziksel sınırlarının çözünürlüğünü göstermektedir.

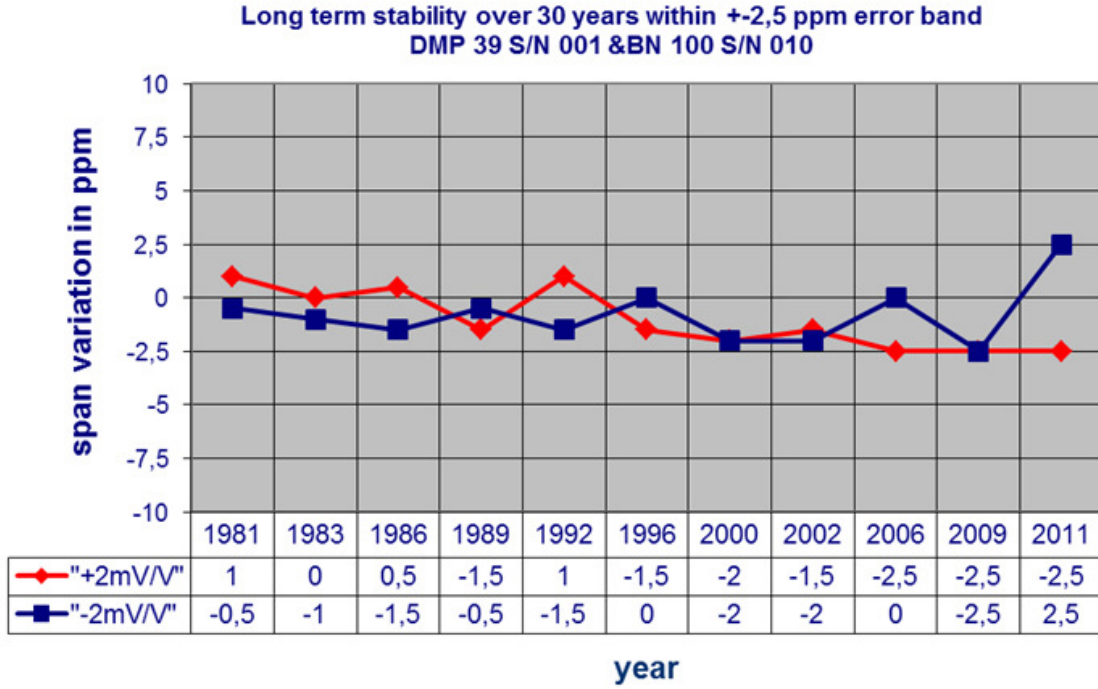
$$V_{\text{rms}} = \text{sqr}(4 \cdot k \cdot T \cdot R \cdot B) \quad (5)$$

- V_{rms} = Gürültü Geriliminin Ortalama Kare Kökü
- k = Boltzmann Sabiti (1.380662×10^{-23} J/K)
- T = K cinsinden Mutlak sıcaklık
- R = W cinsinden Direnç
- B = Hz cinsinden Bant genişliği

Görüldüğü gibi, yüksek çözünürlüğe uzama ölçer dönüştürücüler ile sadece alçak bant genişliği ile ulaşılabilir, örneğin yavaş filtreler. Amplifikatör girişi dönüştürücüden daha fazla gürültü üretmemelidir ve cihaz çok yüksek çözünürlüklü ve yavaş tepki veren dijital filtrelere ihtiyaç duymaktadırlar.

Ancak burada bir şey kolayca anlaşılmalıdır ki 5 ppm'e karşılık gelen sadece % 0,0005'lik bir doğruluk, bu cihaz serileri içerisinde ulaşılan benzersiz prensip ve sistemin eseridir.

Cihaz serilerinin uzun süreli kararlılığı DMP39 örneği ile gösterilmelidir. DMP40 değerlerinin öncüsü için olduğu gibi 30 yılı aşkın bir zaman periyodu içerisinde mevcuttur. S/N_001 ile birlikte DMP39 için alınmıştır. İlk DMP39 cihazı, BN100 model kalibrasyon ünitesi ile birlikte yapılmıştır. Sonuç Şekil 7'de gösterilmiştir.



Şekil 7. BN 100 ve DMP39'un uzun süreli kararlılık için ölçülen değerleri

Tüm ölçüm zinciri sadece $\pm 2,5$ ppm'lik bir hata bandını bırakmamaktadır. Bu cihaz serisi için ne anlama geldiğinin yanı sıra, birde bir uzama ölçer dönüştürücüsünü en yüksek doğrulukta ve uzun süreli kararlılık ile taklit eden BN100'un (S/N010 ile birlikte üretilmiş bir ilk cihazlardan biri olarak kullanılmıştır) mükemmelliğini göstermiştir.

Sonuç olarak DMP41 cihazı için aşağıdaki ilk spesifikasyonlar mevcuttur:

Doğruluk sınıfı	0.0005% = milyonda 5 parça
Çözünürlük	2.000.000 d
Lineerlik hatası	<5 ppm (milyonda bir)
Sıfır noktası kayması	<3 ppm / 10K
Span kayması	<3 ppm / 10K
Uzun süreli kayması	<5 ppm / yıl

4. BİLGİSAYAR İLE UZAKTAN ÇALIŞMA İÇİN YENİ İMKANLARI

Bir kuvvet laboratuvarının çalışmasını hayal edelim. Örneğin, hidrolik kuvvet makineleri için şu şekildedir: Bir kuvvet kalibrasyon makinesi referans dönüştürücüsüne ve test numunesine aynı anda kuvvet uygular. Bu nedenle iki kanal ihtiyaç vardır. DMP40 S2 bunun için kullanılmıştır.

Bu nedenle uyumluluğun gereksinimi zor bir görevdir, yazılımcılar gibi, sistem entegratörleri veya aynı zamanda yük hücreleri üreticileri gibi, farklı grup ya da kullanıcılar tarafından kullanılmaktadır. Bu sebeple tüm temel komutlar korunmuştur.

DMP40 S2'den daha iyi olarak DMP41 T2 ile iki kanal okuması ve kontrolü uzaktan bir yerden yüzde yüz olarak yapılabilmektedir, ofiste yer alan operatör cihazın kendisi gibi aynı fonksiyonelliğe sahip olarak, kullanıcının istediği gibi, bazı dokunmatik ekranlar veya geleneksel fonksiyonel ve alfa numerik tuş takımı ile çalıştırılabilir.

5. ÇOK KANALLI UYGULAMALARI

DMP41 T2 versiyonunun yanı sıra daha çok yönlü altı kanala kadar elbette simültane olarak çalıştırılabilen bir DMP41 T6 versiyonu mevcuttur. Kesinlikle bu versiyon için birçok uygulama olacaktır. Altı kanallı cihaz için bir uygulama örneği havacılık veya rüzgâr enerjisi için bir rüzgâr tüneli olabilir. [12-13].

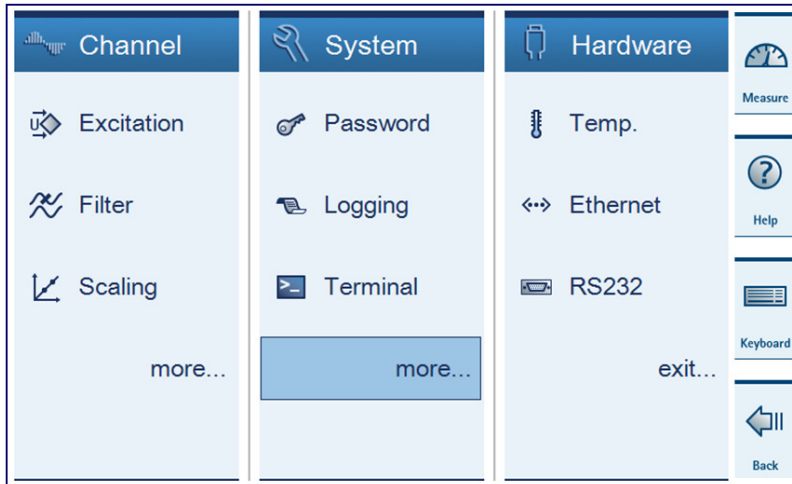
Cihazda en fazla altı kanala ek olarak, birden çok DMP41 cihazı ana ve ikincil cihaz fonksiyonunu kullanarak birlikte çalıştırılabilir. Bu sayede, yüksek kanallı son derece hassas ölçüm için hemen hemen hiçbir sınır yoktur ve bu kesinlikle kullanıcılara yeni görevler için hazırlıklı olmalarını ve gelecekteki eğilimlere yeni olanaklar açılmasına yardımcı olacaktır.

Şekil 8 de DMP41 cihazının ön yüzünü göstermektedir. Sol tarafta dokunmatik ekranı, sağ tarafta fonksiyon tuşlarını bulabilirsiniz. Çok sayıda yeni özelliklerin eklenmesine rağmen, cihaz hala tanıdık gözükmemektedir ve masaüstü kasası DMP40 büyüklüğü ile aynı ebatlıdır.



Şekil 8. Yeni cihazın ön görünümü (değişikliğe tabidir)

Şekil 9 cihazı kurmak için kolayca anlaşılabilen menüsünü göstermektedir. Tüm işlemler cihaz üzerindeki fonksiyon tuşları üzerinden aynı zamanda yeni geliştirilen dokunmatik ekran üzerinden hem de uzaktan kontrol için bir PC üzerinden yapılabilmektedir.



Şekil 9. Yeni cihazın yapılandırma menüsü (geçici, değişikliğe tabidir)

Şekil 10 da bağlantı için yeni imkan içeren cihazın arka tarafını göstermektedir. Her kanal DP15 DP fiş veya MS fiş ile bir dönüştürücü ile bağlanabilir. Böylece ara kablolar artık gerekli değildir. Yeni arayüz olanakları Ethernet ve çok sayıda USB konektörleridir.



Şekil 10. Cihazın DMP41-T6 versiyonunun (altı simültane kanal aynı zamanda birçok arayüz bağlantısı) arka tarafının şematik gösterimidir.

6. SONUÇLAR

DMP40 dünya çapında birçok standart enstitüleri laboratuvarlarında standart bir cihazdır. Ağırlıklı olarak cihaz kuvvet, tork, basınç (özellikle yüksek basınç ve ultra yüksek basınç araştırma alanlarında) aynı zamanda akış ve kütle laboratuvarlarında kullanılmaktadır ve son on yıl içerisinde en doğru ölçüm zincirleri için temel teşkil etmektedir.

Artık yeni DMP41, DMP40 cihazının mantıksal devamıdır. DMP serisi cihazların ilk tanıtılmasından bu yana, DMP39 olarak adlandırılan, seri üstün doğruluğunu ve uzun süreli kararlılığını kanıtlamıştır. Şimdi DMP41 güncel özellikleri, artı çok daha iyi bir bağlantı ve kullanılabilirlik sunmaktadır.

Bir önemli adım daha karmaşık kalibrasyon işlerine uygun yapılmıştır. En az iki veya altı kanala kadar gerçekten eş zamanlı kanalları, çok daha iyi bir ağ entegrasyonu ve gelişmiş programlama dillerinin kullanımı sadece yeni cihazın en yeni özellikleridir. Ayrıca her kanal DP15 DP fiş veya MS fiş ile dönüştürücü ile bağlanabilir olması günlük kullanımda daha kolaylık sağlayacaktır.

Birkaç mekanik büyüklüklerin Ulusal Metroloji Enstitülerinin arasında düzenlenen karşılaştırma programlarında kullanımı ile kullanıcılar cihazların mükemmel performanslarına güvenebilecektir.

Aynı zamanda, cihazın mükemmel bir doğruluğu sayesinde, tüm ölçüm zincirinin toplam doğruluğu DMP41 önündeki bir dönüştürücü ile yaklaşık aynıdır. Bu özellikle önemlidir eğer yüksek nominal kuvvetler ve yüksek fiyatlı oldukça yüksek dönüştürücü üniteleri ile ilgili olarak ve doğruluklarını daha fazla hale getirmek için çok fazla efor gerektiren dönüştürücüler için daha fazla önemlidir [15,16].

Yük hücresi ve diğer dönüştürücü üreticileri gibi bir çok endüstriyel alanlardaki diğer kullanıcılar aynı zamanda kalibrasyon servisleri, kalibrasyon hizmetlerinin otomasyonu bu yeni cihaz ile daha kolay hale gelecektir.

KAYNAKLAR

- [1]. A. Schäfer, H. Kitzing, DMP41 – A new chapter of ultra-precision instrument for strain gauge transducers, XX IMEKO World Congress, September 9-14, 2012, Busan, Republic of Korea
- [2]. Hoffmann K.; "An introduction to measurements using strain gauges", Publisher Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH (HBM), Darmstadt, Germany, 1989
- [3]. Aydemir, B., Pelit, E., Fank, S., Genel Kuvvet Metrolojisi Eğitim Dökümanı, TÜBİTAK UME, 2008

- [4]. Aydemir, B., Pelit, E., Fank, S., Malzeme Test Makinası Kalibrasyon Eğitim Dokümanı, TÜBİTAK UME, 2008
- [5]. Window, A. L.; Holister, G.S; „Strain Gauge Technology“, Applied Science Publishers, London,United Kingdom, 1990, pp. 18
- [6]. Kreuzer, M.; „Moderne Microcomputer-gesteuerte Kompensatoren“, Messtechnische Briefe (HBM) issue 21, pp. 35-38
- [7]. Kreuzer, M. “High-precision Measuring Technique for strain gauge transducers”, Internal publication of Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH, Darmstadt, Germany, September 1999
- [8]. Kitzing, H., “A solid base for precision strain gauge measurements“, Proceedings of XVI. IMEKO World Congress, Vienna, Austria, 2000, pp. 405-408.
- [9]. Ramm, G.; „Selbstabgleichende Präzisions-Meßbrücke“, Specific journal mpa, Messen, Prüfen, Automatisieren; Kaufering, Germany; 1988 (11), pp. 558-560
- [10]. Schäfer, A.; “Force, strain and pressure transducers based on foil type strain gauges”, Proceedings of Eurosensors XXII conference, Dresden, Germany, October 2008
- [11]. Kehrer, R.; Schäfer, A.; „MGC - A revolutionary structured analogue amplifier and its application at a Multi-Channel Body Test Stand“, Proceedings of NVH Symposium´95, Matsushita National Panasonic symposium ; Tokyo, Japan, November 1995
- [12]. Ahlefeldt, T.; Koop, L.; Lauterbach, A.; Spehr, C. ”Advances in Microphone array measurements in a cryogenic wind tunnel“, Institute of Aerodynamics and Flow Technology, German Aerospace Center DLR, BeBeC, Berlin Beam forming Conference, February 2010, Germany
- [13]. Schäfer, A. “Outlook regarding the growing importance of measurement in wind energy”, DEWEK 2010 German Wind energy conference, Bremen, Germany, November 2010
- [14]. Schäfer, A. “Examples and proposed solutions regarding the growing importance of calibration of high nominal forces” Proceedings of IMEKO 2010 TC3, TC5 and TC22 Conferences, Metrology in Modern Context, November 2010, Pattaya, Chonburi, Thailand
- [15]. Schäfer, A. “Analogy observation of force transducers compared to strain and pressure transducers based on foil type strain gauges and the piezoelectric principle“, Proceedings of APMF Asia-Pacific Symposium on Measurement of Mass, Force and Torque, Tokyo, Japan, 2009
- [16]. Schäfer, A. et al. “A new type of transducer for accurate and dynamic pressure measurement up to 15000 bar using foil type strain gauges”, XVII IMEKO World Congress 2003, Metrology in the 3rd Millennium, Dubrovnik, Croatia

ÖZGEÇMİŞ

Emrah Emre TOLAY

1981 yılı Ankara doğumludur. 2003 yılında Ankara Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. 2005 yılından beri SENSOR TEKNOLOJİLERİ SAN. VE TİC. LTD. şirketinde Satış ve Teknik Destek Mühendisi olarak görev yapmaktadır. Strain Gauge Uygulamaları, Strain Gauge ve Piezoelektrik bazlı dönüştürücüler, Hassas Ölçüm Cihazları, Referans Kuvvet ve Tork Dönüştürücüler, Veri Toplama Sistemleri, Veri Analiz Yazılımları konularında çalışmaktadır.

Dr. Bülent AYDEMİR

1973 yılı Eskişehir doğumludur. 1994 yılında Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Bölümünü bitirmiştir. 1996 yılında Kocaeli Üniversitesinden Yüksek Mühendis, 2003 yılında Eskişehir Osmangazi Üniversitesinden Doktor ünvanını almıştır. 1994-2000 yılları arasında Eskişehir Osmangazi Üniversitesinde Araştırma Görevlisi olarak görev yapmıştır. 2000 yılından beri TÜBİTAK-UME Kuvvet Ölçümleri Lab. Uzman Araştırmacı olarak görev yapmaktadır. Kuvvet ölçme cihazları, malzeme test makineleri, ekstansometre, sertlik cihazları, çentik darbe cihazları ve yorulma cihazlarında test ve kalibrasyon konularında çalışmaktadır.