

Vibration-Based Machine Condition Monitoring and Fault Diagnosis Using Fuzzy Logic

Hüseyin Dal
Sakarya University, Mechanical Engineering Department, Esentepe Campus, 54187
Sakarya, Turkey

Abstract: In this study, “the general evaluation standards of machine vibration ISO/10816-1” which has a significant role in vibration analysis, modeled and simulated has been realized by using fuzzy logic. The predicted output values were compared with the ISO-10816-1 standard values. Therefore, it was provided to make a fault diagnosis easier and faster.

Keywords: Fuzzy Logic, ISO-10816-1, machinery health monitoring, vibration level

Bulanik Mantik Kullanarak Titresim Tabanlı Makina Durum İzlemesi Ve Hata Teshisi

Özet: Bu çalışmada, titreşim analizinde önemli bir yer teşkil eden “Makinaların Genel Titreşim Değerlendirme Standartları ISO-10816-1 (önceki ISO-2372)” tablosu, bulanik mantik kullanılarak modellenmiş ve simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Simülasyon sonucunda elde edilen çıkış değerleri gerçek tablo değerleriyle karşılaştırılmıştır. Böylece, daha kolay ve hızlı hata tespiti sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Bulanik mantik, ISO-10816-1, makine sağlığı izleme, titreşim düzeyi

Reference to this paper should be made as follows (bu makaleye aşağıdaki şekilde atıfta bulunulmalı):
H. Dal , ‘Vibration-Based Machine Condition Monitoring And Fault Diagnosis Using By Fuzzy Logic’, Elec Lett Sci Eng , vol. 2(2) , (2006) , 31-37

1 Giriş

Endüstriyel bir sürecin denetimi için tasarım yapılırken her şeyden önce o sürecin bir dinamik modeline gereksinim vardır. Ancak pratikte bu her zaman mümkün olmayabilir. Süreç içerisindeki olaylar matematiksel modellemeye el verecek ölçüde açıkça bilinmeyebilir veya bir model kurulabilse bile bu modelin parametreleri zamanla büyük değişiklikler gösterebilir. Bazı durumlarda ise doğru model kurulsun bile bunun denetleyici tasarımında kullanılması karmaşık problemlere yol açabilir. Bu gibi sorunlarla karşılaşıldığı zaman genellikle uzman bir kişinin bilgi ve deneyimlerinden yararlanılma yoluna gidilir. Uzman kişi dilsel nitelikler olarak tanımlanabilecek; uygun, çok uygun değil, yüksek, fazla, çok fazla gibi günlük yaşamımızda sıkça kullandığımız kelimeler doğrultusunda esnek bir denetim mekanizması geliştirir. Bulanik denetim bu tür mantıksal ilişkiler üzerine kurulmuştur[1,2].

Bulanik mantik yaklaşımında sayısal ifadeler yerine sembolik ifadeler kullanılır. Bulanik mantik denetleyicilerinin temeli bu sözlü ifadelerdir. Sözlü ifadelerin bilgisayara aktarılması matematiksel bir temele dayanmaktadır. Bu matematiksel temel, bulanik kümeler kuramı ve bulanik mantik olarak adlandırılır. Bulanik mantik, klasik mantik gibi ya 0 yada 1 gibi iki seviyeli değil [0-1] aralığında çok seviyeli işlemleri ifade etmektedir[3].

* Corresponding author; Tel.: +(90) 5335607543 , E-mail:hdal@sakarya.edu.tr

Devillez A., Dudzinski D., bir talas kaldırma tezgahinin çalışması esnasında meydana gelen, zararlı etkilere yol açan titreşim problemlerini ele almışlardır. Meydana gelen titreşimleri azaltmak için bir bulanık mantık denetleyicisi üzerine çalışmışlardır[4]. Skarlatos D. ve arkadaşları, bulanık mantıkla farklı hız ve diğer etkenlerin, demiryolu tekerlek hasarlarına etkilerini incelemek için, titreşim ölçümüne dayalı basit bir metod önermişlerdir[5]. Mechefske C. K., birbirinden farklı hatalı spektrum görüntülerini sınıflandırmış ve bulanık mantıkla arıza tespiti yapmaya yönelik bir metod sunmuştur[6].

Kumaraswamy S., ve arkadaşları, ISO-10816 ve Kanada standartları gibi titreşim standartlarının, bazı özel makine elemanları için yorumlamanın zorluğuna değinmişler, pompa, motor, jeneratör gibi genel amaçlı kullanılan makinalar için daha kullanışlı olduğunu belirtmişlerdir[7].

Bir makineden en yüksek verimi almak ve bakımdan kaynaklanan üretim kayıplarını en aza indirmek için bugüne kadar değişik yaklaşımlar benimsenmiştir. Bunlardan yaygın olarak kullanılan "erken uyarıcı dinamik bakım" anlayışidir. Bu bakım anlayışında, makinaların durumu sürekli ölçüm yapılarak takip edilmektedir. Ölçüm ve kontroller ile titreşim seviyesindeki değişiklikler takip edilerek üretimi etkileyecek arızanın oluşabileceği zaman önceden tahmin edilmeye çalışılır. Bu kontrollere göre uygun zamanlarda makinalar bakıma alınır. Toplanan veriler üzerinde yapılan analizler ile arızaların kaynağı ve gelişimleri takip edilir. Böylece makinaların en yüksek verimde kullanılması ve beklenmeyen arıza duruşlarının önlenmesi sağlanır.

Bu çalışmada, ISO-10816-1" tablosu, bulanık mantık kullanılarak modellenmiş ve simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Model üç giriş ve tek çıkıştan oluşmuştur ve mamdani bulanık çıkarım sistemi uygulanmıştır. Berraklaştırma için maksimumların ortalaması (mom) kullanılmıştır.

Makina sağlığı izlenmesinde insan unsurunu ortadan kaldırarak daha kolay ve daha hızlı arıza tespiti ve dolayısıyla gereksiz makina duruşlarının önüne geçilmesi amaçlanmıştır. Kumaraswamy S. ve arkadaşlarının belirttiği kısıtlamalar giderilmeye çalışılmıştır. Simülasyon sonucunda elde edilen çıkış değerleri gerçek tablo değerleriyle karşılaştırılarak uygulanabilirliği teyit edilmiştir.

2 Genel Titreşim Ölçümlerinin Değerlendirmesi

Genel olarak titreşim ölçüm değerlerini yorumlayabilmek ve değerlendirebilmek için üç genel prensip kullanılmaktadır[8].

Standartlar ile karşılaştırma: ISO-10816 ve ISO-7919 Titreşim şiddeti değerlendirme standardındaki limit değerlerle karşılaştırma yapılır.

Trend Karşılaştırma: Güncel ölçüm değerleri belirli bir zaman dilimi için esas alınan, daha önceden belirlenmiş temel değerlerle karşılaştırılır.

Diğer Makinalarla Karşılaştırma: Benzer tipteki diğer makinalardan çeşitli şekillerde elde edilmiş değerlerle karşılaştırma yapılır.

2.1 Titresim Siddeti Ölçümü

Dönen makinaların dengesizliğinin izlenmesindeki yaygın bir prosedür, titresim hızının/siddetinin ölçülmesidir. Titreşim siddeti yayılan titreşim enerjisinin bir ölçüsüdür. Eğer ilgili makinanın titreşim siddeti değerleri ile ilgili referans alınabilecek değerler mevcut değilse, ISO 10816-1 referans numaralı standartlar kullanılabilir. Bu standartlarda farklı büyüklüklerdeki makinalar için izin verilebilecek titreşim siddeti değerleri verilmektedir.

ISO 10816-1 Standartları (Tablo 1) 10-200 Hz (600-12000 RPM) frekanslar arasında çalışan makinalarda titreşim siddetini değerlendirmede rehberlik sağlar. Bu tip makinalara; küçük, doğrudan bağlantılı elektrik motorları ve pompalar, orta büyüklükteki motorlar, jeneratörler, gaz ve buhar türbinleri, turbo kompresörler, turbo pompalar ve fanlar örnek olarak verilebilir. Bu makinaların bazıları rijid veya esnek olabilir ya da disillerle birbirlerine bağlanmış olabilir. Dönen saftların eksenleri yatay, dikey veya açışal olarak çakışmış olabilir.

Tablo 1. ISO 10816-1 titreşim değerleri tablosu[9].

TITRESİM SİDDETİ DEĞERLENDİRME TABLOSU ISO 10816						
	Makina		Sinif I Küçük Makinalar	Sinif II Orta Makinalar	Sinif III Büyük Makinalar	Sinif IV Büyük Makinalar
	dB	mm/s				
Titresim Hızı V_{rms}	109	0.28	ÇOK İYİ			
	113	0.45				
	117	0.71				
	121	1.12	İYİ			
	125	1.80				
	129	2.80	DİKKAT			
	133	4.50				
	137	7.10	KABUL EDİLEMEZ			
	141	11.2				
	145	18.0				
	149	28.0				
	153	45.0				

ISO 10816-1 standardına göre makinalar aşağıdaki gibi dört kategoride sınıflandırılmıştır.

Sınıf I. 15 kW' a (20 HP) kadar olan küçük ölçekli bireysel makina ve parçaları.

Sınıf II. 15 kW tan 75 kW'a (20 HP-75 HP) kadar olan orta ölçekli makinalar.

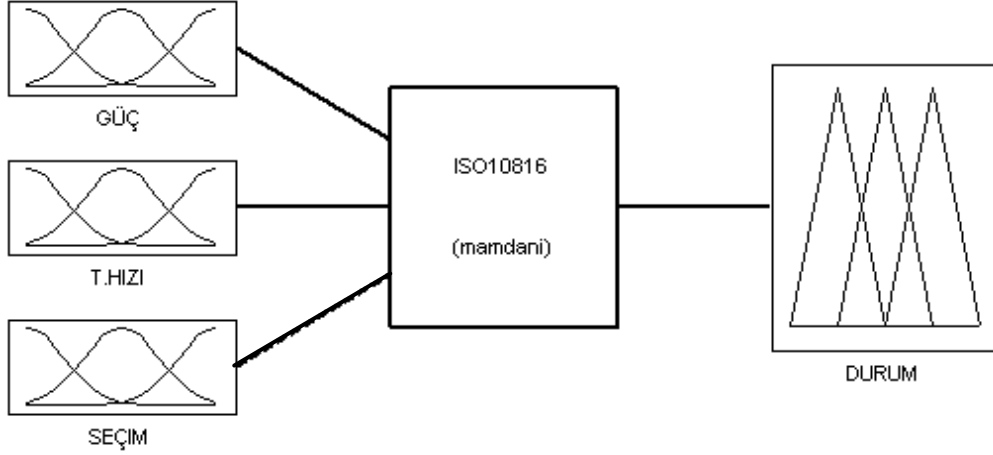
Sınıf III. Ağır tahrik motorları ve rijit ve temel üzerinde ağır döner kütleli makinalar vb.

Sınıf VI. Çok büyük turbo tahrik motorları ve rijit ve ağır temel üzerinde döner kütleli diğer makinalarla ilişkili olarak civarda da titreşimlere sebep olan 10 MW'a kadar ve daha büyük olan turbo jeneratör blokları ve gaz türbinleri vb.

3 Bulanık Mantık Modelinin Oluşturulması

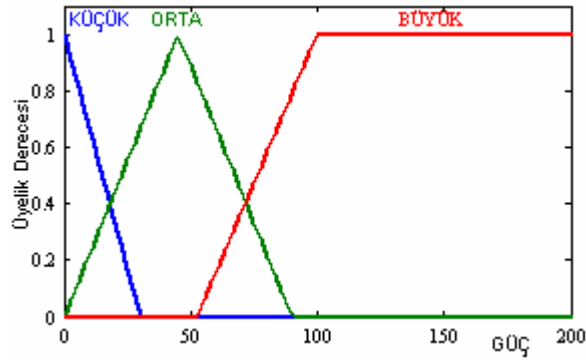
Burada bulanık mantığa, ISO standartlarının ISO-10816-1 referans numaralı "genel makina titreşim değerlendirme tablosunun" uyarlanabilmesi için gerekli olan düzenlemeler yapılmıştır. Buna göre küçük ölçekli makinalar 15 kW 'tan az, orta ölçekli makinalar 15 kW ile 75 kW arası ve büyük ölçekli makinalar 75 kW 'tan büyük olmak üzere üç gruba ayrılmıştır. Üçüncü gruptaki büyük makinalarda kendi aralarında ikiye ayrılmıştır.

Bulaniklaştırma, giriş değişkenleri ile çıkış değişkenlerinin dilsel ifadelerle dönüştürülme işlemi olduğu için ilk yapılacak olan, giriş ve çıkış değişkenlerinin belirlenmesi ve dilsel ifadelerle dönüştürülmesi gerekmektedir. ISO-10816-1 standardı için 3 giriş ve 1 çıkış değişkeni belirlenmiştir. Giriş dilsel değişkenleri olarak “güç”, “titresim hızı” ve “seçim” belirlenmiştir. Çıkış dilsel değişkeni olarak ta makinenin titreşim düzeyini gösteren “durum” seçilmiştir. Şekil 1.

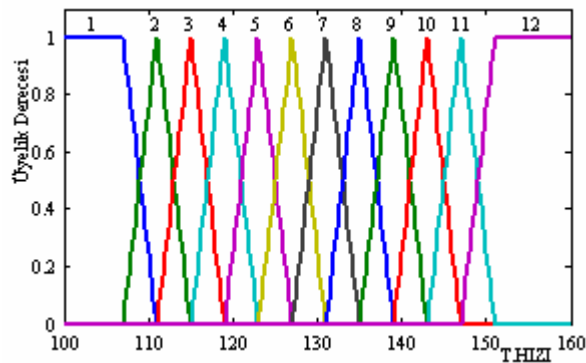


Şekil 1. FIS blok diyagramı

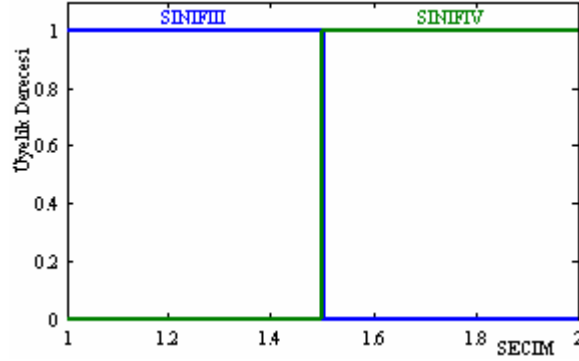
Giriş ve çıkış değişkenlerine dilsel ifadeler verilerek üyelik derecelerinin tespiti yapılmıştır. Makina gücü, titreşim hızı, seçim ve durum dilsel değişkenleri için sırasıyla Şekil 2, Şekil 3, Şekil 4, Şekil 5’de görülen terimler ve üyelik fonksiyonları tanımlanmıştır.



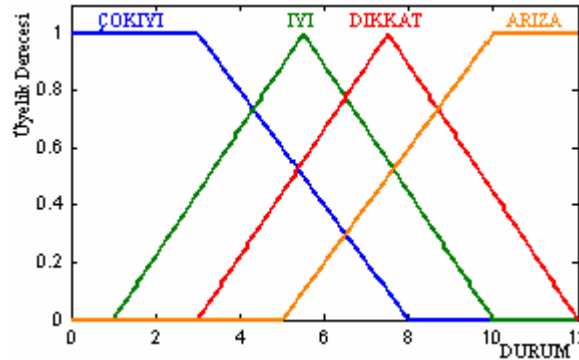
Şekil 2. Makina gücü terimleri ve üyelik fonksiyonları



Şekil 3. Titreşim hızı terimleri ve üyelik fonksiyonları



Sekil 4. Büyük makinalar için seçim terimleri ve üyelik fonksiyonları



Sekil 5. Titreşim düzeyi durumu terimleri ve üyelik fonksiyonları

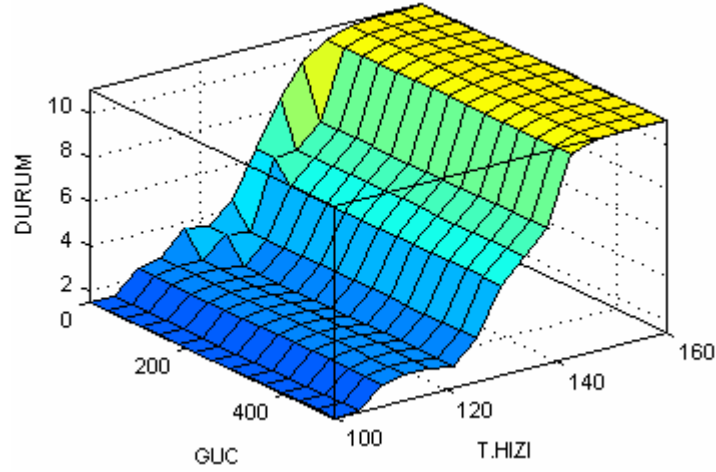
Makinanın titreşim düzeyi durumunu elde edebilmek için 72 adet kural oluşturulmuştur. Oluşturulan bulanık kural tablosu özet olarak Tablo 2’de gösterilmiştir.

Tablo 2. Modele Ait Kural Tablosu

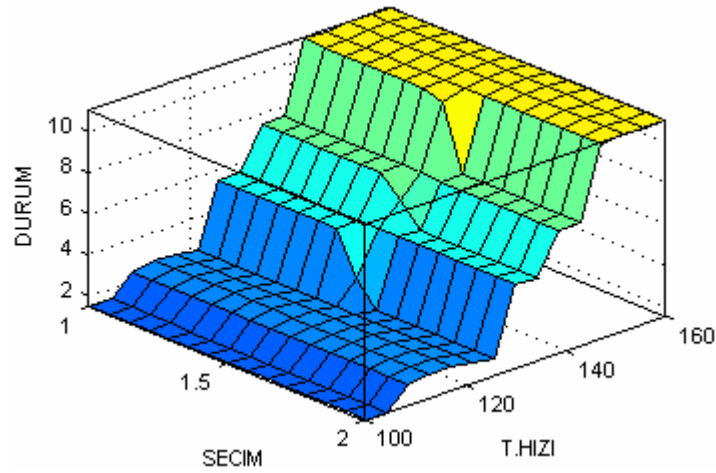
And	Makine gücü				
	Küçük	Orta	Büyük 1	Büyük 2	
Titreşim Hızı	1	Çok iyi	Çok iyi	Çok iyi	Çok iyi
	2	Çok iyi	Çok iyi	Çok iyi	Çok iyi
	3	Çok iyi	Çok iyi	Çok iyi	Çok iyi
	4	İyi	Çok iyi	Çok iyi	Çok iyi
	5	İyi	İyi	Çok iyi	Çok iyi
	6	Dikkat	İyi	İyi	Çok iyi
	7	Dikkat	Dikkat	İyi	İyi
	8	Arıza	Dikkat	Dikkat	İyi
	9	Arıza	Arıza	Dikkat	Dikkat
	1	Arıza	Arıza	Arıza	Dikkat
	1	Arıza	Arıza	Arıza	Arıza
	1	Arıza	Arıza	Arıza	Arıza

4 Sonuçlar

Bu çalışmada kestirimci bakım ve titreşim analizi için “ISO-10816-1 Orta Ölçekli Makinaların Titreşim Değerlendirme Standartları” tablosu bulanık mantık yaklaşımla modellenmiş ve simüle edilmiştir. Berraklaştırma işlemi için maksimumların ortalaması metodu kullanılmıştır. Bulanık kurallar, küçük ve orta sınıf makinalar için giriş-çıkış ilişkileri Sekil 6’da, büyük sınıf makinalar için giriş-çıkış ilişkileri Sekil 7’de görülmektedir.



Sekil 6. Bulanik kural giris -çikis iliskisi



Sekil 7. Bulanik kural giris -çikis iliskisi

ISO 10816-1 sinirlarin içinde kalan ve uzman kisi tarafından olusturulan çeşitli verilerin test edilmesiyle elde edilen ve gerçek tablo degerleriyle karsilastirilan sonuçlar Tablo 3'te görülmektedir. Tablodan görüldüğü gibi sadece 15 kW, 75 kW, 117 dB, 125 dB gibi geçiş degerlerinde sapmalar vardır. Sapmis olan degerlerin durumları bir üst durum olduğu için onlarda istenmeyen sonuç degildir. Hatta bir üst durum olduğu için daha emniyetli bir takip sağlayacaktır.

Tablo 3. Modele Ait Kural Tablosu

GÜÇ	T.HIZI	ISO10816-1	HESAPLANAN	GÜÇ	T.HIZI	ISO10816-1	HESAPLANAN
1	109	COK IYI	COK IYI	100	131	IYI	IYI
5	109	COK IYI	COK IYI	125	135	DIKKAT	DIKKAT
9	109	COK IYI	COK IYI	130	140	DIKKAT	DIKKAT
15	117	COK IYI	IYI	145	143	ARIZA	ARIZA
14	116	COK IYI	COK IYI	155	147	ARIZA	ARIZA
10	118	IYI	IYI	175	129	IYI	IYI
5	124	IYI	IYI	250	149	ARIZA	ARIZA
7	130	DIKKAT	DIKKAT	300	150	ARIZA	ARIZA
8	140	ARIZA	ARIZA	350	132	IYI	IYI
13	150	ARIZA	ARIZA	180	119	COK IYI	COK IYI
20	115	COK IYI	COK IYI	15	125	IYI	DIKKAT
30	120	COK IYI	COK IYI	56	126	IYI	IYI
40	123	IYI	IYI	25	122	IYI	IYI
50	130	DIKKAT	DSKKAT	33	136	DIKKAT	DIKKAT
60	140	ARIZA	ARIZA	42	148	ARIZA	ARIZA
75	137	DIKKAT	ARIZA	290	103	COK IYI	COK IYI
80	110	COK IYI	COK IYI	326	132	IYI	IYI
85	120	COK IYI	COK IYI	475	140	DIKKAT	DIKKAT
90	128	IYI	IYI	425	147	ARIZA	ARIZA

5 Tartisma Ve Öneriler

Bu çalışmayla, her ne kadar bazı kabuller yapilsa bile bulanik mantigin, makinalarin titresim düzeylerini tespit edebilmede kullanilabilirliği gösterilmistir. Bunun için yukarida da görüldüğü gibi matematiksel bir modele ihtiyaç duyulmamistir. Standartlardaki sinir bölgelerindeki titresim siddetlerinin, klasik mantiga göre hangi gruba girdigine tam olarak karar verilemediği durumlarda bulanik mantik o titresim degerinin siddetine bakarak her iki sinir grubuna ne kadar oranda yakin oldugunu gösterebilmesi titresim analizinin daha iyi yapilmasini kolaylastiracaktır. Buda titresim analiziyle hata teshisinde önemli derecede yardımcı olacaktır.

Bu çalışma çerçevesinde titresim analizleri için bir bulanik denetleyici tasarlanabilir. Her bir makinaya özel bulanik mantik modeli tasarlanabileceği gibi kompleks durumlar için her türlü makinayi ve bir çok standardi da içinde barindiran bulanik mantik denetleyicileri tasarlanarak, elde edilecek dotalar bir merkezde toplanabilir. Bu merkezde her bir makinaya ait titresim durumları, zaman unsuru da göz önüne alınarak o makinaya ait ariza durumu zaman grafiklerine dönüştürülebilir. Hatta tek trend grafiği üzerinde bir çok değisik makinanın titresim düzeyleri izlenebilir. Böylece makina sağlığinin titresim seyrini gösteren trend grafikleri elde edilerek kestirimci bakimda da kullanilabilir.

References (Referanslar)

1. Zadeh, A. L. Fuzzy Sets, Information & Control, Vol. 8, S. 185-195,1965.
2. Zadeh, A. L. On Fuzzy Algorihtms, Electron. Res. Lab., Univ. California, Berkeley, Memo. M-325,1971.
3. Elmas Ç., “bulanik Mantik Denetleyiciler”,Seçkin Yayıncılık, Ankara, 2003.
4. Arnaud Devillez, Daniel Dudzinski, “Tool vibration detection with eddy current sensors in machining process and computation of stability lobes using fuzzy classifiers”, Mechanical Systems and Signal Processing, 16 November 2005.
5. Dimitris Skarlatos, Kleomenis Karakasis, Athanassios Trochidis, “Railway wheel fault diagnosis using a fuzzy-logic method”, Applied Acoustics 65 (2004) 951–966.
6. C. K. Mechefske, “Objective Machinery Fault Diagnosis Using Fuzzy Logic”, *Mechanical Systems and Signal Processing*, 12(6), 855-862, Article N. pg879062, 1998.
7. Kumaraswamy. S., Rakesh. J. Ve Amol Kumar N., “Standardization of Absolute Vibration Level and Damage Factors for Machinery Health Monitoring”, Proceedings of VETOMAC-2, 16-18 December, 2002.
8. J. Michael Robichaud, “Reference Standards for Vibration Monitoring and Analysis”, Bretech Engineering Ltd., 70 Crown Street, Saint John, NB Canada E2L 3V6
9. ISO-10816-1,1995, TC 108/SC 2, ICS:17.160, Mechanical vibration, evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts - Part 1: General guidelines.