

YÜKSEK ÇÖZÜNÜRLÜKLÜ TASARLANAN İZLEME YAZILIMI İLE MAKİNE TİTREŞİM ÖLÇÜMÜ

Machine Vibration Measurement With Designed High Resolution Monitoring Software



İsmet GÜCÜYENER*

ÖZET

Titreşim makinaların oluşturduğu yapısal salınımlı hareketlerin sonucunda oluşmaktadır. Çalışan makinaların titreşim değerleri kabul edilir düzeyde olması beklenir. Kabul edilebilir düzeyde olan titreşim değerleri imalatçı tarafından yapılan ön testlerle belirlenir. Makine da birbirine bağlı parçaların zamanla aşınması gevşemesi gibi nedenlerden makine titreşimi artar. Bu nedenle olası arıza durumundan önce makinaların titreşim değerlerinde artış gözlemlenmektedir. Üretim yapılan hemen hemen her fabrikada makine titreşimleri sürekli olarak izlenir. Hassas yapılan titreşim ölçümlerinde arızanın hangi parçadan kaynaklandığı bile ortaya çıkarılabilmektedir. Titreşim ölçümlerinin doğru şekilde yapılması için farklı algoritmalar ve farklı algılayıcılar kullanılmaktadır. Ülkemizde kullanılan titreşim algılayıcıları ve yazılımlar yurt dışından ithal edilmektedir. Bu çalışmada şok algılayıcı kullanılarak titreşim ölçümü araştırılmıştır. Öncelikle tasarlanan sistemin doğru verileri algıladığı bilinen işaretlerin okunmasıyla test edilmiştir. Test işlemlerin sonuçları osiloskop ölçüm değerleri ile doğrulanmıştır. Tasarlanan titreşim ölçüm sistemi, 150 MHz ölçüm yapan osiloskop işaretlerinden daha hassas grafik değerleri oluşturabilmektedir. Hassas grafik değerlerinin önemi makine durumunun ortaya çıkarılması için en az hatalı verilerin ortaya çıkmasını sağlaması durumunda daha belirgin hale gelmektedir. Saha uygulamalarını sağlayacak şekilde titreşim ölçümü yapabilmek için motor test düzeneği oluşturulmuştur. Test düzeneğinde kullanılan DC motorun farklı devirlerinde titreşim ölçüm işlemi gerçekleştirilmiştir. Test sonucunda elde edilen titreşim grafikleri endüstriyel uygulamada kullanılan motor değerlerine uygun olduğu gösterilmiştir. Titreşim algılama için kullanılan şok algılayıcı piezo-elektrik madde kullanarak fiziksel değerleri elektriksel işaretlere dönüştürmektedir. Algılayıcı fiziksel yapısı nasıl olduğu resmedilerek açıklama getirilmiştir. Algılayıcı yapısında kullanılan kristal madde doğada bulunan maddelerden üretilmektedir. Algılayıcı yapısında kullanılan hammadde

kaynağının ülkemizde bulunması durumunda daha hassas algılayıcıların üretimi yapılabilecektir. Algılayıcı temelinde istenilen fiziksel olayı elektriksel değerlere dönüştürmek için kullanılır. Algılayıcı işaret değerlerinin algılanan fiziksel olayı büyük bir elektriksel aralık değerine dönüştürmesi her zaman için elektronik cihazlar için istenen bir durumdur. Endüstriyel ortamda bulunan endüstriyel elektriksel gürültü kaynakları algılayıcı işaretlerini etkileyebilir. Bu durumda yanlış değerlerin ölçülmesi yapılabilir ve makine durumuna ait yanlış bilgiler üretilebilir. Yanlış değerlerin üretilmesi tasarlanan bir sistemi güvenilmez yapar. Bu nedenle kullanılan algılayıcı devresi üzerinde elektromanyetik koruma kalkanı bulunmaktadır. Eğer algılayıcı işaretleri daha büyük bir elektriksel aralıkta değerler üretirse tasarlanacak elektronik sistem daha güvenli olacaktır. Bu çalışmada açıklanan model, yapılacak titreşim işaretleri algılamasında kullanılacak algılayıcı araştırmalarına bir ışık tutacaktır. Piezo titreşim ölçüm işleminde tasarlanan sistemde Visual C++ yazılımı, 16 bit ADC özellikli National Instrument PCI-4451 veri toplama kartı ve BNC-2140 sinyal bağlantı terminali kullanılmıştır. Tasarlanan yazılımda örnekleme frekansı, örnekleme sayısı ve giriş kazancı isteğe bağlı olarak değiştirilebilmektedir. Sistemde öncelikle algılanan analog işaretler dijital değerlere dönüştürülür. Bu dönüştürme işleminde hata payı $\pm 76\mu V$ seviyesindedir. Hata payının küçük olması her zaman tasarlanan sistemin daha güvenilir olmasını sağlar. Elektronik cihazlarda yok edemeyeceğimiz bu hata payı tasarlanan ölçüm sisteminde oldukça küçüktür. Bu özelliği sayesinde laboratuvar ortamında kullanılan bir osiloskop ekranında görülemeyecek sinyal değişimleri izlenebilmektedir. Ayrıca tasarlanan sistemin örnekleme değerinin seçilebilmesi alınan işaretlerin kazancının değiştirilebilmesi tasarlanan sistemin bir başka üstün özelliğini ortaya çıkarmaktadır. Elbette ki daha hassas sistemlerin tasarlanması mümkündür. Fakat bu durumda maliyet caydırıcı şekilde artacaktır. Ölçüm yapılan fiziksel ortamının hiçbir zaman çok temiz bir

laboratuvar olamayacağı açıktır. Hassas cihazların bu ortamlarda kullanılması ısı değişimi, nem, toz, titreşimli ortam gibi nedenlerle hemen hemen imkansızdır. Ayrıca algılayıcı kullanımını sağlayacak profesyonel yazılımlar yazılım ücreti ve güncelleme ücreti ve proje uygulama ücreti gibi maliyetleri getirmektedir. Yapılan tasarım ucuz maliyetli hem fabrika ortamında hem de normal şartlara sahip hassas olmayan laboratuvar uygulamalarında kullanıma elverişli esnek yapıda bir titreşim ölçüm sistemi sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Şok Algılayıcı, Makine Titreşimi, Visual C++ Programlama Dili.

ABSTRACT

Vibration is formed as a result of the oscillating movements created by the machines. The vibration values of the running machines are expected to be at an acceptable level. Acceptable vibration values are determined by preliminary tests by the manufacturer. In the machine, the vibration of the machine increases due to the wear and tear of the interconnected parts over time. Therefore, an increase in the vibration values of the machines is observed before the possible malfunction. Machine vibrations are constantly monitored in almost every factory that is produced. In sensitive vibration measurements, it can even be revealed from which part the malfunction is caused. Different algorithms and different sensors are used to make vibration measurements accurately. Vibration sensors and software used in our country are imported from abroad. In this study, vibration measurement was investigated by using shock sensor. Primarily, the designed system was tested by reading the signs known to perceive correct data. The results of the test procedures were verified with the oscilloscope measurement values. The designed vibration measurement system can create more precise graphic values than oscilloscope marks measuring 150 MHz. The importance of sensitive graphic values emerges if it provides the least erroneous data to reveal the machine condition. An engine test setup has been created to measure vibration so as to provide field applications. Vibration measurement was carried out at different speeds of the DC motor used in the test setup. The vibration graphics obtained as a result of the test have been shown to be compatible with the motor values used in industrial application. The shock sensor used for vibration sensing converts physical values into electrical signals using piezo-electric substance. An explanation is made by illustrating how the sensor's physical structure is. The crystal substance used in the sensor structure is produced from substances found in nature. If the raw material source used in the sensor structure is found in our country, more sensitive sensors can be produced. It is used to convert the

desired physical event into electrical values on the basis of the sensor. It is always desirable for electronic devices that sensor signal values convert the sensed physical event into a large electrical range value. Industrial electrical noise sources in the industrial environment can affect sensor signals. In this case, the wrong values can be measured and wrong information about the machine condition can be produced. Generating false values makes a system unreliable. Therefore, there is an electromagnetic shielding shield on the sensor circuit used. If the sensor marks produce values in a larger electrical range, the electronic system to be designed will be safer. The model described in this study will shed light on the sensor researches that will be used to detect vibration marks. In the system designed for piezo vibration measurement process, Visual C ++ software, 16 bit ADC capable National Instrument PCI-4451 data acquisition card and BNC-2140 signal connection terminal were used. In the designed software, sampling frequency, sampling number and input gain can be changed optionally. In the system, the detected analog signals are converted into digital values. The margin of error in this conversion process is $\pm 76\mu V$. The small margin of error always ensures that the designed system is more reliable. This margin of error, which we cannot eliminate in electronic devices, is quite small in the designed measurement system. Thanks to this feature, signal changes that cannot be seen on an oscilloscope screen used in a lab environment can be monitored. In addition, selecting the sampling value of the designed system and changing the gain of the received signals reveals another superior feature of the designed system. Of course, it is possible to design more sensitive systems. But in this case, the cost will increase as a deterrent. It is clear that the physical environment under measurement will never be a very clean laboratory. The use of sensitive devices in these environments is almost impossible due to heat exchange, humidity, dust, vibrating environment. In addition, professional software that will provide sensor detection brings costs such as software fee and update fee and project application fee. The design provides a flexible cost-effective vibration measurement system suitable for use in both factory environment and non-sensitive laboratory applications with normal conditions.

Keywords: Shock Sensor, Machine Vibration, Visual C++

GİRİŞ

Endüstriyel üretim aşamasındaki kullanılan makineler için bakım işlemleri üretimin sürekliliği açısından oldukça önemlidir. Bakım yapılmadan

çalışmaların devam ettirilmesi beklenmedik üretim durmalarına, aşırı kullanımdan dolayı maddi hasarlı kazalara ve hatta çalışanların zarar görmesine kadar kötü sonuçlar oluşturabilir. Bu nedenle fabrikalarda bakım işlemleri için temel olarak periyodik ve kestirimci bakım gibi farklı yöntemler kullanılmaktadır. Periyodik bakım dönemi uygulamasında üretim işlemine belli bir süre ara verilmektedir. Bu yöntem uygulamasında üretimin ara verilmesinden dolayı ortaya çıkacak maliyetin göz önüne alınması gerekir. Periyodik bakım işlemi tamamlanan bir makinenin tekrar devreye alınması belli bir sürecin uygulanmasını gerektirir. Bu nedenlerle periyodik bakım işlemleri üretim ortamlarında zorunlu olmadıkça tercih edilmemektedir. Kestirimci bakım uygulamalarında makine titreşim verileri sürekli izlenir ve çalışan makinenin ne zaman arıza yapacağı ve hangi parçasından kaynaklanan arıza olabileceği kestirilmeye çalışılır. Bu sayede arızadan kaynaklanan üretim aksamalarının, maddi kayıpların ve çalışanın zarar görmesi gibi kötü sonuçların önceden önlenmesi amaçlanır.

Makineler kendi yapılarındaki hareketli mekanizmalardan kaynaklanan titreşim işaretlerini üretirler. Önlenemez olan bu titreşim değeri her makineye uygun kabul edilebilir değerde olmasında bir sakınca yoktur. Fakat arızalar ve gevşekliklerin artması bu titreşim değerlerini yükseltir. Bu nedenle makinelerin titreşim işaretlerinin izlenir olması arıza oluşmadan gerekli tedbirlerin alınmasını sağlar. Teknolojinin gelişimi ile titreşim değerlerinin algılanması için farklı algılayıcı yapıları kullanılmıştır. Endüstriyel ortamda kullanılan sensor yapılarını (a) Lead zirconate titanate (PZT) temelli piezoelektrik algılayıcılar (Salam ve diğ., 2015), (b) bobin içinde hareket eden mıknatısların kullanıldığı elektromanyetik algılayıcılar (Yamamoto ve diğ., 1997), (c) Lazer ve fiber optiğin kullanıldığı optik algılayıcılar (Gücüyener ve Emel 2009) şeklinde sınıflandırabiliriz.

a. Piezoelektrik Algılayıcılar: Bu algılayıcıların maliyeti düşüktür. İstenilen boyutlarda üretim yapılabildiğinden kullanım alanları oldukça geniştir. Elektromanyetik koruma önlemleri sağlandığında çevre şartlarına karşı duyarsızdır.

b. Elektromanyetik Algılayıcılar: Algılayıcının algılamasını sağlayacak sabit kaynak beslemesi oldukça önemlidir. Elektromanyetik gürültüye hassastır. Çoğunlukla gyro algılayıcı uygulamalarında açılabilir değişimleri hissetmek için tercih edilmektedir. Kullanım alanı mutlaka bu algılayıcı yeterli alanı sağlamalıdır.

c. Optik Algılayıcılar: Lazer tipli olanlar lazer yansıma miktarını titreşim değerine dönüştürürler. Bu nedenle lazer ışık kaynağının bulunduğu nokta sabit olmalıdır. Fiber türlerinde ise fiber içinde ilerleyen ışığın titreşimle oluşan çok küçük kıvrımlardan kaynaklan

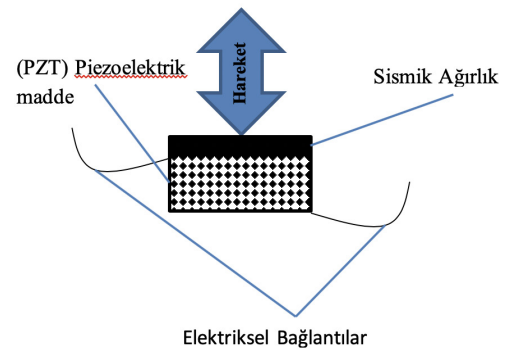
gönderilen ışığın azalma miktarına göre titreşim işaretlerini elektriksel değere dönüştürürler. Bu algılayıcılarda lazer ışık kaynağının sabit sıcaklıkta tutulabilmesi için ek devrelerin bulundurulması zorunludur. Ayrıca uygulama alanına göre mutlaka hassas kalibrasyona ihtiyaç duyarlar.

Bu çalışmada kullanılan piezo yapıdaki şok titreşim algılayıcı diğerlerine göre daha az maliyetli, kullanıldığı ortama göre boyutlarının farklılık göstermesi ve ortam şartlarından daha az etkilenmesi gibi üstünlükler göstermektedir.

PİEZO YAPILI ALGILAYICILAR

Elektriksel İşaretlerin üretilmesi

Uygulanan mekanik hareket değeri, piezoelektrik maddenin kristal yapısı şeklini değiştirir. Kristal yapının şekil değiştirmesi piezo maddenin elektriksel yük değeri değişimine neden olur. Bu sayede piezoelektrik madde mekanik hareketleri elektriksel işaretlere dönüştürür. Piezoelektrik madde kuvvet değerine göre değil, kuvvet değişim değerine göre elektriksel işaretler üretir. Bu nedenle bu tür algılayıcılara yazılı kaynaklarda şok algılayıcı ismi verilmektedir. Elektriksel işaret değerinin oluşması sabit yay ile sabitlenmiş sismik ağırlık tarafından gerçekleştirilir. Resim 1 de gösterilen basit algılayıcı yapısında gösterilen sismik ağırlık algılayıcının algılama yapacağı maksimum titreşim frekansını belirleyecektir (<https://www.machinedesign.com>, 2020). Ağırlığın kendi doğal frekansında üretilen elektriksel işaretler hareket bilgisini göstermeyeceğinden algılayıcı işaretlerini şekillendirecek olan elektronik bileşenler böyle bir sonucu engellemek için kullanılmaktadır. Algılayıcının ürettiği ivme bilgisi Newton'un ikinci hareket kuralında belirtilen denkleme göre oluşmaktadır (1). İvme değeri g (9,81 m/s²) değerine karşılık gelen voltaj değeri ile belirtilmektedir. Bu çalışmada kullanılan piezoelektrik şok algılayıcı $\pm 10g$ değeri 0-5V aralığında değerlerle göstermektedir.



Resim1. Piezoelektrik Algılayıcı Fiziksel yapısı

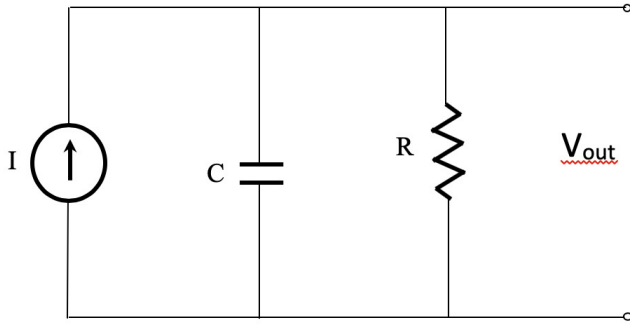
Denklem (1)'de F uygulanan kuvvet, m sismik ağırlık

kütle değerini a ise hareketin oluşturduğu ivme değerini göstermektedir. Piezoelektrik şok algılayıcının anlık ivme değerlerini elektriksel işaretlere dönüştürülmesi için elektriksel yükselteç devrelerinin ve filtre devrelerinin kullanılmasını gerektirir. Genellikle bu devreler algılayıcıya en yakın mesafede ve manyetik gürültü önleyici kalkan kılıfı içinde bulunmaktadır.

$$\vec{F} = m\vec{a} \quad (1)$$

Şok Algılayıcı Elektriksel Modeli

Şok algılayıcı üzerine uygulanan kuvvet değeri kristal yapıda değişikliğe uğrattığından yük değişimine neden olur. Resim 2 de şok algılayıcı elektriksel eşdeğeri gösterilmektedir. Şekil 2'de I akım kaynağı hareketin uygulanmasından sonra oluşan ve bunun sonucunda piezo madde içindeki değişen elektriksel yük değerinden kaynaklanmaktadır denklem (2). Elektriksel yük değerindeki değişim oldukça küçük değerlere sahiptir. 1 Newton'luk bir kuvvet değeri 100 pikoCoulomb (pC) değerinde bir yük değişimine neden olur.



Resim 2. Piezoelektrik Elektriksel Eşdeğeri

Bu küçük değişim miktarı kullanılabilir elektriksel işaretlere dönüştürülmesi için yükselteç devreleri ile yükseltilmesi gereklidir.

$$I = \frac{dQ}{dt} \quad (2)$$

I akım değeri dQ/dt değerine, C kapasite değeri iletkenlerin bağlı olduğu plakaların oluşturduğu kapasite değeridir. Kapasite üzerinde biriken voltaj değeri sonsuz süreli olmadığından kapasitenin boşaldığı yük değeri R ile gösterilmektedir. Kondansatör gerilim değeri denklem (2) ile hesaplanırsa, kondansatör gerilimine eşit olan çıkış voltaj değeri denklem (3) ile hesaplanabilecektir.

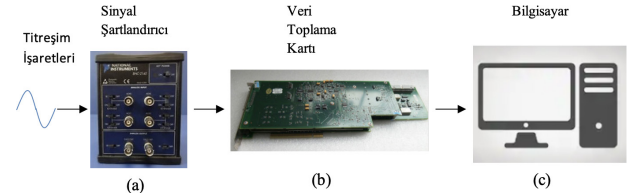
$$V_c = \frac{1}{C} \int I_c dt \quad (2)$$

$$V_{out} = \frac{1}{C} \int_0^Q \frac{dQ}{dt} dt = \frac{Q}{C} \quad (3)$$

MATERYAL VE YÖNTEMTİTREŞİM ÖLÇÜM SİSTEMİ

Resim 3'te Titreşim ölçümü için gerçekleştirilen veri toplama sistemi gösterilmektedir. Şok algılayıcıdan

alınan titreşim işaretleri elektriksel değeri National Instrument BNC-2140 sinyal bağlantı terminaline bağlanmaktadır. Terminal gürültü önleyici sistem ile alınan işaretleri bilgisayar PCI slot'una takılı bulunan National Instrument PCI-4451 kartına göndermek için kullanılmaktadır. PCI-4451 kartı alınan analog işaretleri 16 bitlik çözünürlükte (yaklaşık 0,76 mikroVolt voltaj aralığında) dijital işaretlere dönüştürmektedir. Dijital işaretler tasarlanan görüntüleme yazılımı ile görsel hale getirilmektedir.



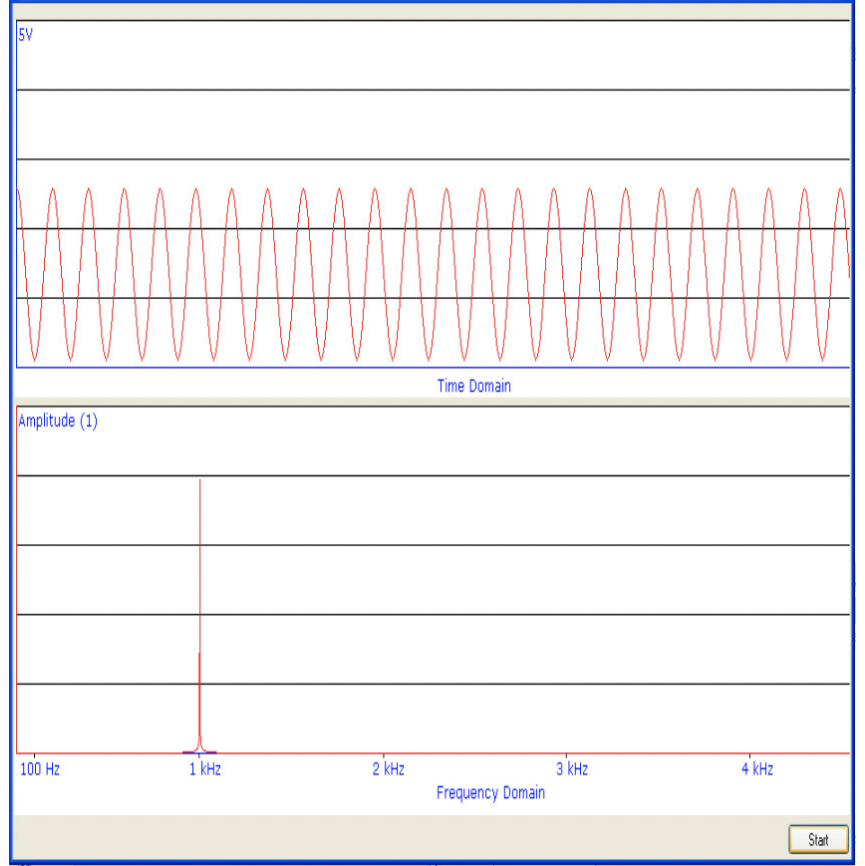
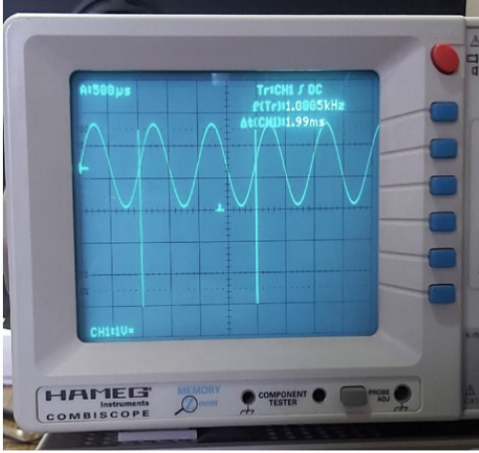
Resim3. Titreşim Ölçüm Sistemi;

- a) BNC 2140 <(https://www.artisanng.com/TestMeasurement/55024-92/National_Instruments_BNC_2140_DSA_Signal_Conditioning_Accessory)>
b) PCI 4451 <(<https://www.ebay.com/itm/National-Instruments-NI-PCI-4451-185014-01-PCI-4451-/323592622518>)>
c) Bilgisayar <(<https://www.shutterstock.com/tr/search/icon+computer>)>

Tasarlanan Görünteleme Yazılımı ve Görsel Sonuçlar

Visual C++ dilinde tasarlanan yazılımı National Instrument PCI-4451 kartına ulaşarak dijital verileri okur ve titreşim işaretlerinin görüntülenmesini sağlar. Grafik ön yüzünde veri okuma işlemi başlatılır ve titreşim işaretlerinin sinyal görüntüsünü ve hangi frekans bileşenlerine sahip olduğu gösterilir. Sinyal değerinin dijital değerlere taşınması için gerekli örnekleme hızı ve örneklenen veri sayısı yazılım içinde istenen değerle seçilebilir. Ayrıca algılanan işaretin gerilim seviyesinin istenen değer aralığında gösterilebilmesi için giriş kazancı ayarı tasarlanan yazılımda değiştirilebilmektedir. Uygulanabilecek maksimum örnekleme hızı PCI kart üst sınır değeri olan saniyede 204000 değerine sahiptir. Yavaş değişen analog değerler için çok fazla örnekleme gereksiz olduğundan örnekleme hızı sinyal giriş frekansı dikkate alınarak seçilebilir. Programda yapılan görüntüleme işlemi tasarlanan yazılıma özgüdür, herhangi bir paket program kullanılmamıştır. Resim 4 de yazılımın doğruluğunu gösteren bir örnek bulunmaktadır. İşaret üretici üzerinde sinüs işaretinin frekansı bulunmaktadır. Osiloskop ekranında işaret üretici sinyal şekli ve frekans değeri gösterilmektedir. Aynı işaretin tasarlanan yazılımda görüntülenmesi birebir

aynı olması nedeniyle yazılımın doğru çalıştığı bu sonuçtan anlaşılabilir.



Resim 4. Görsel ekranda test işaret görüntüsü

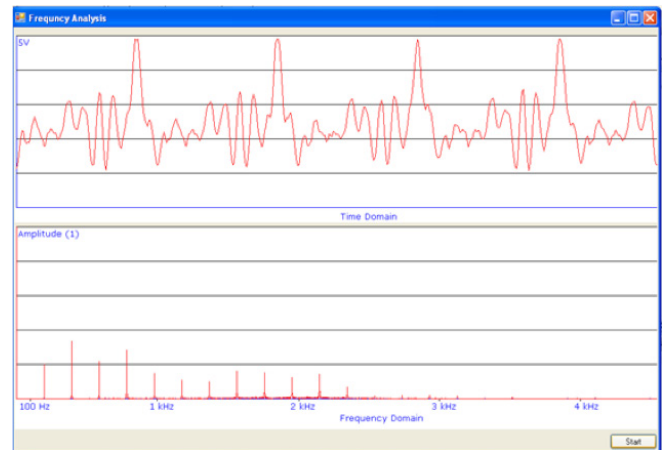
Makine titreşim test düzeneği Resim 5 de gösterilmiştir. Bu deney düzeneğinde DC motor, motor dış yüzeyine yapıştırılmış şok titreşim algılayıcısı, titreşim algılayıcı sabit kaynak düzenleyici devresi ve motor devir ayarını değiştirecek olan ayarlı güç kaynağı bulunmaktadır.



Resim 5. Motor Titreşim Ölçümü Test Düzeneği

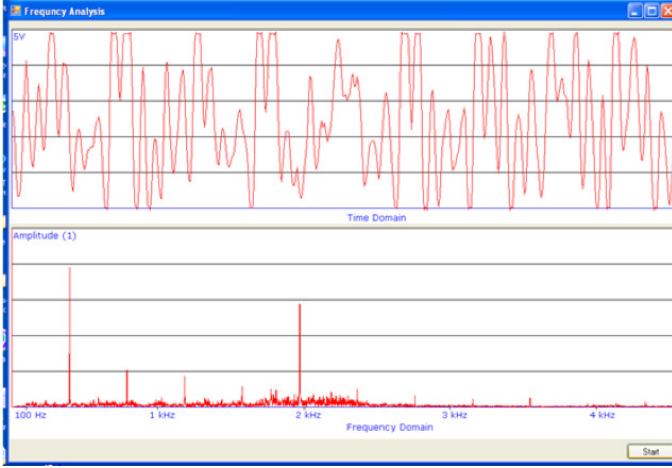
Resim 6 ve Resim 7 de 2 değişik motor devir ayarlarında alınan titreşim işaretleri gösterilmektedir. Şekil 6 da motor devri 9875 devir/dk' dır. Time Domain penceresinden

görülen 0-5V aralığındaki algılayıcı çıkış işaretleri henüz doyum değerine ulaşmamıştır. Titreşim frekanslarına duyarlılığı gösteren 300 ile 400 frekans aralığındaki frekans bileşeni görünür hale gelmeye başlamıştır.



Resim 6. 9875 devir/dk Motor Titreşim Ölçüm Sonucu

Bu çalışmada uluslararası standartlara (Yayın Etiği Komitesi'nin (COPE) belirlediği etik ilkeler. <https://publicationethics.org/>) uyulmuş ve konunun içeriği gereği etik raporuna ihtiyaç duyulmamıştır.



Resim 7. 19750 devir/dk Motor Titreşim Ölçüm Sonucu

SONUÇ

Endüstriyel ortamda sağlıklı üretimin yapılabilmesi için çalışan makinelerin durumunun sürekli izlenmesi gerekmektedir. Makine durum bilgisini elde etmek için en çok kullanılan yöntem makine titreşimlerinin izlenmesidir. Bu çalışmada maliyeti ucuz olan bir şok titreşim algılayıcı kullanılarak titreşim değerlerinin elde edilebildiği ve frekans analizinin yapılabildiği gösterilmiştir. Tasarlanan sistem yüksek çözünürlükte (16 bit Analog dijital dönüştürücü), örnekleme frekansı örnekleme sayısı seçilebilen, giriş kazanç değeri değiştirilebilen kendine özgün yapıdadır. Gelişen teknolojide kullanılan yazılımlar maliyetli olmakta ve bir başka şirkete yada bir başka ülkeye bağımlılığı arttırmaktadır. Sonuçta kullanılan ucuz maliyetli donanım malzemelerinin tasarlanan yazılımla kullanılabileceği ve analiz işleminin hassas bir şekilde gerçekleştirilebileceği gösterilmiştir.

KAYNAKLAR

Salam, A., Makhlof, H., and ScharnweberOwen, D. (2015) Handbook of Nanoceramic and Nanocomposite Coatings and Materials, Elsevier, Oxford.

<https://www.machinedesign.com/mechanical-motion-systems/article/21837036/whats-the-difference-between-vibration-sensors>, Erişim Tarihi: 27-01-2020, Konu: What's the Difference Between Vibration Sensors?

Yamamoto, Y., Eda, H., Mori, T., ve Rathore, A. (1997). Three-dimensional magnetostrictive vibration sensor: development, analysis, Journal of Alloys and Compounds 258 (1997), 107-113

Güçüener, İ., ve Emel, E. (2009). A Fiber-Optic Bending Sensor for the Vibration Monitoring, Solid State Phenomena Vols. 147-149 (2009), 627-632.

<https://www.allaboutcircuits.com/technical-articles/understanding-and-modeling-piezoelectric-sensors>, Erişim Tarihi: 01. 02. 2020, Konu: Piezoelectric-Sensors

<https://www.fierceelectronics.com/components/principles-acceleration-shock-and-vibration-sensors> Accessed Date: 08-01-2020, Konu: Principles of Acceleration, Shock, and Vibration Sensors

<https://www.allaboutcircuits.com/technical-articles/understanding-and-implementing-charge-amplifiers-for-piezoelectric-sensors>, Erişim Tarihi: 01. 02. 2020, Konu: Charge Amplifiers for Piezoelectric-Sensors

<https://www.shutterstock.com/tr/search/icon+computer>, Erişim Tarihi: 11. 01. 2020, Konu: Bilgisayar ikonu

<https://www.ebay.com/itm/National-Instruments-NI-PCI-4451-185014-01-PCI-4451-/323592622518>, Erişim Tarihi: 01. 01. 2020, Konu: PCI 4451 resmi

https://www.artisantg.com/TestMeasurement/55024-92/National_Instruments_BNC_2140_DSA_Signal_Conditioning_Accessory, Erişim Tarihi: 01. 01. 2020, Konu: BNC 2140 resmi

Hsu, C.-N., Lin, Y.-C., Yang, C.-C., Tsai, H.-Y., Huang, K.-C., Tseng, S.-F., ve diğ. (2019). Low-Cost Vibration and Acceleration Sensors Module for the Drilling Processes Monitoring. 2019 IEEE Sensors Applications Symposium (SAS) (s. 1-5). Sophia Antipolis, France: doi: 10.1109/SAS.2019.8705991

Li, Y., Wang, Y., Cao, Q., Cao, J., ve Qiao, D. (2020). A Self-Powered Vibration Sensor With. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 560-568.

Bhuvana S., Prathiksha H., Vasudha H. (2018). Design and Analysis of Piezoelectric Cantilever Based Vibration Sensor. 2018 IEEE International Conference on System, Computation, Automation and Networking (ICSCA) System, Computation, Automation and Networking (ICSCA). Pondicherry: doi:10.1109/icscan.2018.8541161.

Silva, M. D., Dayananda, A., ve Adikary, U. (2019). Development of Piezoelectric Vibration Sensor to Analyze Building Vibrations. 2019 Moratuwa Engineering Research Conference (MERCon), Moratuwa, Sri Lanka (s. 72-77). Moratuwa: doi:10.1109/MERCon.2019.8818772.

Thin, D. T., Quan, N. B., & Maneetien, N. (2018). Implementation of Moving Average Filter on STM32F4 for Vibration Sensor Application. 2018 4th International Conference on Green Technology and Sustainable Development (GTSD) (s. 627-631). Ho Chi Minh City: doi:10.1109/gtsd.2018.8595630