



**T.C.  
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ  
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ  
MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ**

**MEKATRONİK LABORATUVARI – I**

**MEKANİK TİTREŞİMLER DENEYİ**

**DENEY SORUMLUSU  
Arş. Gör. Dr. Şaban ULUS**

**ŞUBAT 2023  
KAYSERİ**

## MEKANİK TİTREŞİMLER DENEYİ

### 1. GİRİŞ

Titreşim dinamiğin bir alt kolu olup tekrarlanan hareketler ile ilgilendir. (Kulak zarı ve ilgili mekanizma işitme işlemini gerçekleştirmek amacı ile titreşir, dil ve ses telleri konuşmak için titreşir). Müzikal enstrümanların birçoğunda, özellikle telli enstrümanlarda, titreşim istenilen bir olaydır. Diğer taraftan titreşim birçok mekanik sistem için istenmeyen, bazı durumlarda da yıkıcı bir durumdur. Örneğin; uçak gövdesindeki titreşimler yorulmaya neden olur ve sonuç olarak hasara yol açar. Deprem kaynaklı titreşimler binalarda çatlaklara ve hasarlara sebep olabilir.(1)

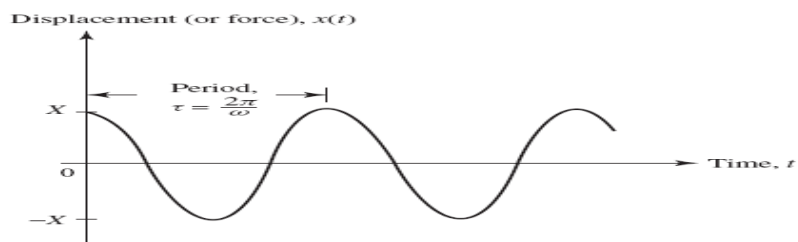
Titreşim, bir parçacık, kütle veya kütlelerden oluşan bir sistemin denge konumu etrafındaki yer değiştirme hareketleridir. Titreşim, makinelerde çoğunlukla istenmeyen bir özelliktir, çünkü titreşim, gerilmeyi, enerji kayıplarını, aşınmayı, rulmanlara gelen yükleri, yorulmayı artırır. Bunun yanında, taşıtlarda yolcu konforu azalırken, sistemlerde enerjiyi absorbe etmektedir. Bu nedenle, dönen makine elemanlarının hasarını önlemek için iyi bir şekilde dengelenmesi ve ölçümlerinin yapılabilmesi gerekmektedir.

### 2. DENEYİN AMACI

Deney, titreşimin önemine vurgu yaparak, titreşim ölçüm aletlerinin tanınması, titreşim ölçümünün yapılaş şekli ve yorumlanması, günümüzde hangi amaçlarla kullanıldığı, diğer yöntemlerle olan ilişkisi gibi konular işlenerek uygulanacaktır.

### 3. TİTREŞİMLER

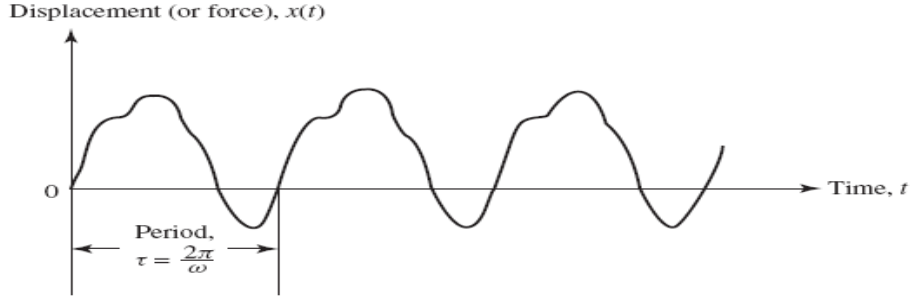
Titreşim teorisi cisimlerin ve ilgili kuvvetlerin salınımlı (oscillatory) hareketleri ile ilgilendir. Şekil 1'de görülen salınımlı hareket Harmonik Hareket olarak adlandırılır ve aşağıdaki formül ile ifade edilir.



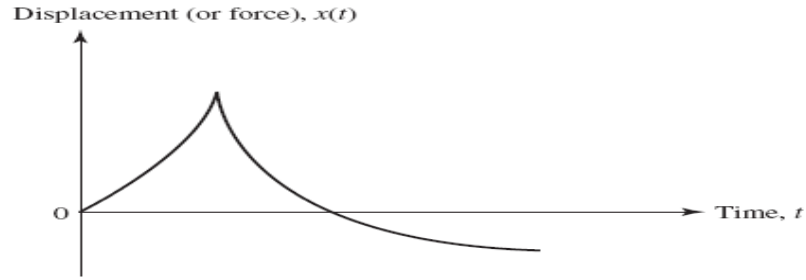
Şekil 1. Basit Harmonik Hareket

$$x(t)=X.\cos(\omega t)$$

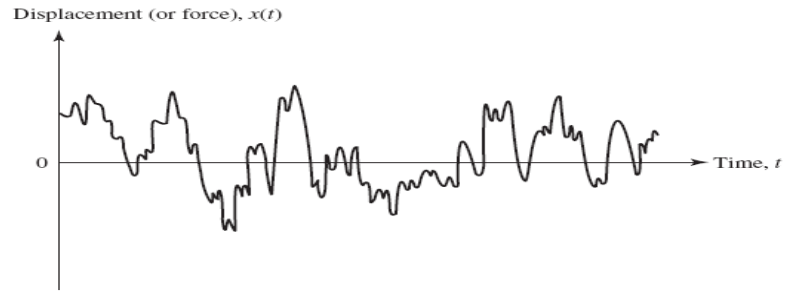
Burada  $X$  hareketin genliği,  $\omega$  hareketin frekansı ve  $t$  zamandır. Şekil 2’de periyodik hareket, Şekil 3’de periyodik olmayan veya geçici (transient) hareket, Şekil 4’de ise gelişigüzel veya uzun zamanlı periyodik olmayan hareket eğrileri görölmektedir.



**Şekil 2.** Periyodik Hareket



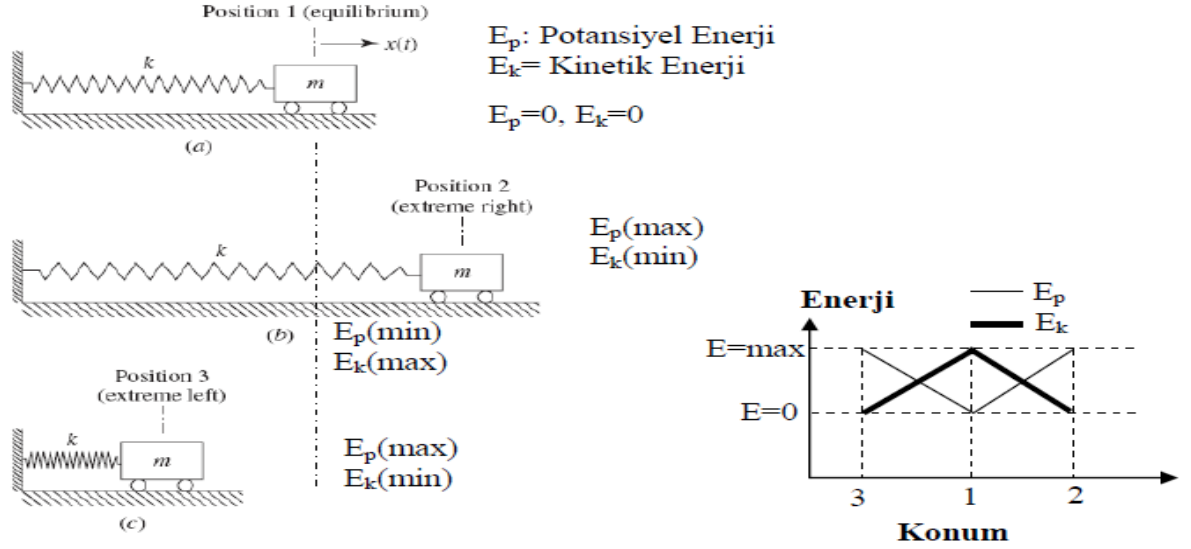
**Şekil 3.** Geçici (Transient) Hareket



**Şekil 4.** Gelişigüzel veya uzun zamanlı hareket

Titreşim olayı potansiyel enerjinin kinetik enerjiye, kinetik enerjinin ise potansiyel enerjiye dönüşümünü içermektedir. Bu nedenle titreşim yapan sistemler potansiyel enerji ve kinetik enerji depolayan elemanlara sahip olmalıdır. Potansiyel enerji depolayan elemanlar yay veya elastik elemanlar, kinetik enerji depolayan elemanlar ise kütle veya atalet elemanlarıdır. Elastik elemanlar potansiyel enerji depolar ve bu enerjiyi atalet elemanına

kinetik enerji olarak geri verir. Şekil 5’de bir kütle yay sisteminin denge konumu etrafındaki hareketi görülmektedir.



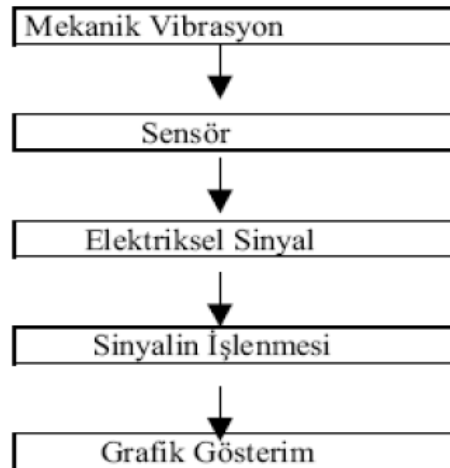
Şekil 5. Yay-Kütle Sisteminin Hareketi

#### 4. TİTREŞİM ÖLÇÜMÜ

Titreşim ölçümü oldukça kapsamlı bir konudur ve mekanik, elektrik ve elektronik bilgisi içeriklidir. Titreşim ölçümlerinde titreşim genliği (yer değiştirme-displacement, hız-velocity ve ivme-acceleration) ile titreşim frekansı bilgilerine ulaşmak temel amaçtır.

##### 4.1. TİTREŞİM ÖLÇÜM ARAÇLARI

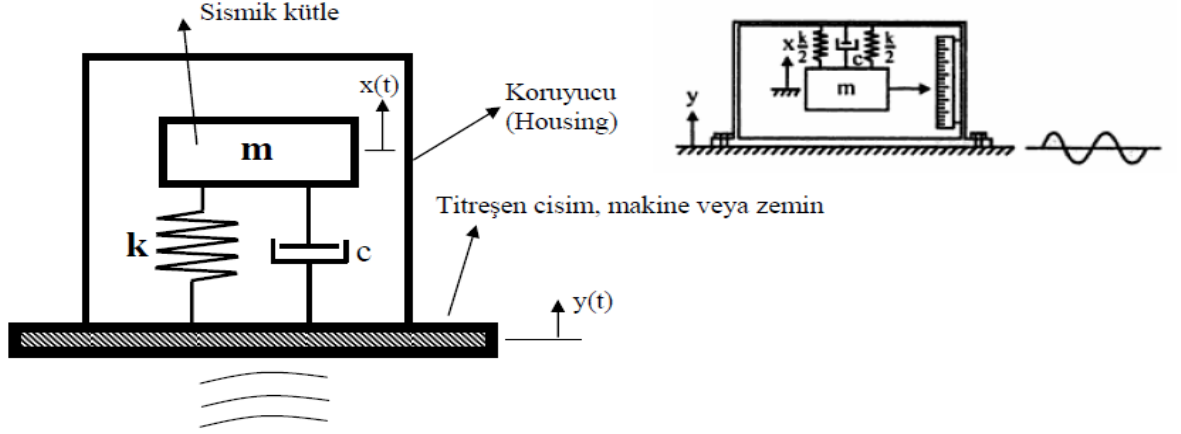
- Deplasman ölçerler
- Hız ölçerler
- İvme ölçerler
- Sinyal kuvvetlendiriciler
- Frekans çözümleyiciler
- Titreşim ölçüm ve analizörleri



#### 4.1.1. Sismik Araçlar (Seismic instruments)

##### Sismometre (Seismometer):

Titreşen sistemlerdeki titreşim hareketinin zamana bağlı değişimi sismik cihazlar kullanılarak ölçülebilir ve kayıt edilebilir. Bir sismik algılayıcının (sensörün) şematik resmi aşağıda verilmiştir.



Şekil 4.1. Sismik Algılayıcının Şematik Resmi

Sismik cihazın bağlandığı cisim hareket ettikçe sismik kütle de hareket eder. Titreşen cismin titreşim hareketinin tek frekanslı harmonik bir formda olduğunu düşünür isek,

$$y(t) = Y * \sin(\omega t) , \quad \dot{y}(t) = \omega * Y * \cos(\omega t) , \quad \ddot{y} = -\omega^2 * Y * \sin(\omega t)$$

Sismik cihaz (enstrüman) sismik kütle ile zemin hareketi arasındaki farkı ölçer. Bu farkı

$$z = x - y \text{ şeklinde ifade eder isek } \dot{z} = \dot{x} - \dot{y} \text{ ve } \ddot{z} = \ddot{x} - \ddot{y}$$

Sismik kütleyle ait hareket denklemi aşağıdaki gibi elde edilebilir:

$$m\ddot{x} + c(\dot{x} - \dot{y}) + k(x - y) = 0$$

$$\ddot{x} = \ddot{z} + \ddot{y} \text{ yerine konur ve}$$

$$m\ddot{z} + c\dot{z} + kz = -m\ddot{y} = m\omega^2 Y \sin \omega t$$

$$\ddot{z} + \frac{c}{m}\dot{z} + \frac{k}{m}z = \omega^2 Y \sin \omega t$$

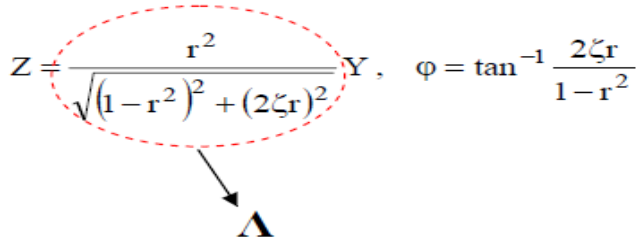
$$\ddot{z} + 2\zeta\omega_n \dot{z} + \omega_n^2 z = \omega^2 Y \sin \omega t$$

Bağıl harekete göre yazılan yukarıdaki hareket denklemi zorlama genliğinin zorlama frekansının karesi ile orantılı olduğu harmonik zorlama durumuna karşılık gelmektedir ve cevap aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$z(t) = Z * \sin(\omega t - \varphi) ,$$

Burada Z bağıl titreşim genliği ve faz açısı aşağıdaki gibi ifade edilir.

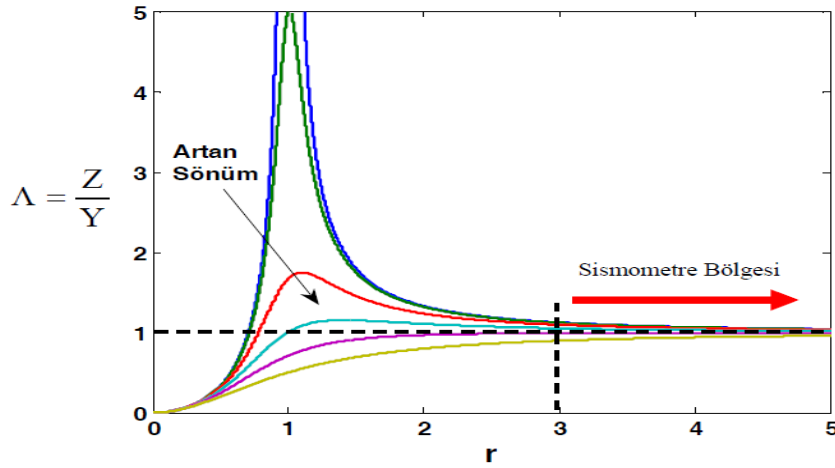
$$Z = \frac{r^2}{\sqrt{(1-r^2)^2 + (2\zeta r)^2}} Y, \quad \phi = \tan^{-1} \frac{2\zeta r}{1-r^2}$$



$$H = \frac{1}{\sqrt{(1-r^2)^2 + (2\zeta r)^2}} \quad (\text{Büyütme faktörü})$$

$$\Lambda = r^2 H, \quad r = \frac{\omega}{\omega_n} \quad (\omega\text{-zorlama frekansı, } \omega_n\text{-Sismik kütlelerin doğal frekansı})$$

$$Z = \Lambda Y$$

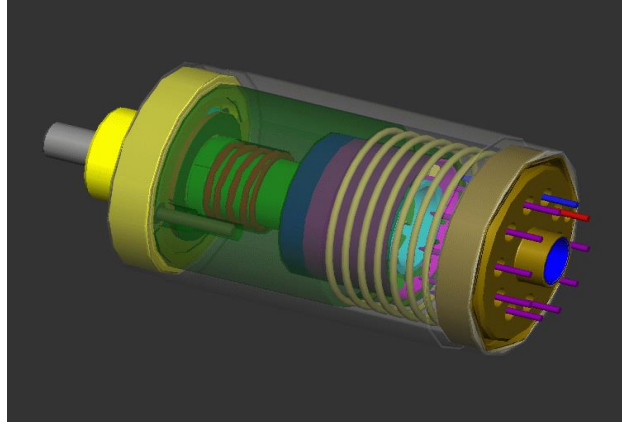


**Şekil 4.2** Frekans oranına bağlı olarak  $\Lambda$ 'nın değişimi

Görüldüğü gibi  $r > 3$  frekans oranları için sönüm oranından bağımsız olarak bağıl yer değiştirme genliği ile zemin (titreşen cisim) yer değiştirme genliği oranı yaklaşık 1 olmaktadır (belli bir hata payı ile). Bu durumda zemin yer değiştirmesi ile sismik kütle yer değiştirmesi arasında sadece bir faz farkı vardır ve bu faz farkı genel olarak tek frekanslı titreşimler için önemli değildir. Titreşim ölçüm cihazları bağıl hareket ile orantılı sinyal çıkışı sağlamaktadırlar. Dolayısı ile büyük frekans oranları için ( $r > 3$ ) bağıl yer değiştirme genliği aslında zeminin (titreşen cisim) titreşim genliği olmaktadır. Büyük frekans oranları  $r$  gerektiren sismik cihazlara sismometre veya titreşimmetre (vibrometer) adı verilir.

#### 4.1. 2. İVMEÖLÇERLER

Bir hareketin ivme niceliğini belirten, taşıtın hızlanmasından doğan sarsıntıları, titreşimleri gösteren araç, hızölçer, akselerometredir. Birçok çeşidi vardır. Diğer adı akselerometredir.



**Şekil 4.3.** İvme ölçer ( Accelerometer)

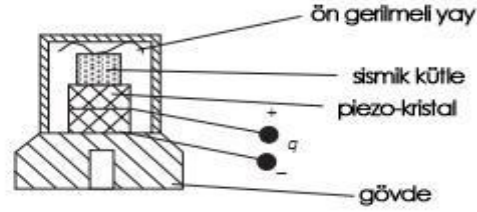
İvmeölçerler, ivme, titreşim ve mekanik şok değerlerini ölçmede kullanılırlar. Tüm ivmeölçerlerde bir sismik kütle, yay ve damper sistemi vardır. Sismik kütle üzerine etkiyen atalet kuvvetinin yarattığı ivme ölçülür.

İvmeölçerler, genel amaçlı mutlak hareket ölçümlerinde, şok ve titreşim ölçümlerinde kullanılırlar. Bir yapının ya da bir makinanın ömrü, çalışma sırasında maruz kaldığı ivmenin şiddeti ile orantılıdır. Bir yapının çeşitli noktalarındaki titreşimin genliği ve fazı, bir modal analiz yapılabilmesine izin verir. Yapılacak olan bu analiz sonucunda dinamik olarak çalışacak parçaların çalışma modları belirlenerek tüm sistemin dinamik karakteri ortaya konabilmektedir. Sismik ivmeölçerler ile yer, bina, köprü üzerinde deprem, inşaat, madencilik çalışmaları, büyük nakliye vasıtalarının yol açtığı titreşimler ölçülebilir. Yüksek frekanslı ivmeölçerler ile çarpma testleri, çok yüksek devirli motorların testleri yapılabilir. İvmeölçerler ölçme tekniğine göre de farklı sınıflara ayrılırlar.

#### **4.1.2.1. Piezoelektrik İvmeölçerler**

-Piezoelektrik ivmeölçerler çok düşük frekanslı sismik uygulamalardan, çok yüksek frekansta doğrusal çalışma aralığı gerektiren çarpma testlerine kadar birçok ölçme uygulamasında kullanılır.

-Küçük boyutlu, yüksek sıcaklık aralığında çalışabilen, endüstriyel standartlarda kılıf içinde yapılandırılmış transdüserlerdir.



**Şekil 4.4** Piezoelektrik ivme ölçer

Piezoelektrik etkinin kullanıldığı bu tip algılayıcılarda, sismik kütle bir piezo kristal malzeme üzerine bir kuvvet uygular ve bunun neticesinde bir elektrik yük oluşturulur.

- Bu cihazlar belirli bir değerde kuvvet altında kaldıktan sonra elektrik enerjisi üretmeye başlarlar.
- Bu elektrik enerjisi kristal kısmın üzerinden geçerken yerçekimi ivmesi ile doğru orantılı olarak bir elektrik enerjisi üretilir.

Kuvarz ya da seramik kristaller bir kuvvet altında kaldığında picocoulomb seviyesinde elektrik yükü üretirler. Bu elektrik yükünün kristal üzerindeki değişimi yer çekimi ivmesinin değişimi ile doğru orantılıdır. İvmeölçerlerdeki sismik kütlelerin ivme altında maruz kaldığı atalet kuvveti piezoelektrik kristale etkir ve ivme ile doğru orantılı bir elektrik sinyali çıkışı verir. Bir yongaya (Mikro Elektronik devre/chip) sahip Piezoelektrik ivmeölçerlerin içinde sinyali taşınabilir voltaj sinyaline çeviren bir sinyal koşullayıcı devre vardır (Integrated Electronics Piezoelectric - IEPE). Bu tip Algılayıcılar gürültüden minimum etkilenirler. Üzerinde çevirici elektronik devre olmayan (Charge Mode) Algılayıcılar harici bir çevirici (Charge Amplifier) ile kullanılırlar. Charge Mode Algılayıcılar yüksek sıcaklıktaki uygulamalarda kullanılmak için idealdirler.

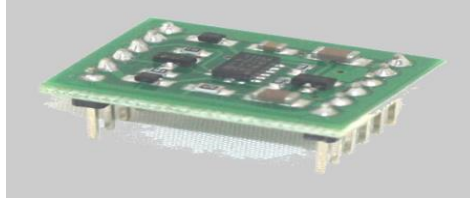
Hassas ölçümler için çok geniş bir piezoelektronik titreşim ve şok ivmeölçer çeşidi vardır. Bu tasarımlara örnek; kuvarz, ICP, cryogenic, çevresel gerilme önlemeli, yüksek frekanslar için, minyatür, darbe, pirosok, halka şeklinde, üç eksenli, uçuş testleri için, düşük profilli yüksek sıcaklığa dayanıklı, sismik, düşük maliyetli ve endüstriyel tipler sayılabilir.

#### **4.1.2.2. Kapasitif İvmeölçer**

Kapasitif ivmeölçerler düşük seviyeli ve düşük frekanslı titreşimleri, statik ivmeleri ölçmede kullanılırlar. Karşılıklı yerleştirilmiş kapasitör şeklinde çalışan iki plaka



arasındaki kapasitansın değişmesi prensibi ile ölçüm yaparlar. Bu plakalar arasındaki mesafe ve dolayısı ile kapasitans ivme altında değişir ve ivme ile doğrusal bir sinyal doğururlar. Bu tip Algılayıcılar özel bir sinyal koşullama gerektirmezler. 12VDC ya da 24 VDC ile beslenmek sureti ile çalışırlar. Özellikle robotik, otomotiv sürüş kalite testleri, bina dinamiği ölçümü gibi yerlerde kullanılırlar.



**Şekil 4.5.** Kapasitif İvmeölçer

#### **İvmeölçer Parametreleri**

- Ölçülebilir Sınır = Maksimum ölçülebilir ivmeler , “ +g “ olarak verilir
- Hassasiyet = Çıkış voltajı ile ivmenin “ g “ oranı “ mV/g“ olarak verilir
- Rezonans Frekansı = -İvmeölçerin ikaz verdiği Frekans “ kHz“ olarak verilir

#### **5. İvmeölçer (Accelerometer) Kalibrasyonu**

Çok sayıda girişten bir çıkışı tanımlamak istediğimizde ivmemetrelerin bu çok sayıdaki ölçümlere cevap verecek şekilde tasarlanması gereklidir. Yaygın olarak ölçülen çıkış karakteristikleri; hassasiyet, frekans ve faz cevabı, rezonans frekansı, genlik doğrusallığı, enine duyarlılık, sıcaklık cevabı, zaman sabiti ve sıcaklık ve magnetik etkiler gibi çevresel etkilerdir.

İvmemetre kalibrasyonundan kasıt, hassasiyetle ölçüm yapabilmektir. En yaygın kalibrasyon yolu, bir referans transdüseri kullanmaktır. Genellikle kararlı ve düşük gürültü hassasiyetine sahiptir. Karşılaştırmalar back-to-back (ard arda) ölçümlerle yapılır. Teste tabi tutulan sensör (The sensor under test (SUT)), bir referans ivmeölçere göre ortak bir uyarıcıyla uyarılır. Hareket her iki sensör için aynı olduğundan dolayı, bunların çıkış oranları hassasiyetlerini verir ve aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$S_{sut} = S_{ref} \cdot (V_{sut}/V_{ref}) \cdot (G_{ref} / G_{sut})$$

$S_{sut}$  = sensör hassasiyeti (mV/G, mV/(m/s<sup>2</sup>); pC/G, veya pC/(m/s<sup>2</sup>))

$S_{ref}$  = referans transdüser hassasiyeti (mV/G, mV/(m/s<sup>2</sup>); pC/G, veya pC/(m/s<sup>2</sup>))

$V_{sut}$  = SUT kanal çıkışı ( mV)

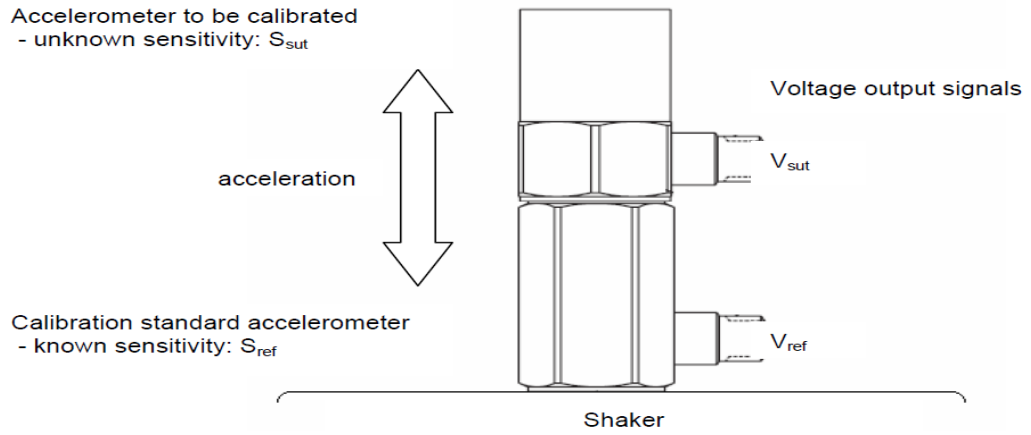
$V_{ref}$  = referans kanal çıkışı (mV)

$G_{sut}$  = SUT şartlayıcı kazancı (mV/mV veya mV/pC)

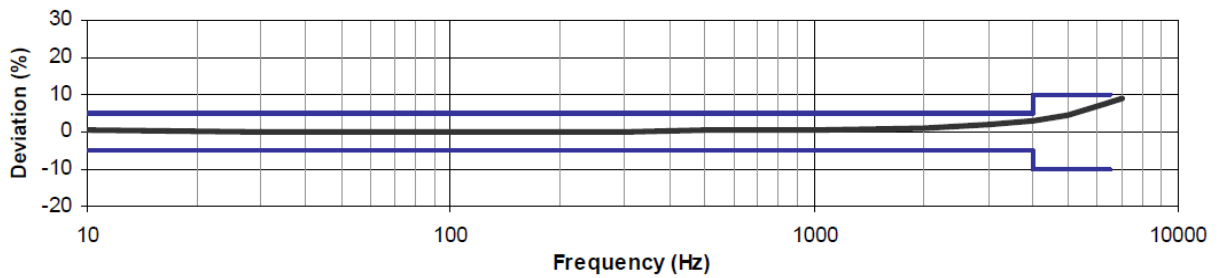
$G_{ref}$  = referans şartlayıcı kazancı ( mV/mV veya mV/pC).

### 5.1. İvmeölçer Titreşim Hassasiyet Kalibrasyonu

Titreşim kalibrasyonu, elektromekanik bir uyarıcı tarafından sağlanan sinüsoidal bir uyarıcı kullanır. İvmeölçer hassasiyetinin ölçüm prosedürü ISO 16063-21 tarafından tanımlanmıştır. Bir referans transdüser ile titreşimi karşılaştırarak kalibrasyon yapılabilir. Sinüsoidal bir titreşim sinyali tarafından algılanan algılayıcı ve SUT hassasiyeti özel bir frekansta ölçülür. İstenen frekans aralığını süpürerek, ölçülen SUT' un doğrusal eğrisine belirli bir frekansta izin verip ve uyarma seviyesini değiştirerek, SUT'un frekans cevap eğrisini elde edebiliriz.



Şekil 5.1. Back-to-Back Tekniği



Şekil 5.2. İvmemetrenin cevap eğrisi. Referans frekans değerinde kalibre edilmiş hassasiyet için sapma değerleri

## **6. Titreşim Ölçümünün Yapılışı ve Sinyal Verisi Alma**

Titreşim metodu uzun zamandır kullanılmakta olan hataların algılanmasında etkili bir yöntemdir. Mekanik sistemde bir elemanın hata durumunu titreşimden kaynaklanan sinyallerden alarak takip edebiliriz. Bu nedenle çeşitli sinyal işleme teknikleri geliştirilmiştir. Elde edilen sinyallerin irdelenmesinde iki bileşen önemlidir. Bunlardan birisi frekans (belirli bir zaman periyodunda olayın oluş sayısı), diğeri ise genliktir (titreşim sinyalinin boyutu). Titreşimin gerçekleştiği frekans hatanın tipini gösterir. Yani belli hatalar belli frekanslarda gerçekleşmektedir. Titreşim sinyalinin genliği ise, hatanın ya da arızanın genliği hakkında bilgi verir. Genlik ne kadar yüksekse arıza da o derece büyüktür.

Titreşim analizi; elektriksel problemler, dişli hasarları, rulman hasarları, eksenel ayarsızlık, gevşeklik gibi durumların tespitinde kullanılır.

Mekanik sistemlerin hata algılamasında kullanılan, literatürde çok sayıda sinyal işleme teknikleri vardır. En yaygınları dalga formu verisi, titreşim sinyalleri ve ses yayınıdır. Diğer dalga formları, ultrasonik sinyaller, motor akımı, kısmi deşarj, vs. Literatürde daimi dalgaformu veri analizi için iki ana kategori vardır. Time-domain Analizi, Frekans-domain analizi.

### **6.1. Time-Domain Analizi**

Zaman alanı analizi, zaman dalga formuyla yakından ilgilidir. Klasik zaman domaini analizi, dalga form sinyallerinden ortalama, tepe, tepeden tepeye aralık, standart sapma, tepe faktörü (crest factor) ve yüksek dereceli istatistikler (karekök ortalama, çarpıklık, basıklık) gibi açıklayıcı istatistikleri kapsar. Bu özellikler genellikle zaman domaini özellikleri olarak adlandırılır.

Zaman domaininde daha gelişmiş yaklaşımlar, dalga formu verisi için zaman serisi modellerini uygular. Zaman serisi modellemenin ana fikri, dalga formu verisini parametrik bir zaman modeline uyarlamak ve parametrik modele dayalı özellikleri çıkarmaktır.

Bu çalışmada sadece yüksek dereceli ortalama karekök (RMS) teoremi kullanılmıştır. Bu özellik genelde zaman domaini özelliği olarak bilinir. RMS bir çeşit ortalama sinyaldir.

Ayrık sinyaller için, RMS değeri;

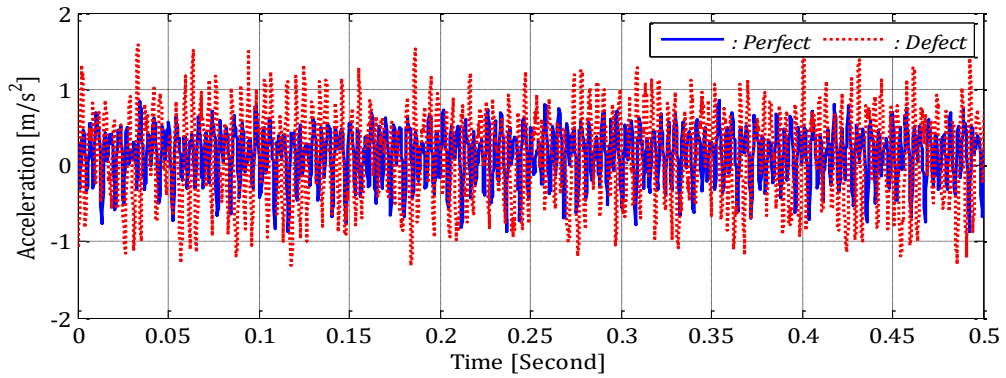
$$RMS = \sqrt{\frac{1}{N} * \sum_{n=1}^N (x(n) - x_{ort})^2} \quad 6.1$$

$$x_{ort} = \frac{1}{N} * \sum_{n=1}^N x(n) \quad 6.2$$

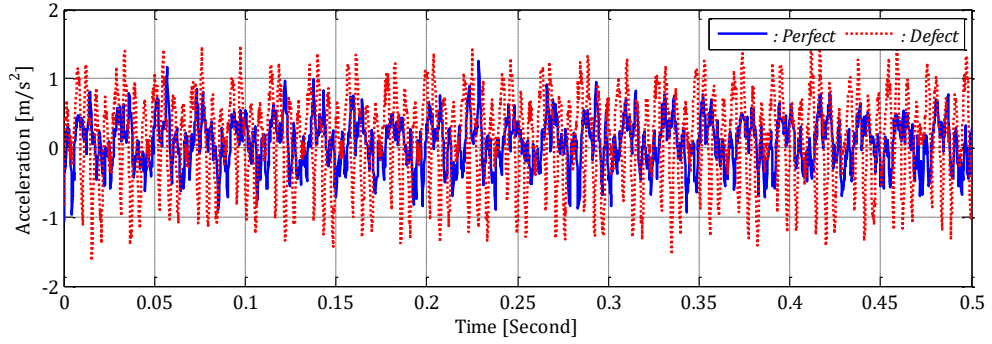
## 6.2 Frekans-Domaini Analizi

Frekans analizi alan frekansındaki sinyallerin taşınmasına dayalıdır. Zaman alanı analizinden farklı bir avantajı ilgili elemanların kesin frekansını kolayca ayırmak ve tanımlamak için elverişli olmasıdır. En çok kullanılan analiz, Fast Fourier Transform (FFT) ile yapılan spektrum analizidir. Spektrum analizinin temeli, ya tüm spektrumu kontrol etmek ya da ilgili elemanların belirli bir frekansına yaklaşık olarak bakarak sinyalden özellikleri almak tır.

Aşağıdaki grafiklerde titreşim ölçümü yapılmış bir bilgisayar fanının zaman alanındaki grafiklerinin nasıl elde edildiği belirtilmiştir. Burada referans (hatasız)değere karşılık hatalı (kanatta delinme ve şekil bozukluğu vs.) durumlar farklı karakterde ve periyotlarda kendini göstermiştir.



Şekil 6.1. Kanadı delik fanın ivme genliği-zaman grafiği



Şekil 6.2. Kanatta şekil bozukluğu olması durumunda ivme genliği-zaman grafiği

## 7. Deneyde Kullanılan Cihazlar

### Veri Toplama ve Analiz Sistemi, Analiz Yazılımı

#### İşletim Sistemi ve Veri Toplama:

- 5 kanaldan gelen akustik/titreşim veya AC/DC sinyalleri işleyebilecek yeterliliktedir. Gerektiğinde daha çok kanaldan sinyal toplayabilecek şekilde yükseltilebilir.
- Windows 2000 veya XP-Pro altında çalışabilir.
- Data iletimini network hattı üzerinden yapabilmeli ve bağlı olduğu data toplama ünitesini ve onun üzerindeki modülleri otomatik olarak tanıyarak, kullanıcıya kolaylık sağlayabilir.
- Analiz performansı (kanal x bandgenişliği) 300kHz'dir.



### **TEK-EKSENLİ MODAL İVMEÖLÇERİN ÖZELLİKLERİ**

- Tek eksenle ölçüm yapabilir.
- Titreşim hassasiyeti en az 100mV/g 'dır.
- Ölçebileceği en yüksek titreşim düzeyi en az 700g 'dır.
- 0,3Hz – 6kHz frekansları aralığında doğrusal olarak çalışabilir.
- Sensörün iç gürültüsü 0,4 mg 'den daha düşüktür.
- Çalışma Sıcaklığı -54 +121 °C aralığındadır.
- Ağırlığı 5 gr. 'dan azdır.



## TEK-EKSENLİ GENEL AMAÇLI İVMEÖLÇERİN ÖZELLİKLERİ

- Tek eksenle ölçüm yapabilir..
- Titreşim hassasiyeti en az 10mV/g'dir.
- Ölçebileceği en yüksek titreşim düzeyi en az 500g'dir.
- 1Hz – 10kHz frekansları aralığında doğrusal olarak çalışabilir.
- Sensörün iç gürültüsü 0,8 mg 'den daha düşüktür.
- Çalışma Sıcaklığı -51 +121 °C aralığındadır.
- Sensörün tabanı elektrik izolasyonuna sahiptir.



## ÜÇ-EKSENLİ İVMEÖLÇERİN ÖZELLİKLERİ

- Üç eksenle aynı anda ölçüm yapabilir.
- Titreşim hassasiyeti en az 100mV/g'dir.
- Ölçebileceği en yüksek titreşim düzeyi en az 50g'dir.
- 0.3 - 3000 Hz frekansları aralığında çalışabilir.
- Sensörün iç gürültüsü 0,4 mg 'den daha düşüktür.
- Çalışma Sıcaklığı -54 +100 °C aralığındadır



## KUVVET ÇEKİCİNİN ÖZELLİKLERİ

- Yüze uygulanan kuvveti ölçebilir.
- Titreşim hassasiyeti en az 2mV/N'dur.
- Ölçebileceği en yüksek kuvvet düzeyi en az 2200N'dur.
- 1 - 3000 Hz frekansları aralığında çalışabilir.
- Çalışma Sıcaklığı -73 +60 °C aralığındadır.
- Efektif sismik kütlesi en az 100 gr'dır.
- Çekiç boyu en fazla 230mm olmalıdır.
- Alüminyum, plastik ve kauçuk uçlar ile 5m bağlantı kablosuna sahiptir.



## MİKROFON VE ÖNYÜKSELTİCİSİNİN ÖZELLİKLERİ

- IEC 61094-4 ve IEC61672 Standardına göre Tip 1 koşullarını sağlamaktadır.
- Serbest alan ölçümlerine uygundur.
- Hassasiyeti en az 50mV/Pa seviyesindedir.
- Polarizasyon voltajına gerek olmadan (0V – prepolarize) çalışabilir.
- Genel akustik ölçümlerinde kullanılacak şekilde 20Hz – 20kHz frekans aralığında düzgün cevap karakteristiğine sahiptir.
- Ölçebileceği en yüksek ses seviyesi (peak) 135dB üzerindedir.
- Çalışma sıcaklığı en az -30°C ile +120°C arasındadır.



- Elektriksel gürültü seviyesi 4 $\mu$ Voltu geçemez.
- Önyükselticinin giriş empedansı mikrofona, çıkış empedansı analiz sistemine uyumludur.



### **TİTREŞİM KALİBRATÖRÜNÜN ÖZELLİKLERİ**

- 159,2Hz sabit frekansında çalışır ve frekans hata payı  $< \% \pm 0.02$  mertebesindedir.
- 10m/s<sup>2</sup> sabit titreşim üretebilir ve seviye hata payı  $< \% \pm 3$  mertebesindedir.
- İvme, hız ve deplasman kalibrasyonlarının tümünü yapabilir.
- Çalışma Sıcaklığı -10 +55 °C aralığında  $\% \pm 5$  tolerans içerisindedir.



### **8. DENEY RAPORUNDA İSTENENLER**

- Titreşim hakkında bilgi veriniz.
- Titreşim ölçümünde kullanılan yöntemler hakkında bilgi veriniz.
- Titreşim ölçüm cihazları hakkında bilgi veriniz.
- Deney sırasında yapılan ölçümleri yorumlayınız.