



ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

STATİK VE DİNAMİK DENGELEME
DENEY FÖYÜ

HAZIRLAYANLAR

Prof. Dr. Erdem KOÇ

Arş.Gör. Mahmut Can ŞENEL

MART 2012

SAMSUN

STATİK VE DİNAMİK DENGELEME DENEYİ

1. DENEYİN AMACI

Bu deneyde, üzerine kütleler yerleştirilmiş bir şaftın belli bir hızda döndürülmesiyle oluşan statik ve dinamik balanssızlık durumu araştırılmıştır. Bu amaçla, şaft üzerine yerleştirilen balanssız kütlelerin gerçekte yerleştirilmesi gereken eksenel ve açısal konumlar kuvvet ve moment dengesine dayanarak belirlenmiştir.

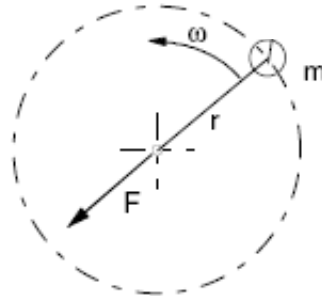
2. TEORİK ESASLAR

Deney düzeneği; balanssızlığın, yapılan hesaplamalar ve kütlelerin doğru konumlara yerleştirilmesiyle giderilebileceğini göstermek üzere tasarlanmış bir cihazdır. Bir makinada yüksek hızla dönen tüm kütleler için bir balans ayarı yapılmak zorundadır. Eğer dönen makina parçaları için makinada bir balans ayarı yapılmaz veya yetersiz yapılırsa; atalet kuvvetleri dikkate değer büyüklükte artarak yataklarda büyük gerilmeler oluşturur. Bu gerilmeler, titreşime ve gürültüye sebep olarak zamanla yatakları tahrip etmektedir.

Dengelemeyle ilgili bazı uygulamalar:

- Otomobil lastikleri
- Elektrik motorları
- Taşlama çarkları
- Türbinler

şeklinde sıralanmaktadır. Dönen makina elemanlarında dönme eksenine göre ağırlık merkezi çakışmadığında makina elemanı balanssız bir şekilde dönmektedir. Diğer bir ifadeyle dönme sırasında ağırlık merkezi dairesel bir yol izleyerek merkezkaç kuvvet ve momentlerin oluşmasına sebep olmaktadır. Bir cismin merkezkaç kuvvetini(F) etkileyen faktörler; cismin kütlesi(m), kütlenin izlediği yol olan dairenin yarıçapı(r) ve açısal hızı(ω). Bu durum Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Merkezkaç kuvvetinin gösterimi

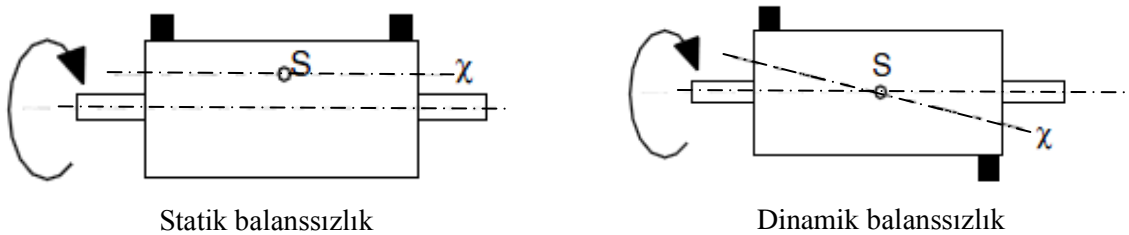
Genel olarak m kütleli bir cismin oluşturduğu merkezkaç kuvveti(F);

$$F = mr\omega^2 \quad (1)$$

şeklinde ifade edilir. Burada; $F[N]$, $m[kg]$, $r[m]$, $\omega[rad/s]$ büyüklüğündedir. Eşitlik(1)'den görüldüğü üzere merkezkaç kuvveti, açısal hız(ω) arttıkça açısal hızın karesiyle orantılı olarak artmaktadır. Bu durum da yüksek hızla dönen makine elemanlarında çok büyük atalet kuvvetlerinin oluşmasına sebep olmaktadır. Balanssızlık statik ve dinamik balanssızlık olmak üzere iki özel durumda incelenmektedir:

a) Statik balanssızlık: Statik balanssızlık dönen makina parçalarının aksenal konumlarının dikkate alınmayıp radyal yöndeki kütle dağılımlarının dikkate alındığı bir durumdur. Statik denge için merkezkaç kuvvetlerinin vektörel toplamının sıfır olması gerekmektedir. Statik balanssızlık durumunda eylemsizlik eksenini χ 'in dönme ekseninin dışındaki ağırlık merkezi S 'ye paralel olduğu Şekil 2'de verilmiştir.

b) Dinamik balanssızlık: Dinamik balanssızlık, dönen makina parçalarının radyal konumlarının yerine aksenal konumlarının dikkate alındığı bir durumdur. Bu nedenle mil ve mile yerleştirilen dönen elemanlardan oluşan yapı olan rotora herhangi bir balanssız kuvvet uygulanmaz. Fakat rotor eksenini boyunca gerçekleşen düzensiz kütle dağılımı sebebiyle eylemsizlik eksenini(χ) dönme eksenine belli bir açıda eğiktir(Şekil 2). Bu yüzden rotor, balanssızlıktan doğan bir moment uygular ve bu balanssızlığı gidermek amacıyla moment dengesinin sağlanması gerekir.

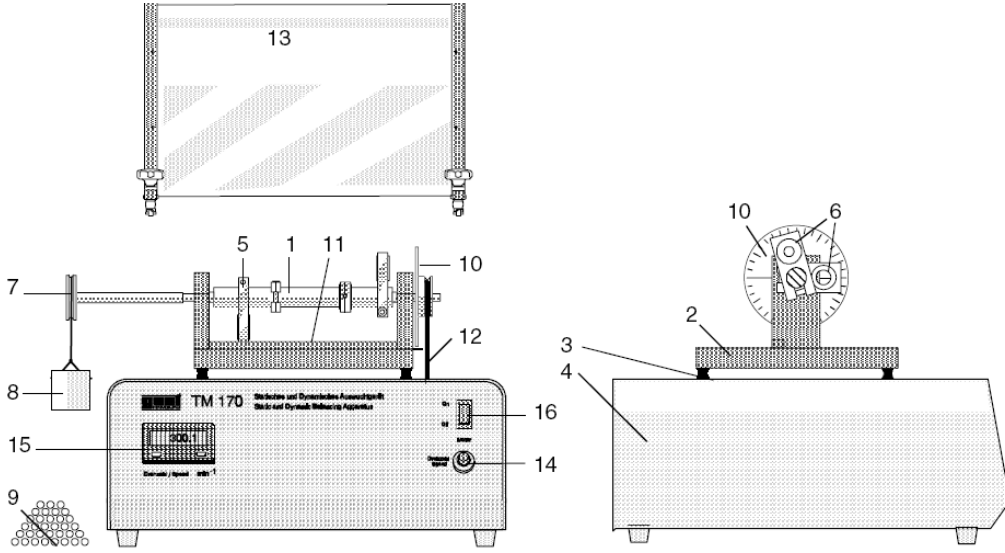


Şekil 2. Statik ve dinamik balanssızlık durumu

3. DENEY DÜZENEGİ

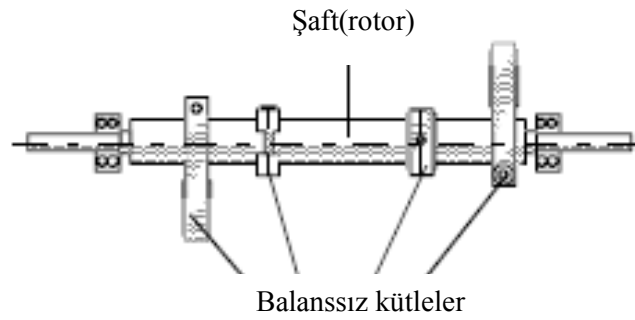
Deney düzeneği Şekil 3'de verilmiş olup yatay olarak desteklenen 20 cm uzunluğundaki bir şaft(1) ve bu şafta istenen herhangi bir aksenal ve açısal pozisyonda sabitlenebilen dört balanssız kütle(5) oluşmaktadır. Şaft, iki adet düşük sürtünmeli rulmanlı yatakla desteklenmektedir. Şaft, taban plakasına(2), esnek olarak monte edilir. Taban plakası ise elastik elemanlarla(3) gövdeye(4) sabitlenmiştir. Şaft, gövde içerisindeki değişken hızlı bir motor ve çıkarılabilen yuvarlak elastik kayış(12) yardımıyla döndürülür. Motor, anahtar(16)

yardımıyla çalıştırılır. Toplamda 10 tur dönebilen hız potansiyometresi(14) hızın çok hassas bir şekilde 0-1400 dev/dak arasında ayarlanmasını sağlar. Şaftın dönüş hızı dijital dönüş sayacından(15) okunabilmektedir. Açılı skalası(10) 0-360°, uzunluk skalası(11) 0-20 cm arasında balanssız kütlelerin hassas bir şekilde konumlandırılmasını sağlar.



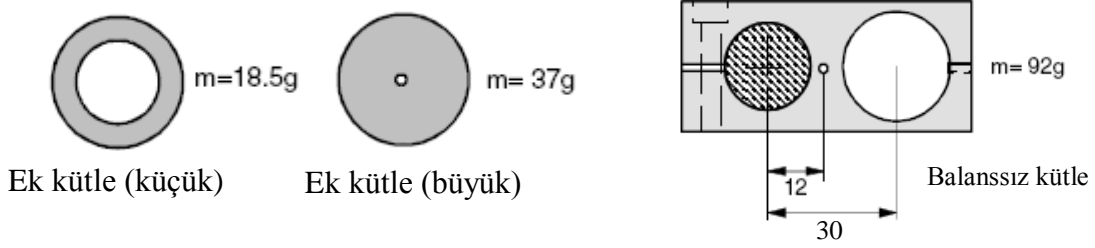
Şekil 3. Statik ve dinamik dengeleme deneyi deney düzeneği ve temel elemanları

Şafta monte edilen makara sistemi(7), yükleme sepeti(8) ve bilyalar(9) balanssızlığı belirlemek amacıyla kullanılmaktadır. Balanssız kütlelerin içerisinde yer alan yuvalara Şekil 5'den görülebileceği üzere ek kütleler yerleştirilebilmektedir. Bu ek kütleler(6) balanssız kütle yuvalarına yerleştirilip alyen anahtarıyla sıkılarak balanssız kütlelerin şafta yerleştirilmesi sağlanmaktadır. Şeffaf koruyucu başlık(13), dönen kütlelerin temasından doğabilecek kazaları önler. Bu yüzden, şaft dönerken koruyucu başlık mutlaka yerleştirilmeli ve 4 adet sabitleme civatasıyla gövdeye sabitlenmelidir. Şafta yerleştirilen balanssız kütleler 4 adet olup Şekil 4'de verilmiştir.



Şekil 4. Şafta balanssız kütlelerin yerleşimi

Ek kütleler iki yapıda olup küçük ek kütle $m=18.5$ g, büyük ek kütle $m=37$ g'dır. Ek kütlelerin balanssız kütlelere yerleşimi Şekil 5'de verilmiştir.



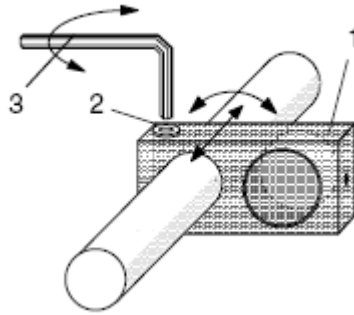
Şekil 5. Balanssız kütlelere ek kütlelerin yerleşimi

4. DENEY DÜZENEĞİNİN HAZIRLANMASI

Deney düzeneğinin hazırlanması birkaç aşamada gerçekleşmektedir. Bunlar balanssız kütlelerin ayarlanması, açı skalasının ayarlanması ve ek kütlelerin yerleştirilmesidir.

4.1. Balanssız Kütlelerin Ayarlanması

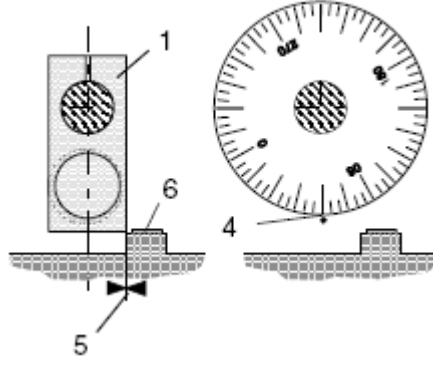
Balanssız kütleler(1) Şekil 6'da görüldüğü gibi 3 mm'lik altıgen alyen anahtarıyla(3) sıkma vidası(2) gevşetilerek shaft etrafında döndürülebilir ya da shaft boyunca hareket ettirilebilir.



Şekil 6. Balanssız kütle ve shaft bağlantısı

Balanssız kütlelerin shaftta kaç derecelik bir açıyla sabitleneceği Şekil 7'de gösterilmiş ve aşağıda kısaca izah edilmiştir:

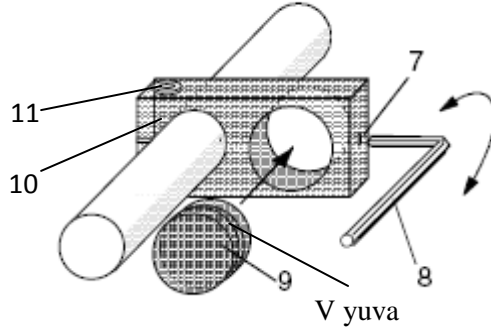
- Shaftın dönüşünü önlemek amacıyla motor shaft arasındaki bağlantıyı sağlayan elastik kayış bağlanır.
- Açı skalasındaki açı değeri, istenilen değere(4) getirilir.
- Balanssız kütle(1) ölçüm skalasına(5) göre hizalanır. Balanssız kütlelerin radyal konumlandırılması daima ölçüm skalası kullanılarak gerçekleştirilir. Açı değeri tekrar kontrol edilerek balanssız kütlelerin shaftta sıkı bir şekilde bağlandığından emin olunur.



Şekil 7. Açık skalası yardımıyla açı değerinin ayarlanması

4.2. Ek Kütlelerin Yerleştirilmesi

Ek kütle(9), 2 mm altıgen alyen anahtarıyla(8) sıkma vidası(7) gevşetilerek değiştirilir. Şekil 8’de verilen ek kütle, balanssız kütle(10) tam yerleştirildikten sonra alyen anahtarlarla sıkılarak balanssız kütleye sabitlenir. Balanssız kütle, daha büyük bir alyen anahtarla da alyen yuvasından(11) sıkılarak şaftta sabitlenir.



Şekil 8. Balanssız kütleye ek kütle yerleştirilmesi

5. DENEYİN YAPILIŞI

Statik ve dinamik balanssızlığı içeren genel balanssızlık durumu için deneyin yapılışı aşağıda kısaca izah edilmiştir:

- Balanssız kütlelere küçük ek kütlelerin yerleştirilmesiyle oluşan(Şekil 5) iki küçük balanssız kütle şaftın her iki ucuna aralarında 90° ’lik bir açı ve 190 mm’lik bir mesafe olacak şekilde yerleştirilir.
- Balanssız kütlelere büyük ek kütlelerin yerleştirilmesiyle oluşan(Şekil 5) iki büyük balanssız kütle, küçük balanssız kütlelerin arasına, aralarında 180° ’lik bir açı olacak şekilde yerleştirilir.
- Rotor dönüş hızı, hız potansiyometresiyle rotorda balanssızlık gözlenene kadar($n=1000$ dev/dak) artırılır ve daha sonra dönüş hızı düşürülerek güç şalteri kapatılır.

- Genel balanssızlık durumu için shaft boyuncaki büyük balanssız kütleler arası mesafe ve büyük balanssız kütlelerin açısız konumları hesaplanır.
- Küçük balanssız kütlelerin konumları değiştirilmeden büyük balanssız kütleler hesaplamalar doğrultusunda uygun açısız ve aksinel konumlara yeniden yerleştirilir. Rotor dönüş hızı, hız potansiyometresiyle yavaşca arttırılır. Eğer hesaplamalar doğruysa ve büyük balanssız kütleler doğru yerleştirilmişse; rotor $n=1400$ d/dak dönüş hızına kadar herhangi bir titreşim olmaksızın çalışır.

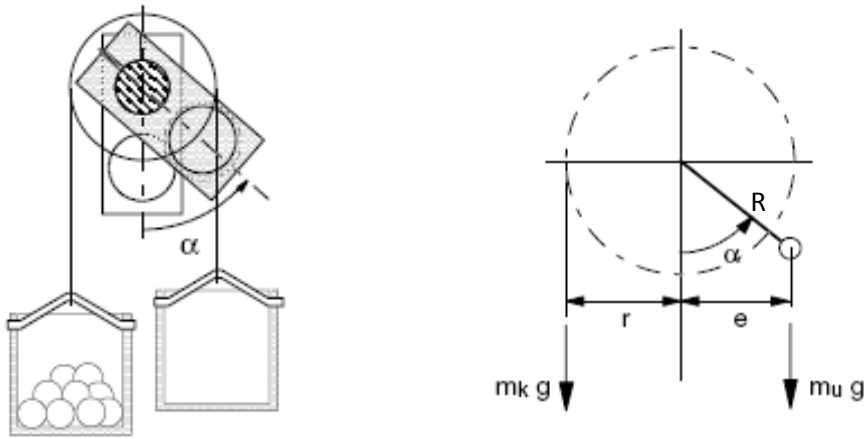
6. HESAPLAMALAR

Deney düzeneğiyle statik, dinamik ve genel balanssızlık durumları incelenebilmektedir. Bu nedenle ilk aşamada shaftta yerleştirilecek iki farklı büyüklükteki(küçük ve büyük) balanssız kütlelerin balanssızlıklarının belirlenmesi gerekmektedir.

6.1. Balanssızlığın Belirlenmesi

Deney düzeneğiyle iki farklı büyüklükteki(küçük ve büyük) balanssız kütle için balanssızlık hesabı yapılmaktadır. Bunlar aşağıda verilmiştir:

- Küçük balanssız kütle (minimum balanssızlık(beyaz noktayla gösterilir))
- Büyük balanssız kütle (maksimum balanssızlık(siyah noktayla gösterilir))



Şekil 9. Balanssızlığın oluşturulmasıyla ilgili genel bir görünüm

Balanssızlığı belirlemek amacıyla motor çalıştırılmadan balanssız kütleler shafta uygun şekilde konumlandırılır ve shaft yuvasına Şekil 9'daki gibi bir makara sistemi yerleştirilip yükleme sepetine bilyalar eklenerek bir dış moment oluşturulur. Bu sayede küçük ve büyük balanssız kütleler için balanssızlık hesabı yapılabilir. Burada m_k bilyaların kütlesi[kg], m_u balanssız kütlenin kütlesi[kg], r kasnak yarıçapı[m], R balanssız kütlenin shaft merkezine olan uzaklığı[m], e balanssız kütlenin shaft merkezine olan eksantrik uzaklığı[m],

α balanssız kütlenin dönüş açısı[°], g ise yerçekimi ivmesidir(m/s²). Balanssızlığı hesaplamak için moment dengesinden faydalanılır.

Yükleme sepetine yerleştirilen bilyalar ve balanssız kütleler arasındaki moment dengesi;

$$\sum M = 0 = m_k gr - m_u g R \sin \alpha \quad (2)$$

şeklinde değerlendirilir. Balanssız kütlenin şaft merkezine olan eksantrik uzaklığı(e);

$$e = R \sin \alpha \quad (3)$$

olmaktadır. Bu durumda sistemdeki toplam balanssızlık;

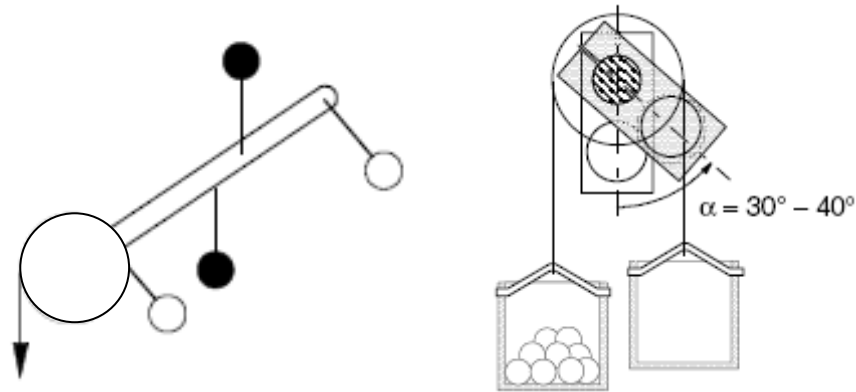
$$U = \frac{m_k r}{\sin \alpha} \quad (4)$$

şeklinde olmaktadır. Rotorda iki balanssız kütle olması durumunda her bir balanssız kütlenin balanssızlığı, toplam balanssızlığın(U) yarısına eşittir.

$$U' = \frac{m_k r}{2 \sin \alpha} \quad (5)$$

Bu eşitlik hem minimum hem de maksimum balanssızlığın belirlenmesinde kullanılmaktadır.

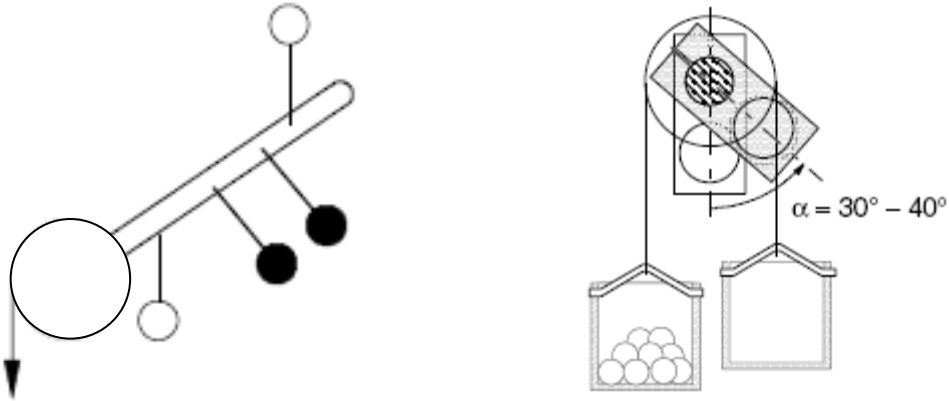
Minimum balanssızlıkta, küçük ek kütlelerin balanssız kütlelere yerleştirilmesiyle oluşan yapı olan küçük balanssız kütlelerden faydalanılır. Bu tip küçük balanssız kütlelerden her birinin oluşturduğu balanssızlık minimum balanssızlık(U₁) olarak tanımlanmaktadır(Şekil 10).



Şekil 10. Minimum balanssızlığın belirlenmesiyle ilgili genel görünüm

Minimum balanssızlığı belirlemek amacıyla küçük balanssız kütlelerin(beyaz noktalı) her biri şaftın her iki ucuna 0° 'lik açısal konumda yerleştirilirler. Böylece etkileri iki katına çıkarılır. Büyük balanssız kütleler(siyah noktalı) ise; küçük balanssız kütlelerin arasına(beyaz noktalı), aralarında 180° 'lik bir açı olacak şekilde(zıt yönlü olarak) yerleştirilirler. Bu sayede etkilerinin birbirini dengelemesi sağlanır. Motor kayışı bağlanıp makara sistemi şaft yuvasına düzgünce yerleştirilir. Boş yükleme sepetleri kasnak üzerine bir ip vasıtasıyla yerleştirilerek rotorun statik durumu için açı skalasının 0° 'yi gösterip göstermediği kontrol edilir. Açı skalasındaki açı değeri 0° 'den başlayıp 30° - 40° 'yi gösterene kadar yükleme sepetine bilya eklenir ve bilya sayısı not edilir.

Maksimum balanssızlıkta(U_1), büyük ek kütlelerin balanssız kütlelere yerleştirilmesiyle oluşan yapı olan büyük balanssız kütlelerden faydalanılır. Bu tip balanssız kütlelerden her birinin oluşturduğu balanssızlık maksimum balanssızlık olarak tanımlanmaktadır(Şekil 10).



Şekil 11. Maksimum balanssızlığın belirlenmesiyle ilgili genel görünüm

Maksimum balanssızlığı belirlemek amacıyla sistemin statik olduğu durumda Şekil 11'deki gibi büyük balanssız kütleler(siyah noktalı) küçük balanssız kütlelerin(beyaz noktalı) arasına, şafta 0° 'lik açısal konumda yerleştirilirler. Böylece etkileri iki katına çıkarılır. Küçük balanssız kütleler(beyaz noktalı) ise; şaftın her iki ucuna aralarında 180° 'lik bir açı olacak şekilde(zıt yönlü olarak) konumlandırılırlar. Bu sayede etkilerinin birbirini dengelemesi sağlanır. Motor kayışı bağlanmadan makara sistemi şaft yuvasına düzgünce yerleştirilir. Boş yükleme sepetleri kasnak üzerine bir ip vasıtasıyla yerleştirilerek rotorun statik durumu için açı skalasının 0° 'yi gösterip göstermediği kontrol edilir. Açı skalasındaki açı değeri 0° 'den başlayıp 30° - 40° 'yi gösterene kadar yükleme sepetine bilya eklenir ve bilya sayısı not edilir.

a) Minimum Balanssızlığın(U_1) Hesaplanması

Minimum balanssızlığı hesaplamak amacıyla(Şekil 10), sistemin statik olduğu durumda yükleme sepetine açı değeri(α) 30-40° olana kadar bilya eklenir. Yapılan deneyler sonucunda 16 bilya yükleme sepetine eklendiğinde açı skalasındaki açı değeri(α) 30°'yi göstermektedir. Bir bilyanın kütlesi 3 g, kasnak yarıçapı(r) 3.33 cm olarak verildiğine göre Eşitlik (5)'e dayanarak bir adet küçük balanssız kütle için balanssızlığı(U_1);

$$U_1 = \frac{m_k r}{2 \sin \alpha} = \frac{3 \times 16 \times 3.33}{2 \sin 30^\circ} = 159.84 \text{ cmg} \quad (6)$$

şeklinde olmaktadır.

b) Maksimum Balanssızlığın(U_2) Hesaplanması

Minimum balanssızlığı hesaplamak amacıyla(Şekil 11), sistemin statik olduğu durumda yükleme sepetine açı değeri(α) 30-40° olana kadar bilya eklenir. Yapılan deneyler sonucunda 25 bilya yükleme sepetine eklendiğinde açı skalasındaki açı değeri(α) 35°'yi göstermektedir. Bir bilyanın kütlesi 3 g, kasnak yarıçapı(r) 3.33 cm olarak verildiğine göre Eşitlik (5)'e dayanarak bir adet büyük balanssız kütle için balanssızlığı(U_2);

$$U_2 = \frac{m_k r}{2 \sin \alpha} = \frac{3 \times 25 \times 3.33}{2 \sin 35^\circ} = 218 \text{ cmg} \quad (7)$$

şeklinde olmaktadır.

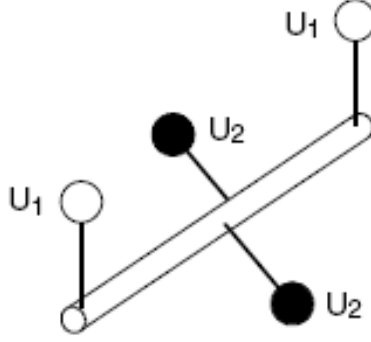
6.2. Statik Balanssızlık Deneyinin Yapılışı ve Hesaplamalar

Statik balanssızlık, balanssız kütlelerin aksel konumlarının yerine radyal konumlarının dikkate alındığı balanssızlık durumudur. Deney düzeneğinde, statik balanssızlığı belirlemek ve bu balanssızlığı gidermek amacıyla Şekil 12'deki balanssızlık durumu incelenmiştir. Bunun için iki küçük balanssız kütle(U_1) şaftın uç kısımlarına aralarındaki uzaklık dikkate alınmadan, aralarında 0°'lik bir açı olacak şekilde(aynı yönlü olarak) yerleştirilirler. Diğer iki büyük balanssız kütle(U_2) ise; etkileri tamamen sıfırlanacak şekilde yani aralarında 180°'lik bir açı olacak şekilde(zıt yönlü olarak) deney düzeneğine yerleştirilirler(Şekil 12). Motor kayışı bağlanmadan şaft yavaşça serbest bırakılır ve açı skalasından açı değeri(α) okunur.

Yüksek hızlarda statik balanssızlığın etkisini görmek amacıyla herhangi bir hesaplama yapmadan aşağıdaki işlemler sırasıyla uygulanır:

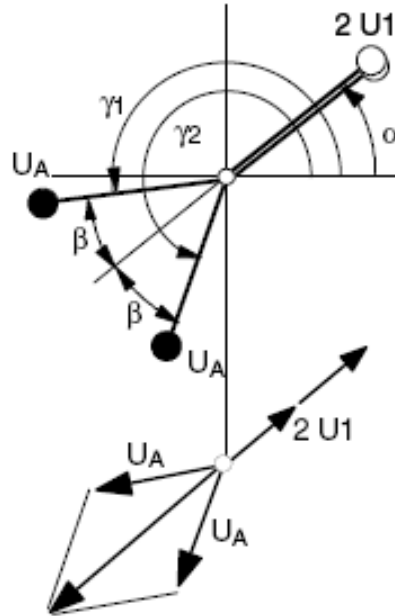
- Motor kayışı bağlanır.

- Güvenlik için koruyucu başlık yerleştirilip 4 sabitleme civatasıyla sabitlenir.
- Motor çalıştırılır ve hız potansiyometresiyle mil dönüş hızı yavaşça artırılır. Mil dönüş hızı 1000 dev/dak'ya ulaştığında balanssız kütlelerin oluşturduğu titreşim çok yüksek olur ve deney sonlandırılır.



Şekil 12. Statik balanssızlık durumu

Statik balanssızlığın etkisini azaltmak amacıyla Şekil 13'de verildiği gibi küçük balanssız kütlelerin(U_1) yarattığı etki büyük balanssız kütlelerle dengelenmektedir. Bu yüzden bu durumu daha açık bir şekilde vurgulamak amacıyla büyük balanssız kütleler(U_2) dengeleyici balanssız kütleler(U_A) olarak ifade edilir.



Şekil 13. Statik balanssızlık için kuvvet dengesi

Statik denge için Eşitlik (8)'deki gibi bir kuvvet dengesi oluşturulmuştur.

$$\sum F = 0 = 2U_1\omega^2 - 2U_A\omega^2\cos\beta \quad (8)$$

Statik denge için dengeleyici balanssız kütleler(U_A) arasındaki açı(β) Eşitlik (9)'dan hesaplanmaktadır.

$$\beta = \arccos \frac{U_1}{U_A} = \arccos \frac{159.84}{218} = 42.84^\circ \quad (9)$$

Dengeleyici balanssız kütlelerin(U_A) yerleştirildiği açısal konumu(γ_1, γ_2) belirlemek amacıyla Eşitlik (10) ve (11)'de verildiği gibi küçük balanssız kütlelerin yerleştirildiği açısal konumdan($\alpha=0^\circ$) yararlanılır.

$$\gamma_1 = \alpha + 180^\circ - \beta = 0^\circ + 180^\circ - 42.84^\circ = 137.16^\circ \quad (10)$$

$$\gamma_2 = \alpha + 180^\circ - \beta = 0^\circ + 180^\circ + 42.84^\circ = 222.84^\circ \quad (11)$$

Dengeleyici balanssız kütlelerin(U_A) doğru bir şekilde Eşitlik (10) ve (11)'deki gibi uygun açısal konumlara yerleştirilmesiyle deney cihazı herhangi bir titreşim olmaksızın maksimum dönüş hızı olan 1400 dev/dak'ya kadar çalıştırılabilmektedir.

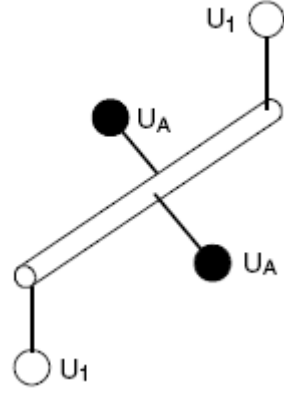
6.3. Dinamik Balanssızlık Deneyinin Yapılışı ve Hesaplamalar

Dinamik balanssızlık, balanssız kütlelerin radyal konumlarının yerine eksenel konumlarının dikkate alındığı balanssızlık durumudur. Deney düzeneğiyle dinamik balanssızlığı belirlemek ve bu balanssızlığı gidermek amacıyla Şekil 14'deki balanssızlık durumu incelenmiştir. Bunun için iki küçük balanssız kütle(U_1) shaftın uç kısımlarına aralarında 180° 'lik bir açı ve $a=190$ mm'lik bir mesafe olacak şekilde yerleştirilir. Diğer iki dengeleyici kütle(U_A) ise; küçük balanssız kütleler arasına aralarında 180° 'lik bir açı olacak şekilde (zıt yönlü olarak) deney düzeneğine Şekil 14'deki gibi yerleştirilir. Motor kayışı bağlanmadan shaft çok düşük hızda döndürülüp serbest bırakılarak statik denge sağlanır.

Yüksek hızlarda dinamik balanssızlığın etkisini görmek amacıyla herhangi bir hesaplama yapmadan aşağıdaki işlemler sırasıyla uygulanır:

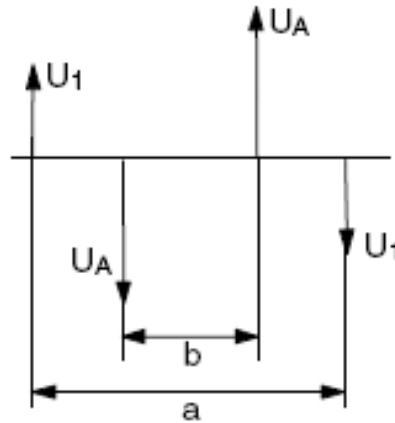
- Motor kayışı bağlanır.
- Güvenlik için koruyucu başlık yerleştirilip 4 sabitleme civatasıyla sabitlenir.
- Motor çalıştırılır ve hız potansiyometresiyle mil dönüş hızı yavaşça arttırılır. Mil dönüş hızı 1000 dev/dak'ya ulaştığında balanssız kütlelerin oluşturduğu titreşim çok fazla olur ve deney sonlandırılır. Balanssız kütlelerin oluşturduğu momentlerin etkisiyle dikey ekseninde dönmeden dolayı titreşimlerin oluştuğu gözlenir.

-



Şekil 14. Dinamik balanssızlık durumu

Küçük balanssız kütlelerin(U_1) mil eksenine göre oluşturduğu momenti karşılamak amacıyla dengeleyici balanssız kütlelerden(U_A) faydalanılır. Küçük balanssız kütleler arasındaki mesafe(a) olup kendi aralarında kuvvet çifti oluşturmaktadırlar. Dengeleyici balanssız kütleler arasındaki mesafe(b) olup başka bir kuvvet çifti oluşturmakta ve bu iki kuvvet çiftinin Şekil 15'deki gibi birbirini dengelemesi için gerekli b mesafesi belirlenmektedir.



Şekil 15. Dinamik balanssızlık durumu için moment dengesi

Balanssız kütlelerden kaynaklanan kuvvet çiftleri için moment dengesi oluşturulduğunda;

$$\sum M = 0 = U_1 \omega^2 a - U_A \omega^2 b \quad (12)$$

şeklinde olmaktadır. Dinamik balanssızlık durumunda, küçük balanssız kütleler(U_1) aralarında $a=190$ mm mesafe olacak şekilde yerleştirildiğinde dengeleyici balanssız kütleler(U_A) arası mesafe(b) Eşitlik (13)'den hesaplanabilmektedir.

$$b = \frac{U_1}{U_A} a = \frac{159.84}{218} 190 = 139.31 \text{ mm} \quad (13)$$

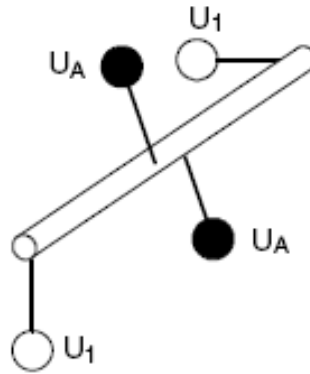
Dengeleyici balanssız kütleler(U_A) arası mesafenin(b) uygun şekilde ayarlanmasıyla deney cihazı herhangi bir titreşim olmaksızın maksimum dönüş hızı olan 1400 dev/dak'ya kadar çalıştırılabilmektedir.

6.4. Genel Balanssızlık Deneyinin Yapılışı ve Hesaplamalar

Genel balanssızlık, statik ve dinamik balanssızlığın bir arada değerlendirildiği balanssızlık durumudur. Deney düzeneğinde oluşan genel balanssızlık durumuyla ortaya çıkan balanssızlığı azaltmak amacıyla Şekil 16'daki balanssızlık durumu incelenmiştir. Bunun için iki küçük balanssız kütle(U_1) shaftın her iki ucuna aralarında 90° 'lik bir açı ve $a=190$ mm'lik bir mesafe olacak şekilde yerleştirilir. Diğer iki dengeleyici kütle(U_A) ise; küçük balanssız kütleler arasına, aralarındaki uzaklık dikkate alınmadan aralarında 180° 'lik bir açı olacak şekilde(zıt yönlü olarak) Şekil 16'daki gibi yerleştirilir. Motor kayışı bağlanmadan shaft çok düşük hızda döndürülür ve serbest bırakılır. Sistem, statik dengede değildir.

Yüksek hızlarda genel balanssızlığın etkisini görmek amacıyla herhangi bir hesaplama yapmadan aşağıdaki işlemler sırasıyla uygulanır:

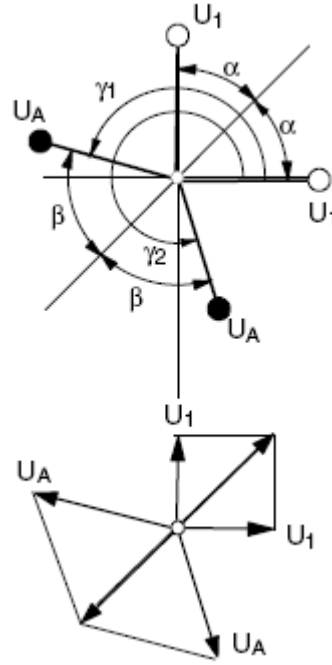
- Motor kayışı bağlanır.
- Güvenlik için koruyucu başlık yerleştirilip 4 sabitleme civatasıyla sabitlenir.
- Motor çalıştırılır ve hız potansiyometresiyle mil dönüş hızı yavaşça arttırılır. Mil dönüş hızı 1000 dev/dak'ya ulaştığında balanssız kütlelerin oluşturduğu titreşim çok yüksek olur ve deney sonlandırılır.



Şekil 16. Genel balanssızlık durumu

Dönen makina elemanlarının genellikle hem statik hem de dinamik denge koşullarını sağlaması gerekmektedir. Genel balanssızlık durumu için iki denge şartının sağlanıp sağlanmadığına dikkat edilmesi gerekmektedir. Bunlar; statik balanssızlık için kuvvet dengesi ve dinamik balanssızlık için moment dengesidir.

Statik balanssızlık için ilk olarak kuvvet dengesinin sağlanması gerekmektedir. Bu nedenle Şekil 17'deki genel balanssızlık durumu için statik kuvvet dengesi oluşturulmuştur.



Şekil 17. Genel balanssızlık durumu için statik kuvvet dengesi

Küçük balanssız kütleler arasındaki açı $2\alpha=90^\circ$ olarak verilmiştir. Bu durumda oluşturulan kuvvet dengesi Eşitlik (14)'de verilmiştir.

$$\sum F = 0 = 2U_1 \cos\alpha - 2U_A \cos\beta \quad (14)$$

Eşitlik (14)'de oluşturulan kuvvet dengesinden faydalanılarak dengeleyici kütleler(U_A) arasındaki açı(β) Eşitlik (15)'den hesaplanmaktadır.

$$\beta = \arccos \frac{U_1 \cos\alpha}{U_A} = \arccos \frac{159.84 \cos 45}{218} = 58.77^\circ \quad (15)$$

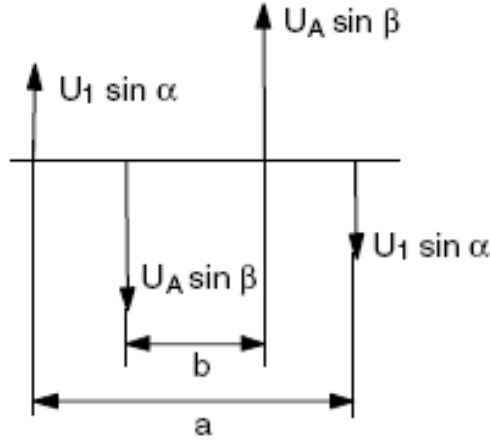
Küçük balanssız kütlelerden biri(U_1) 0° 'lik açısal konuma yerleştirilmiştir. Bu durumda dengeleyici balanssız kütlelerinin(U_A) yaptığı açı Eşitlik (16) ve (17)'deki gibidir.

$$\gamma_1 = \alpha + 180^\circ - \beta = 45^\circ + 180^\circ - 58.77^\circ = 166.23^\circ \quad (16)$$

$$\gamma_2 = \alpha + 180^\circ + \beta = 45^\circ + 180^\circ + 58.77^\circ = 283.77^\circ \quad (17)$$

Dengeleyici balanssız kütleler(U_A) Eşitlik (16) ve (17)'deki açısal konumlara yerleştirildiğinde sistem statik dengede olmaktadır.

Genel balanssızlık durumunda dengenin sağlanabilmesi için statik kuvvet dengesi sağlandıktan sonra moment dengesinin de sağlanması gerekmektedir. Bunun için Şekil 18'de verildiği gibi dengeleyici balanssız kuvvetler arasındaki mesafenin(b) hesaplanması gerekmektedir.



Şekil 18. Genel balanssızlık durumu için moment dengesi

Moment dengesi aralarındaki uzaklık b ve aralarındaki uzaklık a olan iki kuvvet çiftinin oluşturduğu momentlerin eşitliğine dayanmaktadır. Balanssız kütleler arası mesafeler (a ve b) dikkate alınarak oluşturulan moment dengesi Eşitlik (18)'de verilmiştir.

$$\sum M = 0 = U_1 \omega^2 \sin \alpha a - U_A \omega^2 \sin \beta b \quad (18)$$

Eşitlik (18)'de oluşturulan moment dengesinden faydalanılarak dengeleyici kütleler(U_A) arasındaki mesafe(b) Eşitlik (19)'dan hesaplanabilmektedir.

$$b = \frac{U_1 \sin \alpha}{U_A \sin \beta} a = \frac{158.84 \sin 45}{218 \sin 58.77} 190 = 108.1 \text{ mm} \quad (19)$$

Dengeleyici balanssız kütleler(U_A) arası mesafe(b) uygun şekilde ayarlandıktan sonra deney cihazı herhangi bir titreşim olmaksızın maksimum dönüş hızı olan 1400 dev/dak'ya kadar çalıştırılabilmektedir.

İstenildiği takdirde, bu deney düzeneğiyle balanssız kütleler farklı açısal ve eksenel konumlara yerleştirilerek bir çok farklı düzenleme oluşturulabilir. Şaftın balanssız olduğu bu durumlar için de uygun hesaplamalar yapılarak balanssızlıklar giderilebilir.

7. İSTENENLER

- Rotorda oluşan statik balanssızlık durumu için(Şekil 13) U_1 ve U_2 balanssızlıklarını kullanarak küçük balanssız kütleler arasındaki açısal konum $2\alpha=80^\circ$ olduğunda dengeleyici balanssız kütlelerin açısal konumlarını(γ_1, γ_2) belirleyerek yorumlayınız.
- Rotorda oluşan dinamik balanssızlık durumu için(Şekil 15) U_1 ve U_2 balanssızlıklarını kullanarak küçük balanssız kütleler arasındaki mesafe $a=180$ mm alındığında dengeleyici kuvvetler arasındaki mesafeyi(b) belirleyerek yorumlayınız.
- Rotorda oluşan genel balanssızlık durumu için(Şekil 17 ve Şekil 18) U_1 ve U_2 balanssızlıklarını kullanıp küçük balanssız kütleler arasındaki açısal konum $2\alpha=70^\circ$ olduğunda dengeleyici balanssız kütlelerin açısal konumlarını(γ_1, γ_2) belirleyiniz. Küçük balanssız kütleler arasındaki mesafe $a=150$ mm olduğunda dengeleyici kuvvetler arasındaki mesafeyi(b) belirleyiniz.

8. KAYNAKLAR

[1] G.U.N.T. TM170 Static and Dynamic Balancing Apparatus Experiment Instruction, 2010