

MAKİNE DİNAMİĞİ (11. Hafta)

VOLAN HESABI

Pistonlu motorlar çalışırken ateşleme evresinde güç artışı, eksoz evresinde ise güç düşmesi olur. Motor çalışırken sürekli olarak dalgalı bir güç grafiği çizer. Bu güç değişimi çıkış milinde sürekli olarak momenti değişken kılarak hızın değişmesine yol açar. Bu istenmeyen bir durumdur.

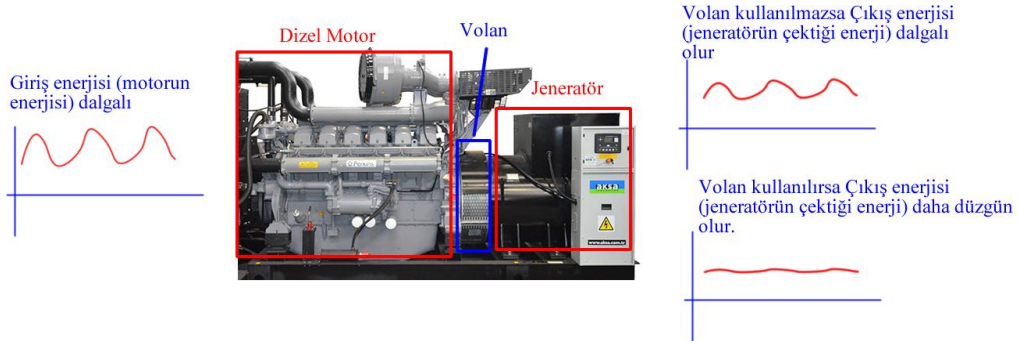
Başka bir örnek için söylersek örneğin preslerde iş esnasında çok yüksek güç gerekir. Diğer boşta çalışırken bu güce ihtiyaç olmaz. Eğer direk olarak bu gücü elektrik motorundan elde edersek istenen işi yapabilmek için çok büyük bir motor bağlamamız gerekecektir.

Bunu önlemek için gücün arttığı evrede enerjinin bir kısmı bir yerde depolanabilir ve gücün düştüğü evrede ise gerekli olan güç o depolanan yerden çekilebilir ve bu dalgalanma daha az olacaktır.

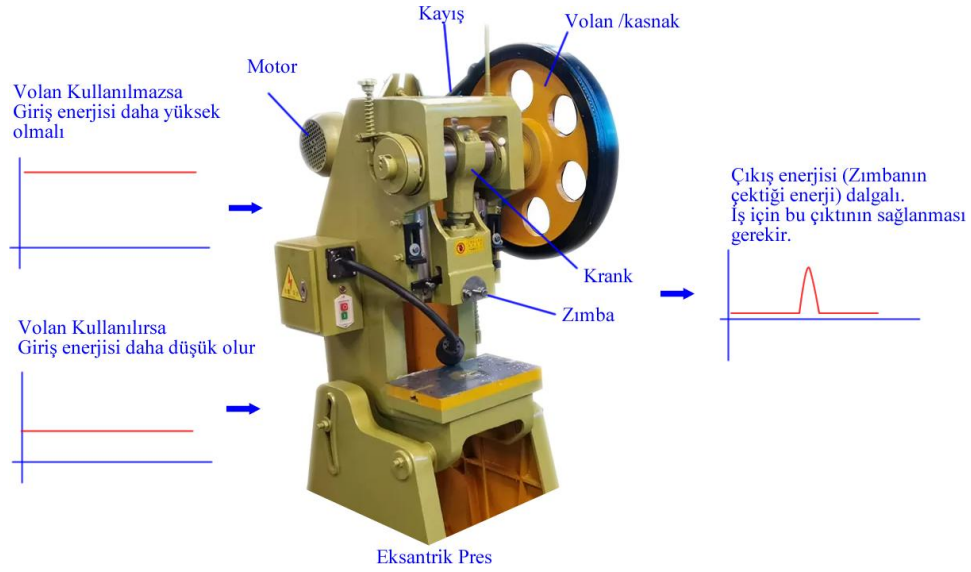
İşte bu amaçla düzensiz çalışan sistemlerde **açısız hızdaki dalgalanmaları azaltmak** amacıyla kullanılan atalet kütlesi yüksek elemanlara Volan (Flywheel) denilir. Volan kinetik enerjiyi depolayarak ve gerektiğinde geri vererek bu dalgalanmayı azaltır.

Buna göre Volanların kullanımına iki yerde ihtiyaç vardır. Bunlar;

- Giriş karakteristiği DALGALI, çıkış karakteristiği DÜZGÜN olan bir sistemde Volan'a ihtiyaç vardır. Buna en iyi örnek Dizel Jeneratörler verilebilir. Dizel motorun çalışması patlama ve eksoz evrelerindeki güç üretimleri düzgün olmayacağından dalgalı olarak dönen çıkış mili Jeneratöre direk bağlandığında jeneratörde sürekli değişken devir oluşturacağından elektrik üretiminde güç dalgalanmasına yol açacaktır. Bunu önlemek ve jeneratörün milinin daha düzgün devirde dönmesini sağlamak için araya bir Volan konulmalıdır.

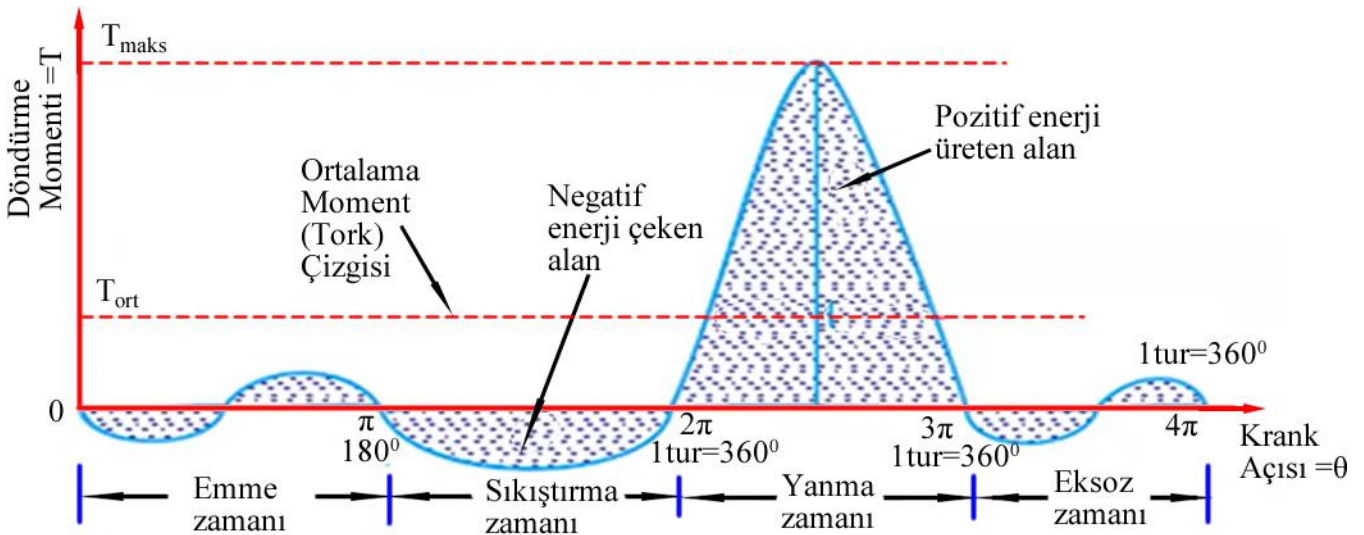


- Giriş karakteristiği DÜZGÜN, çıkış karakteristiği DALGALI olan bir sistemde yine Volan'a ihtiyaç vardır. Buna en iyi örnek Zimba Presi verilebilir. Pres delme işlemi esnasında çok yüksek güç isteyecektir. Dolayısı ile iş mili motora direk bağlandığında delmeyi gerçekleştirebilmek için çok büyük motor ihtiyacı doğacaktır. Boş zamanlarda ise motor gereksiz yere dönmüş olacaktır. Bunu önlemek için motor ile iş mili arasına bir Volan eklenirse boş zamanlarda motor enerjisini Volana aktarır. İş zamanında ise gerekli enerji Volandan çekilmiş olur ve böylece daha küçük bir motor ihtiyacı karşılanmış olur.



A- GİRİŞİ DALGALI, ÇIKIŞI DÜZGÜN İSTENEN SİSTEMDE VOLAN İHTİYACININ BELİRLENMESİ

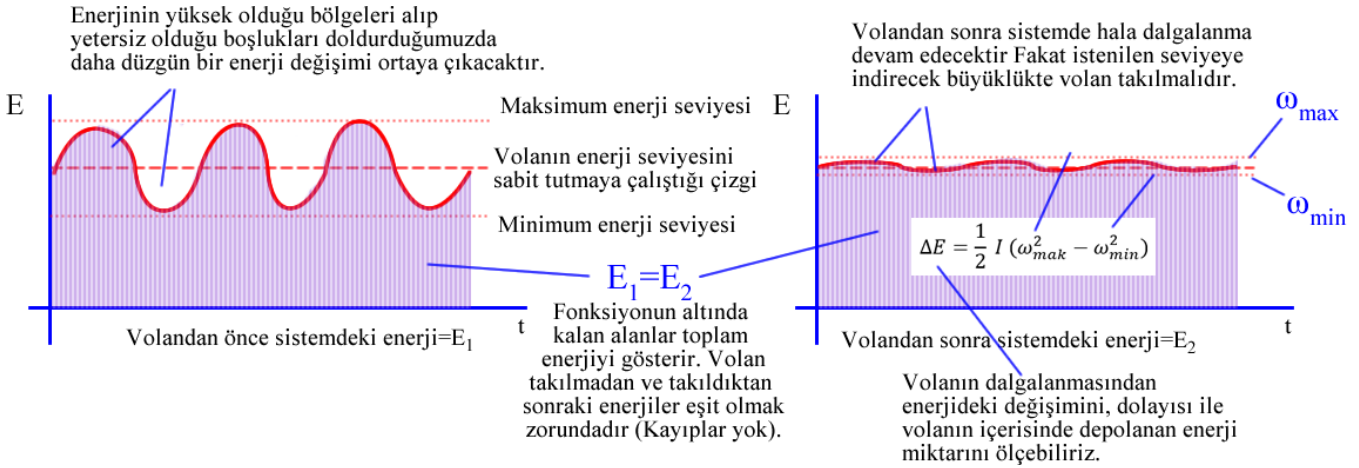
Bu tür bir sisteme örnek olarak içten yanmalı bir motor ile Jeneratörü örnek olarak vermiştik. 4 zamanlı içten yanmalı bir motor, Emme, Sıkıştırma, Yanma ve Eksoz zamanlarını tam 2 turda (4π) tamamlar. Motorun çıkış milindeki Moment grafiğine bakacak olursak en yüksek momenti Yanma zamanında üretir. Sıkıştırma zamanında işi yapabilmek için hatta dışarıdan enerji çekmesi gerekir. Böyle bir motor sabit bir moment çeken bir yere bağlanırsa her seferinde değişken bir devire neden olacaktır. Güç formülüne bakarsak $P=M*\omega$, moment sabit olursa güç değiştiğinde açısal hız değişecektir. Yada Enerji formülünden bakarsak $E=M*\theta$, dalgalı bir enerji sabit bir moment çıktısı durumunda açıyı düzgün vermeyecektir. Benzer şekilde kinetik enerji olarak bakarsak $E=(1/2)I * \omega^2$ bize hız değişimini daha iyi gösterecektir. Değişken enerji girdiğinde döner kütle (I) sabit olduğundan hız değişken olacaktır. Dolayısı ile bu motorun jeneratörde üreteceği elektrikte dalgalı olacaktır.



Şekil. İçten yanmalı bir motorun Açı-Moment grafiği (Enerji Değişim Grafiği, $E=M*\theta$). 4 zamanı 2 tam turda tamamlar.

Bir sistemin enerjisi en yüksek noktaya çıktığında, en yüksek hıza da sahip olacaktır. En düşük enerji seviyesinde de en düşük hıza sahip olacaktır. Düzgün bir hız elde edebilmek için en yüksek enerjiye çıktığı zaman bu enerjinin bir kısmını depolayıp aşırı hızlanmayı engellemek gerekir. En düşük enerji seviyesine geçerken de aşırı

yavaşlamayı engellemek için depolanan yerden enerjiyi çekmek gerekir. İşte en yüksek enerji seviyesi ile en düşük enerji seviyesi arasındaki dalgalanmayı Volanda tutup bu aşırı sivrilten kısımların törpülenmesi gerekiyor.

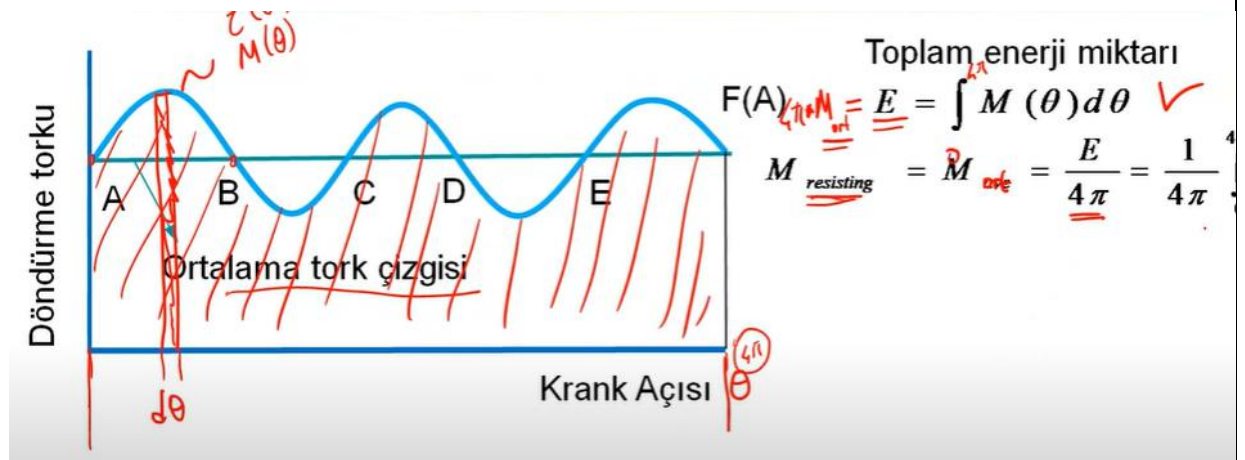


Burada birinci grafikte tepe bölgelerini çukur bölgelere doldurma işini kim yapacak. Bunu tabi ki Volan yapacak. Yani enerji yüksek olduğunda kendisinde depolayacak, enerji düştüğünde sisteme verecek. Fakat ne kadar enerjiyi tuttuğunu ve bıraktığını birinci grafikten görmek imkansızdır. Sağ taraftaki grafik bize Volanın dönmesi gereken hız aralığını yada bizim istediğimiz kabul edilebilir hız aralığını vereceğine göre Volanın içinde toplanan maksimum ve minimum enerjiyi bu hızlardan bulabiliriz. Ama bu Volanda hala kalan enerji değişimini gösterir.

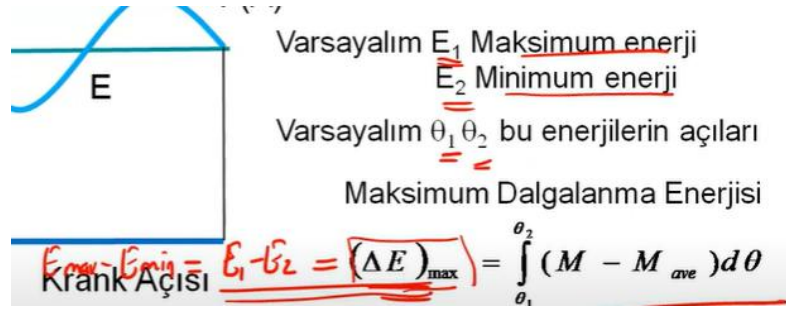
Ama bu sistemin ne kadar enerjisini tuttu ne kadarını verdi bize bunu göstermiyor. Sol taraftaki grafik eğer elimizde olursa buradaki tepe ve çukurlar ne kadar enerjinin tutulup verileceğini bize gösterir. O zaman sol taraftaki grafik bir şekilde motorun çıkış milinden ölçülmesi gerekir. Sağ taraftaki de Volan müsaade edilen maks ve min hızlarından bulabiliyoruz. Formülleri bu mantıkla çıkarmaya çalışalım.

Tork Diyagramının Çizilmesi: Bir çevrim boyunca sisteme etki eden torkun zamana veya açıya bağlı olarak değişimini gösteren tork diyagramı oluşturulur.

Ortalama Torkun Hesaplanması (T_{ort}): Bir çevrim boyunca tork diyagramının altında kalan alan (iş=enerji) hesaplanır ve çevirme açısına bölünerek ortalama tork bulunur. Dengeli bir çevrimde, ortalama tork, direnç torkuna eşit olmalıdır.

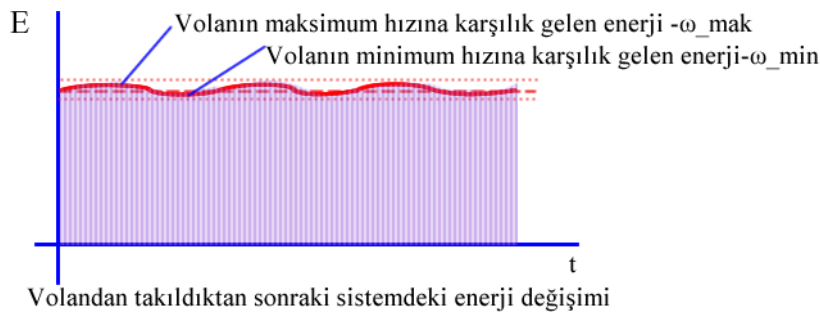


Enerji Dalgalanmasının Belirlenmesi (ΔE): Tork diyagramından, ortalama torka göre enerji fazlası ve enerji açığı olan bölgeler belirlenir. Bir çevrimdeki maksimum enerji fazlası ile maksimum enerji açığı arasındaki fark, enerji dalgalanmasını verir. Bu, tork diyagramının altında kalan alanların integrali ile bulunur.



Burada şuna dikkat etmemiz gerekiyor. Hesaplamalarımız ikinci grafiğe göre yapacağız. Yani Volan takıldıktan sonraki hız değişimlerine göre tasarım yapacağız. Bir defa bir sistemde müsaade edilen belli bir hız dalgalanması (C_s) olacaktır. Öncelikle tasarım için bu değeri bilmeliyiz. Burada ω_{mak} Volan bağlandıktan sonra sistemin müsaade edilen en yüksek hızı, ω_{min} ise Volan takıldıktan sonra müsaade edilen en düşük hızıdır. Dolayısı ile ikisi arasındaki değişim Volan takıldıktan sonra hala sistemde kalan dalgalanmayı ifade edecektir. Bu yüzden C_s katsayısını Hız dalgalanması diyeceğiz.

$$C_s = \frac{(\omega_{mak} - \omega_{min})}{\omega_{ort}} \quad (\text{Hız dalgalanması})$$



Bu grafikten şunu anlıyoruz. En yüksek enerji seviyesinde Volan en yüksek hızda olacaktır. En düşük enerji seviyesinde de Volan en düşük hızda olacaktır. Bu ikisi arasındaki fark Volanda tutulan enerji gösterir yani Volan takıldıktan sonra hala sistemde oluşan Enerji dalgalanması olacaktır (ΔE).

Volan en yüksek hızda en yüksek enerjiye (kinetik enerji) sahip olur.

$$E_{mak} = \frac{1}{2} I \omega_{mak}^2$$

Volan en düşük hızda en düşük enerjiye sahip olur.

$$E_{min} = \frac{1}{2} I \omega_{min}^2$$

İki enerji arasındaki fark Volanda tutulan enerjidir. (ΔE : Volan takıldıktan sonraki sistemde hala kalan Enerji dalgalanması olmuş olur)

$$\Delta E = (E_{mak} - E_{min}) \Rightarrow \Delta E = \left(\frac{1}{2} I \omega_{mak}^2 - \frac{1}{2} I \omega_{min}^2 \right)$$

Ortak paranteze alalım

$$\Delta E = \frac{1}{2} I (\omega_{mak}^2 - \omega_{min}^2)$$

Çarpanlara ayırılım.

$$\Delta E = \frac{1}{2} I (\omega_{mak} - \omega_{min})(\omega_{mak} + \omega_{min})$$

Ortalama hız formülünü yerine yazalım

$$\omega_{ort} = \frac{(\omega_{mak} + \omega_{min})}{2} \Rightarrow \Delta E = I (\omega_{mak} - \omega_{min}) \omega_{ort}$$

Hız düzgünlük katsayısı (hız dalgalanma)(Cs) katsayısını yerine yazalım. Bu işlem için pay ve paydayı ω_{ort} ile çarpalım.

$$C_s = \frac{(\omega_{mak} - \omega_{min})}{\omega_{ort}} \Rightarrow \Delta E = \frac{I (\omega_{mak} - \omega_{min}) \omega_{ort}^2}{\omega_{ort}} \Rightarrow$$

$$\boxed{\Delta E = I C_s \omega_{ort}^2}$$

Buradan Volan Kütle atalet momentini çekersek

$$I = \frac{\Delta E}{C_s \omega_{ort}^2}$$

Burada ΔE volanın depoladığı enerjiyi, C_s sistemde volandan sonra hedeflenen hız düzgünlüğü, ω_{ort} sistemden istenen esas hızı ortalama hızı gösterir.

$$C_s = \frac{(\omega_{mak} - \omega_{min})}{\omega_{ort}} \quad \omega_{ort} = \frac{(\omega_{mak} + \omega_{min})}{2}$$

Formülü C_s çekerek yazdığımızda bize şunu söyler. Ne kadar düzgün çıkış hızı elde etmek istiyorsak o kadar büyük Atalet momentine sahip Volan bağlamalıyız.

$$C_s = \frac{\Delta E}{I \omega_{ort}^2}$$

$\frac{\omega_{mak} - \omega_{min}}{\omega_{ort}} = k_s$ Hız dalgalanma katsayısı

Sistem	İzin verilebilen değer k_s
Pompalar, Kesme makineleri	1/5 – 1/30
Takım Tezgahları, Tekstil Makinaları	1/40 – 1/50
Jeneratörler	1/100 – 1/300
Otomobiller	1/200 – 1/300
Uçak motorları	1/1000 – 1/2000

Bu formülde bize C_s verilir. Yani sistemde hedeflenen hız düzgünlüğü baştan belirlenir. Ortalama hızımızda bellidir. Buda verilmeli. I atalet momentini zaten bulmak istiyoruz. Yani ne kadar büyüklükte Volan takacağımızı bulmaya çalışıyoruz. O zaman Volandanın içinde tuttuğu enerji dalgalanması ΔE enerji miktarını nasıl bulacağız? Esas problem bunu bulmaktır.

$$\Delta E = \frac{I \omega_{ave}^2 (\omega_{max} - \omega_{min})}{\omega_{ave}}$$

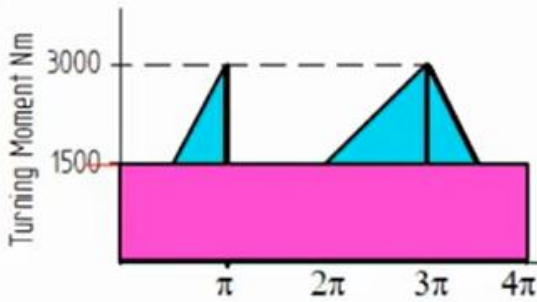
$$\frac{(\omega_{max} - \omega_{min})}{\omega_{ave}} = k_s$$

Hız dalgalanma katsayısı

$$\Delta E = I \omega_{ave}^2 k_s$$

$$I = \frac{\Delta E}{\omega_{ave}^2 k_s}$$

Sistem	İzin verilebilen değer k_s
Pompalar, Kesme makineleri	1/5 – 1/30
Takım Tezgahları, Tekstil Makinaları	1/40 – 1/50
Jeneratörler	1/100 – 1/300
Otomobiller	1/200 – 1/300
Uçak motorları	1/1000 – 1/2000



Volan takılı bir makinenin mili 300 dev/dak dönmektedir. Makinenin tork gereksinimi şekilde görüldüğü gibi her bir 4π de tekrarlanmaktadır. Eğer mile bağlanan motorun torku sabit ve volanın kütlesi 500 kg ve atalet yarıçapı (radius of gyration) 400 mm ise:

- Makineyi sürebilmek için gerekli olan motor gücünü bulunuz.
- Hız dalgalanma/düzensizlik katsayısını (coefficient of fluctuation of speed)

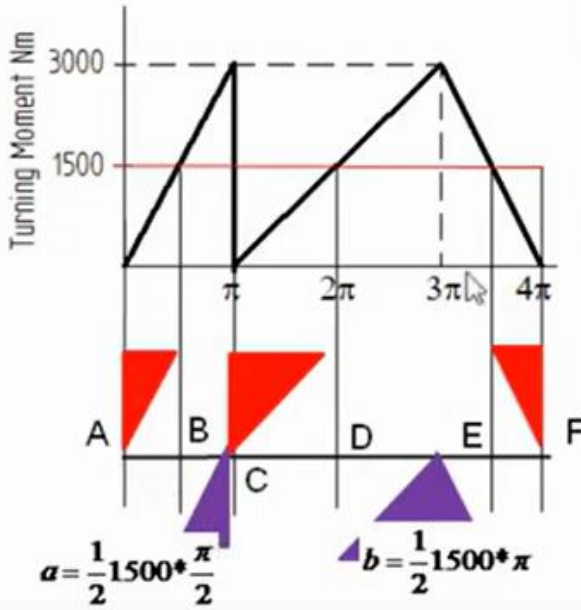
$$P_{elektrik\ motor\ gücü} = Tork_{ort} * \omega_{ort} \quad \omega_{ort} = 300 \frac{2\pi}{60} = 31.42 \text{ rad/s}$$

$$E_{top} = \int T(\theta) d\theta = 2 * \frac{1}{2} * 3000 * \pi + \frac{1}{2} 3000 * 2\pi$$

$$E_{top\ elektrik\ motor} = \int T(\theta) d\theta = Tork_{ort} * 4\pi$$

$$Tork_{ort} * 4\pi = 2 * \frac{1}{2} * 3000 * \pi + \frac{1}{2} 3000 * 2\pi$$

$$Tork_{ort} = 1500 \text{ Nm} \quad P_{elektrik\ motor\ gücü} = 1500 * 31.42 = 47.12 \text{ kW}$$

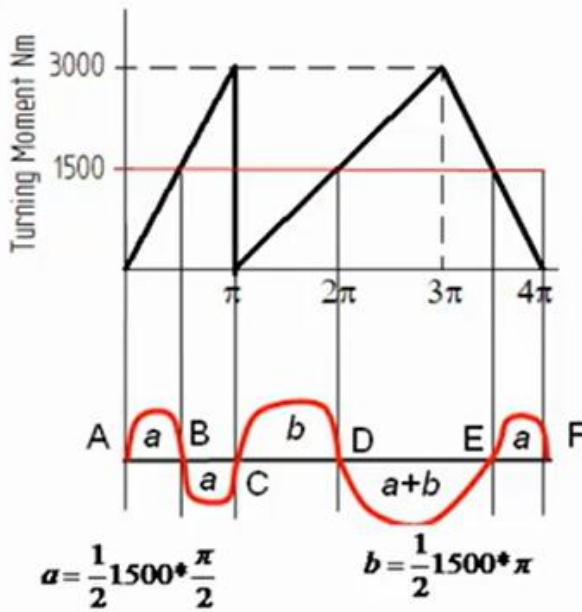


Volan takılı bir makinenin mili 300 dev/dak dönmektedir. Makinenin tork gereksinimi şekilde görüldüğü gibi her bir 4π de tekrarlanmaktadır. Eğer mile bağlanan motorun torku sabit ve volanın kütlesi 500 kg ve atalet yarıçapı (radius of gyration) 400 mm ise:

- Makineyi sürebilmek için gerekli olan motor gücünü bulunuz.
- Hız dalgalanma/düzgünsüzlük katsayısını (coefficient of fluctuation of speed)

$$\omega_{ort} = 300 \frac{2\pi}{60} = 31.42 \text{ rad/s}$$

$$Tork_{ort} = 1500 \text{ Nm}$$



Volan takılı bir makinenin mili 300 dev/dak dönmektedir. Makinenin tork gereksinimi şekilde görüldüğü gibi her bir 4π de tekrarlanmaktadır. Eğer mile bağlanan motorun torku sabit ve volanın kütlesi 500 kg ve atalet yarıçapı (radius of gyration) 400 mm ise:

- Makineyi sürebilmek için gerekli olan motor gücünü bulunuz.
- Hız dalgalanma/düzgünsüzlük katsayısını (coefficient of fluctuation of speed)

$$\omega_{ort} = 300 \frac{2\pi}{60} = 31.42 \text{ rad/s}$$

$$Tork_{ort} = 1500 \text{ Nm}$$

$$E_A = E_A$$

$$E_B = E_A + a$$

$$E_C = E_B - a = E_A$$

$$E_D = E_C + b = E_A + b \quad \text{Max.}$$

$$E_E = E_D - (a + b) = E_A - a \quad \text{Min.}$$

$$E_F = E_E + a = E_A$$

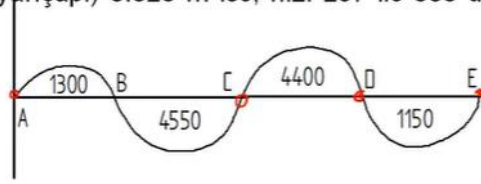
$$\Delta E = E_A + b - (E_A - a) = 1125\pi \text{ (Nm)Joule}$$

$$\Delta E = 1125\pi = mk^2 \omega_{avg}^2 k_s$$

$$k_s = 0.045$$

Örnek 4.2

Bir döndürme momenti diyagramında, sırasıyla alınan ortalama tork çizgisinin üstündeki ve altındaki alanlar sırasıyla 1300, 4550, 4400 ve 1150 mm²'dir. Dönüş momenti diyagramının ölçeği: 1mm²=1.5N-m. Atalet yarıçapı (eylemsizlik yarıçapı) 0.525 m ise, hızı 297 ile 303 dev/dak arasında tutmak için gereken volanın kütlesini bulun.



$$k = 0,525$$

$$1 \text{ mm}^2 = 1,5 \text{ N-m}$$

$$W_{\max} = 303 \text{ dev/dak}$$

$$W_{\min} = 297 \text{ dev/dak}$$

$$\Delta E = I W_{\text{ort}}^2 k_s$$

E_A

$$E_B = E_A + 1300 \quad \leftarrow E_{\max}$$

$$E_C = E_B - 4550 = E_A + 1300 - 4550 = E_A - 3250 \quad \leftarrow E_{\min}$$

$$E_D = E_C + 4400 = E_A - 3250 + 4400 = E_A + 1150$$

$$E_E = E_D - 1150 = E_A + 1150 - 1150 = E_A$$

$$\Delta E = E_A + 1300 - (E_A - 3250) = 4550 \text{ mm}^2$$

$$\Delta E = 4550 \cdot 1,5 = 6825 \text{ Nm}$$

$$W_{\text{ort}} = \frac{W_{\max} + W_{\min}}{2} = \frac{303 + 297}{2} = 300 \text{ dev/dak}$$

$$k_s = \frac{W_{\max} - W_{\min}}{W_{\text{ort}}} = \frac{303 - 297}{300} = 0,02$$

$$W_{\text{ort}} = 300 \cdot \frac{2\pi}{60} = 31,416 \text{ rad/s}$$

$$6825 = m k^2 W_{\text{ort}}^2 k_s = m (0,525)^2 (31,416)^2 \cdot 0,02 \Rightarrow m = 1254,44 \text{ kg}$$

Notları düzenleme henüz bitmedi. İnternette farklı kaynaklardan da çalışın..

<https://www.youtube.com/@SadettinKapucu>