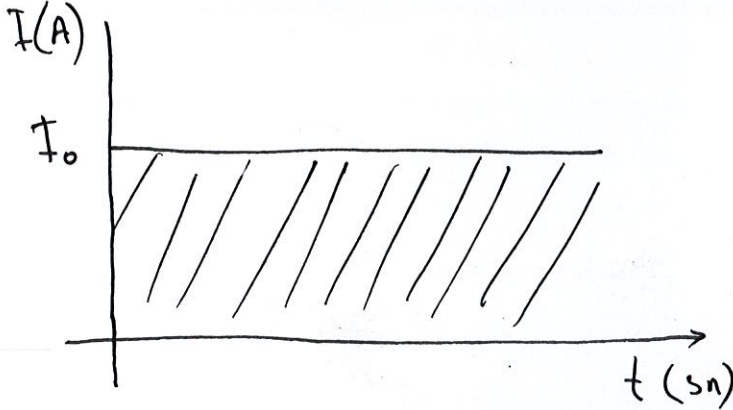


DOĞRU AKIM (DC direct current)

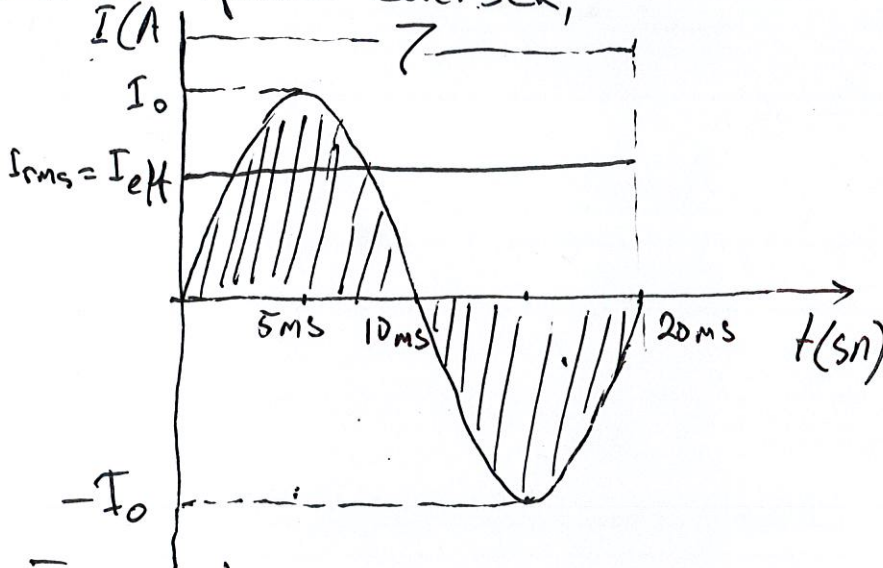
Doğru akım, zamana bağlı olarak akım değeri ve akış yönü (kutbu) değişmeyen akımdır. Bu nedenle, akımın etkin değeri akım değerinin altında kalan alandır.



$$i(t) = I_0$$

ALTERNATİF AKIM (AC alternative current)

Zamana bağlı olarak ritmik değişiklik gösteren akımdır. Sinüs formatında ifade edersek,



$$i(t) = I_0 \sin \omega t \text{ şeklinde yazılabilir.}$$

Alternatif akımda temel frekans 50 Hz olduğu için, sinüs dalganın bir period zamanı

$$T = 1000 \div 50 = 20 \text{ ms'dir}$$

5ms, 10ms ve 20ms zaman değerlerinde akım büyüklüklerini hesaplamak için,

$$i(t) = \hat{I}_0 \sin \omega t = \hat{I}_0 \sin 2\pi f t = \hat{I}_0 \sin 100\pi t \quad f = 50 \text{ Hz}$$

$$i(5\text{ms}) = \hat{I}_0 \sin 100\pi \cdot 0,005 = \hat{I}_0 \sin 0,5\pi = \hat{I}_0$$

$$i(10\text{ms}) = \hat{I}_0 \sin 100\pi \cdot 0,01 = \hat{I}_0 \sin \pi = 0$$

$$i(15\text{ms}) = \hat{I}_0 \sin 100\pi \cdot 0,015 = \hat{I}_0 \sin 1,5\pi = \hat{I}_0 \sin \frac{3\pi}{2} = -\hat{I}_0$$

Burada akımın etkin değeri, sinüs eğrisinin zaman eksenine ile arasında kalan alandır. Alternatif akımın etkin değerini bulmak için,

$$I_{\text{eff}} = I_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2(t) dt} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T \hat{I}_0^2 \sin^2 \omega t dt} \approx \frac{\hat{I}_0}{\sqrt{2}}$$

$I_{\text{eff}} = I_{\text{rms}} = \frac{\hat{I}_0}{\sqrt{2}}$ bulunur. Ampermetrede akımın I_{eff} (I_{rms}) değerini okuruz.

HARMONİK NEDİR, NASIL OLUR

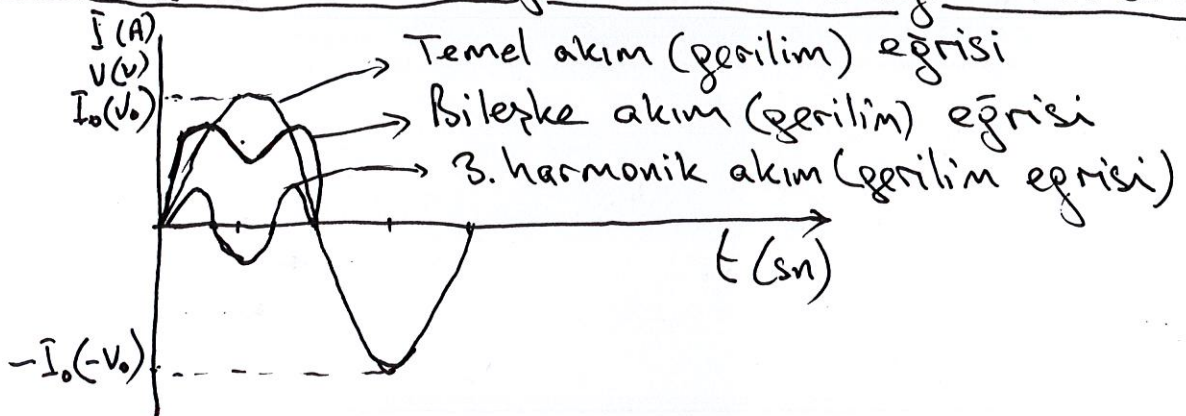
Ülkemizde temel bileşen olarak adlandırılan dalga 50Hz frekansında olup, bunun dışında tam sayı katlarındaki frekanslarda olan diğer dalgalar "harmonik" olarak adlandırılır.

Harmonik içerikli akım çekilmesinin nedenlerinden bazıları

- motorların manyetik devrelerinde doyma
- doyma bölgesinde çalışan transformatörlerin mıknatıslanma akımları
- Motor hız kontrol üniteleri, sürücüler
- ark fırınları
- endüksiyon eritme ve ısıtma fırınları
- yarı iletken kontrollü cihazlar (tristörler)
- kesintisiz güç kaynakları
- bilgisayarlar
- flouresan lambalar ve elektronik balastlar
- kaynak makineleri
- doğrultucular

Enerji sistemlerinde önemli başlıca harmonik kaynaklarından biri, tek fazlı ve üç fazlı doğrultuculardır. Üç fazlı ideal (denge) doğrultucuların bir fazlı doğrultuculara göre avantajı, üç fazlı doğrultucuların üç ve üçün katları harmonik üretmemesidir.

Harmoniklerin akım ve gerilim sinüs dalgalarına etkileri



Harmoniklerin sebep olduğu arızalar

- * Elektromekanik cihazlarda ve kablolarda ısınmalar,
- * mototlarda mekanik titreşimler, (vibrasyon)
- * ateşleme devrelerinin anormal çalışması,
- * elektronik kart arızaları,
- * güç kondansatörlerinde güç kayıpları ve delinmeler,
- * termik şalter aşmaları,
- * enerji kayıpları,

Kablolara ve iletkenlere etkisi

Kabloların ve iletkenlerin akım taşıma kapasitesi etkin değere göre belirlenir. Aneak harmonik bileşenlerin yüzdesi arttığında kablodan veya iletkenden geçen akım miktarı da artmaktadır. Üstelik bu harmonik akımları, küçük olsalar bile, ait oldukları frekans üzerinden taşınmaktadır. Yüksek frekanslarda taşınan akımlar kabloların ve iletkenlerin aşırı ısınmasına neden olurlar.

Kablolarda ve iletkenlerde ısınmanın bir başka nedeni de, frekans arttıkça kablolarda akımın taşıyacağı alanın küçülmesidir.

DC akım



AC akım



akımın geçtiği alan

Akımın taşıdığı alan küçüldüğünde, kabloların ısınması artacaktır. Kabloların ısınması, direncin artmasına ve bu nedenle sistemde enerji kaybına neden olacaktır.

Aşırı ısınan kablolarda izolasyon zayıflaması meydana gelir. Kablolarda erime başlayacak sonrasında ise kısa devre oluşmasına hatta yangın çıkmasına neden olacaktır.

Motorlara etkisi

Alternatif akım motorları harmoniklere bağlı olarak gerilim bozulmalarından etkilenir bu nedenle rotor hızında salınımlar meydana gelir. Gerilim içindeki harmonikler girdap (eddy) ve çekirdek kayıplarını artırır. diğ gibi pozitif (doğru) ve negatif (ters) bileşenler oluşturarak tork'un değişimine yol açar. Bu değişim milin titremesine neden olur.

Temel bileşen akımları

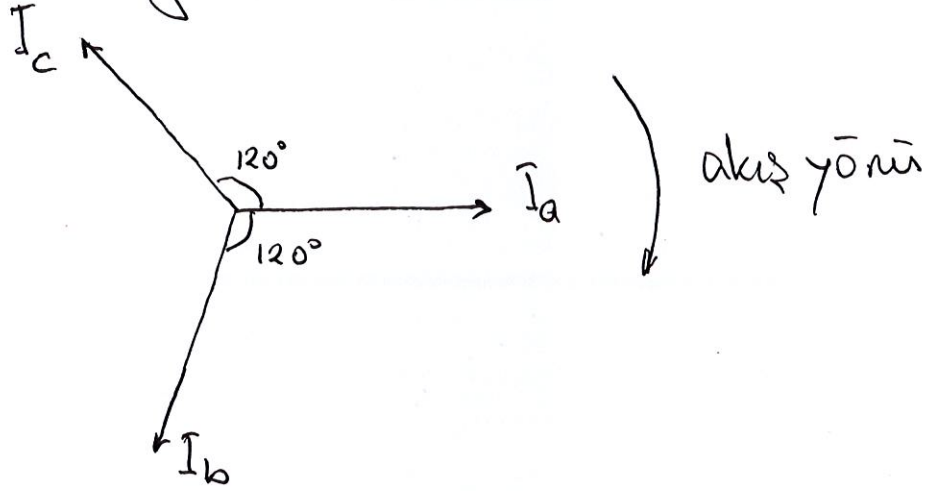
Dengeli bir nonlineer yük akımının temel bileşeninin efektif değeri I_1 ve temel frekans için hesaplanan açısal frekansı ω_1 olmak üzere a, b, c fazlarına ait yük akımlarının temel bileşenleri

$$i_a(t) = I_1 \sin \omega_1 t$$

$$i_b(t) = I_1 \sin(\omega_1 t - 120^\circ)$$

$$i_c(t) = I_1 \sin(\omega_1 t + 120^\circ)$$

Fazör diagramı;



Harmonik akımları fazör diagramı

Nonlineer yük akımının n . harmonik bileşeninin efektif değeri \hat{I}_n olmak üzere a, b, c faz akımlarının n . harmonik bileşenlerinin anı değerleri

$$i_{a_n}(t) = \hat{I}_n \sin(n\omega t)$$

$$i_{b_n}(t) = \hat{I}_n \sin(n\omega t - n120^\circ)$$

$$i_{c_n}(t) = \hat{I}_n \sin(n\omega t + n120^\circ) \text{ eşitlikleri ile tanımlanır.}$$

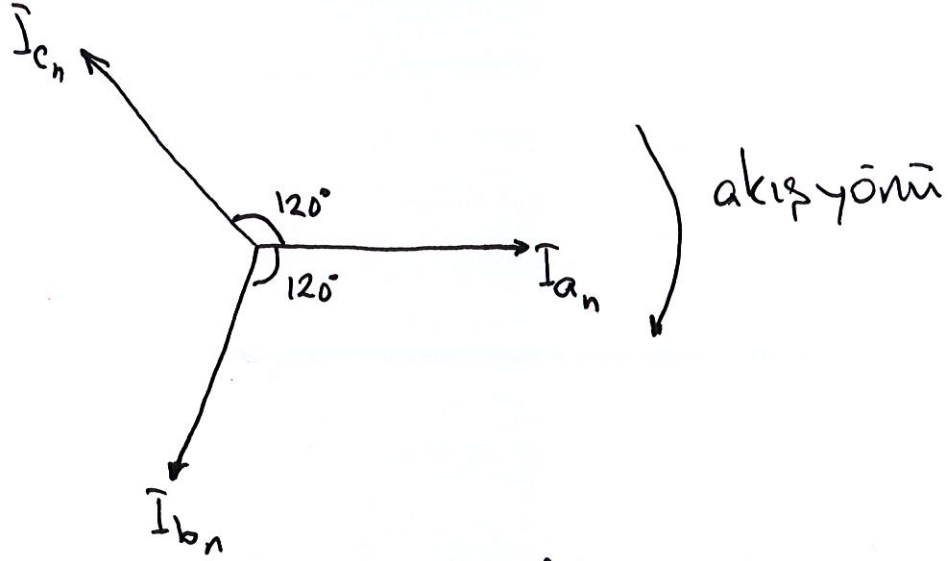
n için 1, 4, 7, 10, 13, ... harmonik akım değerlerinin formülleri;

$$i_{a_n}(t) = \hat{I}_n \sin(n\omega t)$$

$$i_{b_n}(t) = \hat{I}_n \sin(n\omega t - 120^\circ)$$

$$i_{c_n}(t) = \hat{I}_n \sin(n\omega t + 120^\circ) \text{ şeklinde olur. Buna}$$

fazör diagramı çizildiğinde,



- Fazör diagramından da görüldüğü gibi (4, 7, 10, 13, 16, 19, ...) nolu harmonik akımları, temel frekandaki akım ile aynı yönde hareket ederler. Bunlara pozitif bileşen harmonikler denir ve rotor milinde torku artırıcı yönde etki ederler.

n için 2, 5, 8, 11, 14, ... harmonik akım değerlerinin formülleri;

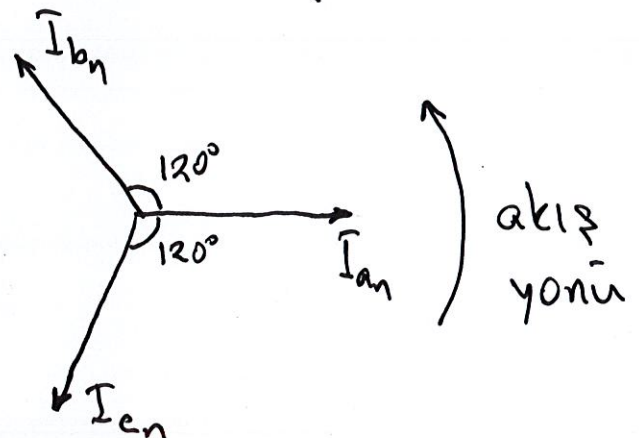
$$i_{a_n}(t) = I_n \sin(n\omega t)$$

$$i_{b_n}(t) = I_n \sin(n\omega t + 120^\circ)$$

$$i_{c_n}(t) = I_n \sin(n\omega t - 120^\circ)$$

olarak ifade edilir.

Fazör diagramı ise;



Fazör diagramına baktığımızda 2, 5, 8, 11, 14, 17... nolu harmonik akımları, temel frekanstaki akım ile ters yönde hareket ederler. Bunlar, negatif bileşen harmonikler olarak adlandırılırlar ve rotor milinde torku azaltıcı yönde etki ederler.

Bu nedenle, pozitif ve negatif bileşen harmonik akımları rotor milinde titreşimlere neden olurlar.

Ateşleme devrelerinin anormal çalışması

Harmonikler, CNC tezgahlarda düğün sinüs formundaki gerilim/zaman değerine göre ayarlanmış programlarda, vaktinden önce devreye girme veya geç devreden çıkma işlemlerine neden olurlar. Gerilim harmoniklerinin etkin değerlerine bağlı olarak yukarıdaki işlemin tersi de olabilir. Anahtarlama sistemleri (ateşleme düzeneği) geç devreye girer veya erken devreden çıkar.

Elektronik kart arızaları

Harmonikler, uygun şartlar oluştuğunda sistemde paralel rezonans'ın meydana gelmesine neden olurlar. Paralel rezonans'ın oluştuğu anda sistemde ani ve çok yüksek gerilim meydana gelir. Bu nedenle elektronik kartlar hasar görünür.

Harmoniklerin Kondansatörlere etkisi

Harmonik akımlar, kondansatörlerde kapasite aşılmasına, kondansatör ömrünün kısalmasına ve delinmeye (patlamaya) neden olur. Kondansatör reaktans formülü,

$$X_c = \frac{1}{j\omega C} \quad \omega = 2\pi f \Rightarrow X_c = \frac{1}{j2\pi f C}$$

Frekans arttıkça kondansatörlerin reaktans değeri azalır. Bu nedenle, yüksek frekanslı harmonikli bir sistemde kondansatörün çektiği akımın etkin değeri artar.

Termik şalter ve termik röle aşmalarına etkisi

Bimetal malzeme ile üretilmiş termik şalter ve termik röleler, harmonik akımlardan etkilenerek aşırı derecede ısınarak, set edilen akım değerlerinden önce devreleri açarlar.

Enerji kayıplarına etkisi

Harmoniklerin enerji kayıplarına etkisi,

- i) yük akımına bağlı kayıplar,
- ii) gerilime bağlı kayıplar,

olmak üzere iki kısma ayrılır. Akıma bağlı kayıplara hat iletkenleri üzerinde oluşan ısı kayıpları, elektrik makinelerinin sarj dirençleri nedeniyle oluşan ısı kayıpları (bakır kayıpları)

gerilime bağılı kayıplara, elektrik motorlarında ve trafolarında oluşan demir kayıpların örnek gösterilebilir.

Akım bağılı kayıplar

$$P_k = P_{k_1} + P_{kh} = I_1^2 R_1 + \sum_{h=2}^n I_h^2 R_h$$

Harmonik akımların genliği arttıkça ek kayıplar da artmaktadır.

Gerilime bağılı kayıplar

Motor, trafo, bobin gibi magnetik çekirdekli elemanlarda meydana gelen demir (nüve) kayıplar, histerisis kayıpları ve fuko (girdap) kayıpları olarak iki kısma ayrılır.

a) histerisis kayıpları, frekans (f) ve gerilimin karesi (V^2) ile doğru orantılı artar.

b) fuko kayıpları frekansın karesi (f^2) ve gerilimin karesi (V^2) ile doğru orantılı artar.

Demir kayıplarının artması elektrik makinelerinin aşırı ısınmasına, özellikle transformatörlerin yüklenebileceği güç değerlerinin ağırlaşmasına neden olur.

Harmonik olan şebekelerde akım ve gerilim hesabı

Temel frekansta (50 Hz) akan akım değeri I_1 ise,
harmonik bileşenlerin dahil olduğu toplam akım değeri

$$I_{rms} = \sqrt{I_1^2 + I_2^2 + I_3^2 + I_4^2 + I_5^2 + \dots + I_n^2} = \sqrt{I_1^2 + \sum_{h=2}^n I_h^2}$$

formülü ile hesaplanır.

Aynı şekilde harmonik bileşenli gerilim,

$$V_{rms} = \sqrt{V_1^2 + V_2^2 + V_3^2 + V_4^2 + V_5^2 + \dots + V_n^2} = \sqrt{V_1^2 + \sum_{h=2}^n V_h^2}$$

formülü ile ifade edilir. Burada V_1 temel frekansta işletme gerilimidir.

ÖRNEK: Ölçümlere sonrasında bir sistemde temel frekanstaki akım ve harmonik akım değerleri aşağıdaki gibi bulunmuştur. Toplam I_{rms} değeri nedir?

$$I_1 = 148 \text{ A} \quad I_3 = 11 \text{ A} \quad I_5 = 28 \text{ A} \quad I_7 = 14 \text{ A} \quad I_n = 32 \text{ A}$$

$$I_{rms} = \sqrt{148^2 + 11^2 + 28^2 + 14^2 + 32^2} = 155 \text{ A}$$

Yukarıda görüldüğü gibi temel frekansta akım 148 A iken, harmonik akımları nedeniyle toplam I_{rms} değeri 155 A'ye yükseliyor. Aradaki fark sadece 7 A olduğu halde kablo neden ısınıyor? Çünkü harmonik bileşenlerin deki akımlar kendi frekanslarında taşıyor.

Toplam Harmonik Distorsiyonu (THD)

Temel bileşen dışındaki tüm harmoniklerin, temel bileşene oranla boyutları hakkında fikir veren bir büyüklüktür. Akım ve gerilim harmoniklerinin belirli bir değerin altında sınırlandırılmasını amaçlayan, güç kalitesi ve harmoniklerle ilgili standartlarda çok yaygın olarak kullanılan bir büyüklüktür. THD akım ve gerilim için sırasıyla,

$$THDI = \frac{\sqrt{I_2^2 + I_3^2 + I_4^2 + \dots + I_n^2}}{I_1} = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^n I_h^2}}{I_1}$$

$$THDV = \frac{\sqrt{V_2^2 + V_3^2 + V_4^2 + \dots + V_n^2}}{V_1} = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^n V_h^2}}{V_1}$$

formülleri ile ifade edilirler.

Tekil Harmonik Distorsiyon (HD)

Herbir harmonik bileşenin temel bileşene oranının büyüklüğüne tekil harmonik distorsiyonu denir. Gerilim ve Akım n harmonik mertebesinde

$$HD_V = \frac{V_n}{V_1}$$

$$HD_I = \frac{I_n}{I_1}$$

olarak tanımlanır.

ÖRNEK: Yapılan ölçümde $I_1=80A$ $I_3=18A$ $I_5=28A$
 $I_7=22A$ $I_{11}=14A$ değerleri bulunmuştur.
Sistem akımının efektif değerini (I_{eff}), THDI ve
tekil harmonik distorsiyonları hesaplayınız.

$$I_{eff} = I_{rms} = \sqrt{80^2 + 18^2 + 28^2 + 22^2 + 14^2} = 90,49A$$

$$THDI = \frac{\sqrt{18^2 + 28^2 + 22^2 + 14^2}}{80} = \frac{42,28}{80} = 0,5286 \quad \%52,86$$

$$HD_{I_3} = \frac{18}{80} = 0,225 \Rightarrow \%22,5$$

$$HD_{I_5} = \frac{28}{80} = 0,35 \Rightarrow \%35$$

$$HD_{I_7} = \frac{22}{80} = 0,275 \Rightarrow \%27,5$$

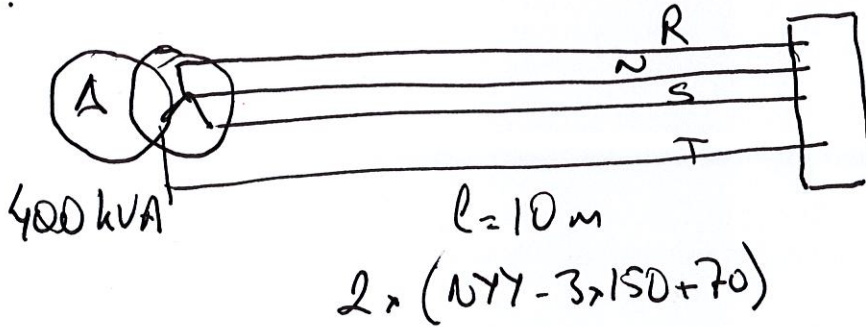
$$HD_{I_{11}} = \frac{14}{80} = 0,175 \Rightarrow \%17,5$$

Nötr barasında gerilimin nedeni

Çok hassas ölçü aletleri için nötr ile toprak barası arasında gerilim olmaması istenir. Aksi halde ölçü cihazına enerji vermek istemezler. Nötr barası ile toprak barası arasında gerilim okuyorsak nedeni ne olabilir. Çözümünün aklına ilk anda trifaz sistemde dengesiz yük dağılımı olduğunu gelir. Bir örnek çözüm ile dengesiz yük dağılımının, nötr barasında gerilim okumamıza neden olur mu hesaplayalım.



400 kVA güç trafosu ile ana dağıtım panosu arası 10 m ve pano iki adet NYY-3x150+70 mm² kablo ile beslen-
sin.



Faz akımı ; $S = \sqrt{3} V I$ $I = \frac{S}{\sqrt{3} V} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 578 A$,

Trifaze bir sistemde en kötü yük dağılımı, sistemi monofaze beslemek olur. Bu durumda nötr'den geçecek akım faz akımına eşit olur.

Nötr hattı direnci,

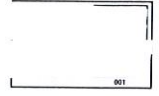
$$R = \frac{l}{\mu A} = \frac{10}{5 \times 2 \times 70} = 0,001275 \Omega \Rightarrow 1,275 m\Omega$$

Nötr üzerinde oluşabilecek gerilim,

$$U = I \cdot R = 578 \times 0,001275 = 0,737 V$$

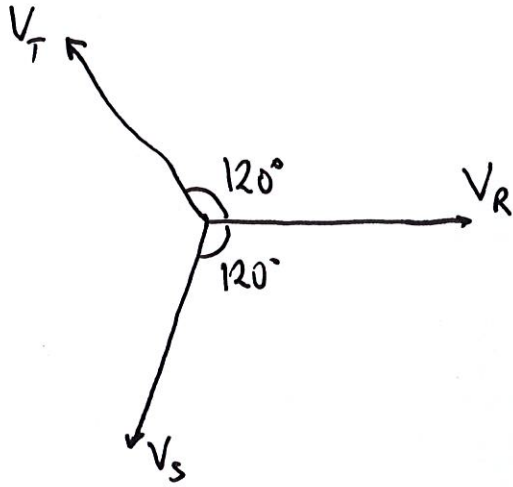
Görüldüğü gibi, en dengesiz yük dağılımında dahi nötr üzerinde oluşan gerilim çok küçüktür.

Nötr üzerinde oluşan gerilimin nedeni, sistemde üçüncü harmonik gerilim ve akımların yoğunluğudur.



Eğer bir şebekede monofaze almaçlar (bilgisayarlar, floresan armatürler, kesintisiz güç kaynakları) çok fazla ise 3. harmonik gerilim ve akımların olma olasılığı fazladır.

Sıfır (zero) bileşen harmonikler (n: 3, 6, 9, 12, 15, 18, ...)



$$V_{R_n} = V_{0n} \sin h\omega t$$

$$V_{S_n} = V_{0n} \sin(h\omega t - h120^\circ)$$

$$V_{T_n} = V_{0n} \sin(h\omega t + h120^\circ)$$

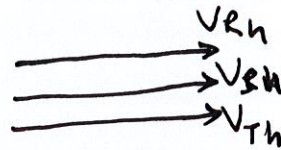
$$h = 3, 6, 9, 12 \dots \text{ için}$$

$$V_{R_n} = V_{0n} \sin h\omega t$$

$$V_{S_n} = V_{0n} \sin h\omega t$$

$$V_{T_n} = V_{0n} \sin h\omega t \text{ olur.}$$

Fazör diagramı



şeklinde olur.

V_{0n} değerleri ne kadar büyükse, nötr üzerinde $V_{R_n}, V_{S_n}, V_{T_n}$ gerilim dalgaları üst üste binerek toplam bir gerilim meydana getirirler.

Örneğin;

$V_{R_3} = V_{S_3} = V_{T_3} = 12 \text{ V}$ ise nötr üzerinde 36 V bir gerilim okuruz.

Aynı şekilde \bar{u}_3 ve \bar{u}_{3n} katları ($n: 3, 6, 9, 12, 15, \dots$) akım harmonikleri için de aynı hesap yöntemi yapılır.

Örnek: Temel frekansa R, S, T faz akımları sırası ile 68 A, 66 A ve 67 A'dir. 3. harmonik faz akım değerleri ise 30 A, 28 A ve 30 A'dir. Nötr'den geçen akım değeri nedir?

Faz	Temel Frekans	3. Harmonik
R	68 A	30 A
S	66 A	28 A
T	67 A	30 A
N	1,7 A	88 A

$$i_n = \sqrt{1,7^2 + 88^2} = 88,02 \text{ A}$$

Görüldüğü gibi faz akımları altmışlı seviyelerde olmasına rağmen nötr'den 88,02 A akmaktadır. Nötr kablo kesitleri faz kesitinin yarısı kadar olmasına rağmen faz akımından fazla akım taşıması durumunda nötr kablosu ısınır. Nötr kablosunun kesitini arttırmak sadece kablounun ısınmasını azaltır. Üçüncü ve katı harmonikleri ortadan kaldırmay.

REZONANS

Devrelerinde İndüktans (L) ve kapasitans (C) bulunan her sistemin rezonansa girme olasılığı vardır. Harmoniklerin neden olduğu iki tür rezonans vardır.

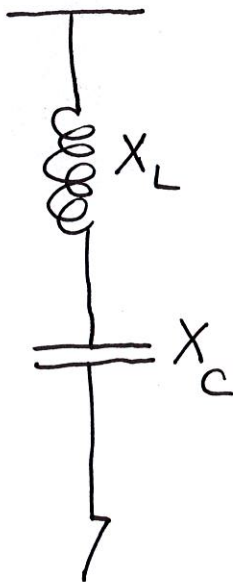
i) Seri rezonans ii) Paralel rezonans

Seri rezonans, güç trafosu ile kompanzasyon panosu bileşiminde, paralel rezonans ise motor beslemeleri ile kompanzasyon panosu bileşiminde meydana gelir.

Şimdi seri rezonans ve paralel rezonans oluşma koşullarının nasıl oluştuğunu ve etkilerinin neler olduğunu ifadeleyelim.

SERİ REZONANS

İndüktans ile kapasitansların birbirine seri bağlandığında sistemin toplam reaktansı,

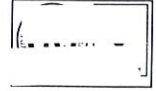


$$Z_T = X_L + X_C \text{ dir.}$$

$$X_L = j\omega L \quad X_C = \frac{1}{j\omega C}$$

$$Z_T = j\omega L + \frac{1}{j\omega C}$$

$$Z_T = \frac{1 + j^2\omega^2 LC}{j\omega C}$$



$$j = \sqrt{-1} \quad j^2 = -1 \quad \text{böylece}$$

$$Z_T = \frac{1 - \omega^2 LC}{j\omega C} \quad \text{olur.}$$

Burada kritik değer payın sıfır olmasıdır. Payın sıfıra eşit olma şartını inceleyelim.

$$1 - \omega^2 LC = 0 \Rightarrow \omega^2 LC = 1$$

$$\omega^2 = \frac{1}{LC} \Rightarrow \omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

$$\omega = 2\pi f_r \Rightarrow 2\pi f_r = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

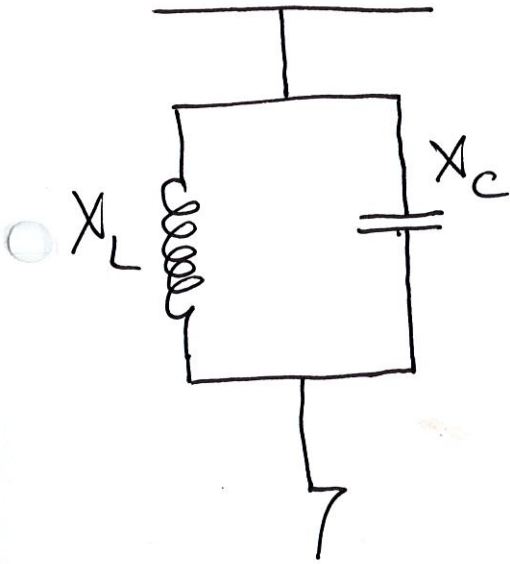
$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad // \quad \text{rezonans frekans değeri}$$

Seri rezonansda empedans sıfır değerine çok yakındır. Bu nedenle rezonans frekansındaki (f_r) harmonik akımları yoğun olarak bu devreden akar. Bu anda sistem kısıadeve demek değildir. Kompansasyon panosunda koruma elemanları NH sigorta ise, bu sigortaların çalışması kısıadeve akımına göre olduğundan, kompansasyon panosundaki baralar ve kablolar çok aşırı ısınır, erimeye başlar hatta yangın çıkmasına neden olur.



PARALEL REZONANS

İndüktans ile kapasitanslar birbirine paralel bağlandığında, sistemin toplam reaktansı



$$\frac{1}{Z_T} = \frac{1}{X_L} + \frac{1}{X_C}$$

$$\frac{1}{Z_T} = \frac{1}{j\omega L} + j\omega C$$

$$= \frac{1 + j^2\omega^2 LC}{j\omega L}$$

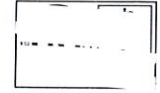
$$Z_T = \frac{j\omega L}{1 + j^2\omega^2 LC}$$

$$Z_T = \frac{j\omega L}{1 - \omega^2 LC}$$

Burada kritik değer paydanın sıfır olmasıdır.

$$1 - \omega^2 LC = 0 \Rightarrow f_R = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Paralel rezonansda, empedans çok yüksek değere (sonsuz) çıkar. Bu anda akım sabittir. Gerilim bir anda aşırı bir şekilde yükselir. Aşırı gerilim, devrede bulunan elektronik kartların, kontrol cihazlarının, ölçü cihazlarının arızalanmasına sebep olur.



Kompanzasyon sistemlerinde rezonans frekansının hesaplanması

Örnek-1 Bir işletmede trafo gücü 1600 kVA'dır. Bu trafo için tesis edilen kompanzasyon gücü 1250 kvar'dır. Kritik rezonans frekans değeri nedir?

$$S = 1600 \text{ kVA}$$

$$Q_c = 1250 \text{ kvar}$$

$$P_k = 2350 \text{ W (1600 kVA için boşta trafo kaybı)}$$

$$u_k = 0,06 \text{ (1600 kVA için kısadevre gerilimi)}$$

Burada trafonun Z değerini hesaplamamız gerekir. Bunun için önce trafo empedansını (Z_{tr}) bulalım.

$$Z_{tr} = \text{trafo empedansı}$$

$$Z_{tr} = \frac{V^2}{S} \cdot u_k = 0,06 \frac{400^2}{1600 \cdot 1000} = 0,006 \Omega$$

Hesap işlemlerinde virgülden sonra beş veya altı hane giderek asla yuvarlama yapmamalıyız. Aksi takdirde doğru bir sonuç elde edemeyiz.

$$R_{tr} = P_k \left(\frac{V}{S} \right)^2$$

$$= 2350 \left(\frac{400}{1600 \cdot 1000} \right)^2$$

$$R_{tr} = 0,00015 \Omega \Rightarrow R_{tr} = 0,15 \text{ m}\Omega$$

$$Z_{tr} = \sqrt{R_{tr}^2 + X_L^2} \Rightarrow 6 = \sqrt{0,15^2 + X_L^2}$$

$$X_L = \sqrt{6^2 - 0,15^2} \Rightarrow X_L = 5,998 \text{ m}\Omega$$

Yukarıda ifade ettiğimi gibi asla yuvarlama yapmayacağız.

$$X_L = \omega L$$

$$= 2\pi f L = 5,998 \Rightarrow L = \frac{5,998}{2 \times 3,14 \times 50} = 0,0191 \text{ mH}$$

$L = 0,0191 \text{ mH}$ trafoyun endüktans değeri

Şimdi kompanzasyon panosunun toplam kapasitans değerini hesaplıyalım.

$$Q_c = \frac{V^2}{X_c} \Rightarrow X_c = \frac{V^2}{Q_c} = \frac{400^2}{1250 \times 1000} = 0,128 \Omega$$

$$X_c = 0,128 \Omega \Rightarrow X_c = \frac{1}{\omega C} = 0,128$$

$$C = \frac{1}{0,128 \times 2\pi f} = \frac{1}{0,128 \times 2 \times 3,14 \times 50} = 0,02488 \text{ F} \Rightarrow 24,88 \text{ mF}$$

Trafoyun L ve kompanzasyon panosunun C değerini bulduğumuza göre kritik rezonans frekansını hesaplayabiliriz.

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Yukarıda L ve C değerlerini mH ve mF olarak bulduk. Ancak formülde yerlerine koyarken değerlerini H ve F cinsinden yazmak zorundayız.

$$f_R = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \sqrt{0,0191 \cdot 10^{-3} \cdot 24,88 \cdot 10^{-3}}} = \frac{1000}{6,28 \sqrt{0,689}}$$

$f_R = 230,99$ Hz kritik rezonans frekansı

Kritik Rezonans frekansının kısa devre gücü yoluyla hesaplanması

$$n_{f_R} = \sqrt{\frac{S}{Q_c \cdot U_k}} = \sqrt{\frac{1600}{1250 \cdot 0,06}} = 4,62$$

$$f_R = n_{f_R} \cdot 50 = 4,62 \cdot 50 = 231 \text{ Hz} //$$

Örnek - 2

Trafo gücü 1000 kVA ve 750 kvar kompanzasyon tesis ediliyor. Kritik rezonans frekansı nedir?

Çözüm :

$$S = 1000 \text{ kVA}$$

$$Q_c = 750 \text{ kvar}$$

$$P_k = 1600 \text{ W (1000 kVA trafo için)} \\ \text{boşta kayıp}$$

$$U_k = 0,06 \text{ (1000 kVA trafo için)} \\ \text{kısa devre gerilimi}$$

$$Z_{tr} = \frac{V^2}{S} \cdot U_k$$

$$= \frac{500^2}{1000 \cdot 1000} \cdot 0,06$$

$$Z_{tr} = 0,0096 \text{ } \Omega$$

$$Z_{tr} = 9,6 \text{ m}\Omega$$

$$R_{tr} = P_k \left(\frac{V}{S} \right)^2 = 1600 \left(\frac{400}{1000 \cdot 1000} \right)^2 = 0,000256 \Omega$$

$$R_{tr} = 0,256 \text{ m}\Omega$$

$$Z_{tr} = \sqrt{R_{tr}^2 + X_L^2} \Rightarrow 9,6 = \sqrt{0,256^2 + X_L^2}$$

$$X_L = \sqrt{9,6^2 - 0,256^2} = 9,596 \text{ m}\Omega //$$

$$X_L = \omega L = 2\pi f L = 9,596 \text{ m}\Omega \Rightarrow L = \frac{9,596}{2\pi f} = \frac{9,596}{2 \cdot 3,14 \cdot 50}$$

$$L = 0,03056 \text{ mH} // \text{trafonun endüktansı}$$

Kompanzasyon panosundaki toplam kondansatörlerin kapasitans değerinin hesaplanması

$$X_c = \frac{V^2}{Q_c} = \frac{400^2}{750 \cdot 1000} = 0,2133 \Omega$$

$$X_c = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C} = 0,2133 \Rightarrow C = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 0,2133}$$

$$C = 0,01493 \text{ F} \Rightarrow C = 14,93 \text{ mF}$$

L ve C değerlerini yerine koyarsak,

$$f_r = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \sqrt{0,03056 \cdot 10^{-3} \cdot 14,93 \cdot 10^{-3}}}$$

$$f_r = 235,74 \text{ Hz} // \text{kritik rezonans frekansı}$$

kısadevre gücü yoluyla hesaplırsak,

$$n_{fr} = \sqrt{\frac{S}{Q_c \cdot U_k}} = \sqrt{\frac{1000}{750 \cdot 0,06}}$$

$$n_{fr} = 4,714$$

$$f_R = n_{fr} \cdot 50 = 4,714 \cdot 50 = 235,70 \text{ Hz}$$

Örnek 3 :

Trafo gücü 2500 kVA ve tesis edilecek kompanzasyon 1560 kvar olsun. Kritik rezonans frekans değeri nedir?

$$S = 2500 \text{ kVA}$$

$$Q_c = 1560 \text{ kvar}$$

$$P_k = 3800 \text{ W} \text{ (2500 kVA trafonun boşta kaybı)}$$

$$U_k = 0,06 \text{ (2500 kVA trafonun kısadevre gerilimi)}$$

$$Z_{tr} = \frac{V^2}{S} \cdot U_k$$

$$= \frac{400^2}{2500 \cdot 1000} \cdot 0,06$$

$$Z_{tr} = 0,00384 \Omega$$

$$Z_{tr} = 3,84 \text{ m}\Omega$$

$$R_{tr} = \left(\frac{V}{S}\right)^2 \cdot P_k$$

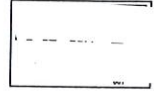
$$= \left(\frac{400}{2500 \cdot 1000}\right)^2 \cdot 3800$$

$$R_{tr} = 0,00009728 \Omega$$

$$R_{tr} = 0,09728 \text{ m}\Omega$$

$$Z_{tr} = \sqrt{R_{tr}^2 + X_L^2}$$

$$3,84 = \sqrt{0,09728^2 + X_L^2}$$



$$X_L = \sqrt{3,84^2 - 0,0973^2}$$

$$X_L = 3,838767 \text{ m}\Omega$$

$$X_L = \omega L = 2\pi f L = 3,838767$$

$$L = \frac{3,838767}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,0122253 \text{ mH} \Rightarrow L = 0,0122253 \text{ mH} //$$

$$X_c = \frac{V^2}{Q_c}$$

$$X_c = \frac{400^2}{1560 \cdot 1000}$$

$$X_c = 0,1025641 \Omega$$

$$X_c = \frac{1}{\omega C}$$

$$C = \frac{1}{\omega \cdot X_c} = \frac{1}{2\pi f \cdot X_c}$$

$$= \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 0,1025641}$$

$$C = 0,0310509 \text{ F}$$

$$C = 31,0509 \text{ mF} //$$

$$f_R = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}}$$

$$= \frac{1}{2 \cdot 3,14 \sqrt{0,0122253 \cdot 10^{-3} \cdot 31,0509 \cdot 10^{-3}}}$$

$$f_R = 258,45 \text{ Hz} //$$

Kısadevire gücü yoluyla hesaplayalım.

$$n_{pr} = \sqrt{\frac{S}{Q_c \times U_k}} = \sqrt{\frac{2500}{1560 \times 0,06}} = \sqrt{26,7095} = 5,168$$

$$n_{pr} = 5,168 //$$

$$f_r = n_{pr} \times 50 = 5,168 \times 50 = 258,40 \text{ Hz}$$

$$f_r = 258,40 \text{ Hz} //$$

KOMPANZASYON PANOLARI İÇİN FİLTRE HESABI

630 kVA trafo için hesaplanan kompanzasyon panosunu bu defa filtreli olarak tasarlıyalım.

Kritik rezonans frekansının hesaplanması

Kritik rezonans frekansını hesaplamak için trafonun indüktans (L) ile kondansatör toplamının kapasitans (C) değerlerini hesaplamamız gerekir.

Toplam kondansatör gücümüz,

$$10 \text{ kvar} + 350 \text{ kvar} = 360 \text{ kvar} \text{ idi.}$$

Trafo empedansı;

$$Z_{tr} = \frac{V^2}{S} \times u_k \quad u_k = 0,045 \text{ (630 kVA için)}$$

$$= \frac{400^2}{630 \cdot 1000} \times 0,045 = 0,0114285 \Omega$$

$$Z_{tr} = 11,43 \text{ m}\Omega$$

Trafo DC direnci (R_{dr}) hesabı

P_k = Trafo bozta kaybı

$$P_k = 1350 \text{ W} \text{ (630 kVA trafo için)}$$

$$R_{dr} = \left(\frac{V}{S} \right)^2 \times P_k$$

$$= \left(\frac{400}{630 \cdot 1000} \right)^2 \times 1350 = 0,00054422 \Omega$$

$$R_{tr} = 0,54422 \text{ m}\Omega$$

Trafo endüktans hesabı

$$Z_{tr} = \sqrt{R_{tr}^2 + X_{tr}^2} \Rightarrow X_{tr} = \sqrt{Z_{tr}^2 - R_{tr}^2}$$

$$X_{tr} = \sqrt{11,43^2 - 0,54422^2} = 11,42 \text{ m}\Omega$$

$$X_{tr} = X_L = \omega L = 2\pi f L = 11,42 \text{ m}\Omega$$

$$L = \frac{11,42}{2\pi f} = \frac{11,42}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,03636 \text{ mH}$$

Toplam kondansatörlerin kapasitans hesabı

$$X_c = \frac{V^2}{Q_c} = \frac{400^2}{360 \cdot 1000} = 0,44444 \Omega$$

$$X_c = 444,44 \text{ m}\Omega$$

$$X_c = \frac{1}{\omega C} \Rightarrow C = \frac{1}{\omega X_c} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 0,44444}$$

$$C = 0,007166 \text{ F} \Rightarrow C = 7,166 \text{ mF}$$

Trafonun endüktans değeri ve toplam kondansatörün kapasitans değeri hesaplandığına göre, kritik rezonans frekans değerini hesaplayabiliriz.

$$f_R = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Formülde, mH ve mF olarak hesapladığımız değerleri yerlerine H ve F olarak koymamız gerekir.

$$f_R = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \sqrt{0,03636 \times 10^{-3} \cdot 7,166 \cdot 10^{-3}}}$$

$$f_R = 311,91 \text{ Hz} //$$

Rezonans frekansının kısadevre gücünden hesaplanması

S = trafo gücü (kVA)

Q_c = tesis edilen toplam kondansatör gücü (kvar)

u_k = trafo kısadevre bağıl değeri

$$n_{fk} = \sqrt{\frac{S}{Q_c \cdot u_k}} = \sqrt{\frac{630}{360 \cdot 0,045}} = 6,236$$

$$f_R = n_{fk} \times 50 = 6,236 \times 50$$

$$f_R = 311,80 \text{ Hz} //$$

Her iki yöntemle hesaplanan rezonans frekansının aynı olduğu görülür.



Piyasada filtreler 135 Hz, 189 Hz ve 210 Hz frekans değerlerine göre imal edilmektedir. Kritik rezonans frekansı 313 Hz olarak hesapladığımya göre filtre empedans değerleri hesabında 210 Hz frekans değerini kullanacağız.

Filtre reaktörlerinin hesabı

P = filtre reaktör güç değeri

f = şebeke frekansı (Hz)

f_r = seçilen rezonans frekansı (Hz)

$$P = \left(\frac{f}{f_r} \right)^2 \quad f = 50 \text{ Hz} \quad f_r = 210 \text{ Hz}$$

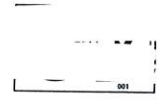
$$P = \left(\frac{50}{210} \right)^2 = 0,057, \quad \% 5,7$$

Kondansatörlerin önüne filtre konulduğunda, konulan reaktörlerden dolayı kondansatör terminallerinde gerilim yükselir. Yükselen gerilimin değeri,

V_c = kondansatör gerilimi (V) V = işletme gerilimi (V)

$$V_c = \frac{V}{1-P} \quad \text{formülü ile hesaplanır.}$$

$$V_c = \frac{500}{1-0,057} = 525,18 \text{ V}$$



Piyasada kondansatörler 400V, 425V, 440V, 480V, 525V, 600V, 690V, 800V gibi işletme gerilimlerinde üretilir.

Bizim bu tesiste artık 400V ve 525V işletme gerilimli kondansatörleri kullanmamız mümkün değildir. İşletme gerilimi 440V olan kondansatör kullanmamız gerekir.

Bu durumda 400V değerinde hesapladığımız 350 kvar kondansatör gücü yükselecektir.

$Q'_c = 440V$ 'ta kondansatör gücü (kvar)

$V_c =$ seçilen kondansatör işletme gerilimi (V)

$$Q'_c = \left(\frac{V_c}{V} \right)^2 \cdot Q_c$$

$$Q_c = 350 \text{ kvar} \quad V_c = 440V \quad V = 400V$$

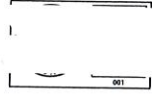
$$= \left(\frac{440}{400} \right)^2 \cdot 350$$

$$Q'_c = 423,5 \text{ kvar}$$

Reaktörlü kompanzasyon panosunda kullanılacak toplam kondansatör gücü 425 kvar ve işletme gerilimi 440 olacaktır.

425 kvar toplam kondansatör gücünü 12 kd röle ile

1 1 2 2 4 4 4 4 4 4 4 4 kademe oranlarında devreye alacağımızı kabul edersek,



grup toplamı,

$$2 \cdot 1 + 2 \cdot 2 + 8 \cdot 4 = 38 \text{ olur.}$$

Gruplardaki kondansatör miktarı

$$425 \div 38 = 11,18 \text{ kvar bulunur.}$$

Bazı olarak 10 kvar kondansatör gücünü seçersek grup dağılımı,

10 10 20 20 40 40 40 40 40 40 40 40
kvar kvar kvar kvar kvar kvar kvar kvar kvar kvar kvar kvar
olur.

Toplam kondansatör miktarı

$$38 \cdot 10 = 380 \text{ kvar'dır.}$$

$425 - 380 = 45$ kvar kondansatör gücü gereğinden eksik kalır. Eksik kondansatör miktarı son gruplara eklendiğinde gruplarda son dağılımı,

10 10 20 20 40 40 40 50 50 50 50 50
kvar kvar kvar kvar kvar kvar kvar kvar kvar kvar kvar kvar
şeklinde yapılabilir.

Grupların önüne konulacak reaktörlerin değerlerinin hesaplanması

10 kvar kondansatör için

$$X_{C_{10}} = \frac{V_C^2}{Q_{10}} = \frac{440^2}{10 \cdot 1000} = 19,36 \Omega$$

$$X_{C_{10}} = 19,36 \Omega$$

$$X_{C_{10}} = \frac{1}{\omega C_{10}} \Rightarrow C_{10} = \frac{1}{\omega X_{C_{10}}} = \frac{1}{2\pi f \cdot X_{C_{10}}} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 19,36}$$

$$C_{10} = 1,645 \cdot 10^{-4} \text{ F} \Rightarrow C_{10} = 0,1645 \text{ mF}$$

Seçilen frekans değeri 210 Hz idi.

$$f_R = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}} \Rightarrow 210 = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot \sqrt{L \cdot 0,1645 \cdot 10^{-3}}}$$

$$\sqrt{L \cdot 0,1645 \cdot 10^{-3}} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 210}$$

$$L \cdot 0,1645 \cdot 10^{-3} = \left(\frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 210} \right)^2$$

$$L = \left(\frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 210} \right)^2 / 0,1645 \cdot 10^{-3} = 0,003495 \text{ H}$$

$L = 3,495 \text{ mH}$ // endüktans değeri. Aneak sarım yapılacak telin kalınlığını belirlemek için akımı da hesaplamamız gereklidir.

Kondansatör terminallerinde gerilimi $V_T = 424,18 \text{ V}$ olarak hesaplamıştık. Kondansatör direnci $X_{C_{10}} = 19,36 \Omega$ idi

$$V_T = \sqrt{3} I X_{C_{10}} \Rightarrow I = \frac{V_T}{\sqrt{3} X_{C_{10}}} = \frac{424,18}{\sqrt{3} \cdot 19,36} = 12,65 \text{ A}$$

sonuç olarak,

10 kvar kondansatör grupları için kullanılacak reaktör değeri, 3,495 mH ve 15 A akım taşıma kapasitesinde

olacaktır.

20 kvar kondansatör için

$$X_{C_{20}} = \frac{V_c^2}{Q_{20}} = \frac{440^2}{20 \cdot 1000} = 9,68 \Omega$$

$$X_{C_{20}} = \frac{1}{\omega C_{20}} \Rightarrow C_{20} = \frac{1}{\omega X_{C_{20}}} = \frac{1}{2\pi f \cdot X_{C_{20}}} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 9,68}$$

$$C_{20} = 3,29 \times 10^{-4} \text{ F}, \quad C_{20} = 0,329 \text{ mF},$$

$$P_R = \frac{1}{2\pi LC} \Rightarrow 210 = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \sqrt{L \times 0,329 \times 10^{-3}}}$$

$$\sqrt{L \times 0,329 \times 10^{-3}} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 210}$$

$$L \times 0,329 \times 10^{-3} = \left(\frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 210} \right)^2$$

$$L = \left(\frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 210} \right)^2 / 0,329 \times 10^{-3} = 1,7476 \times 10^{-3} \text{ H} //$$

$$L = 1,7476 \text{ mH} //$$

Akım değerinin hesabı;

$$V_T = \sqrt{3} I X_{C_{20}} \Rightarrow I = \frac{V_T}{\sqrt{3} X_{C_{20}}} = \frac{424,18}{\sqrt{3} \cdot 9,68} = 25,33 \text{ A} //$$

20 kvar kondansatör grupları için kullanılacak reaktör değeri, 1,7476 mH ve en az 30A akım taşıma gücünde olacaktır.

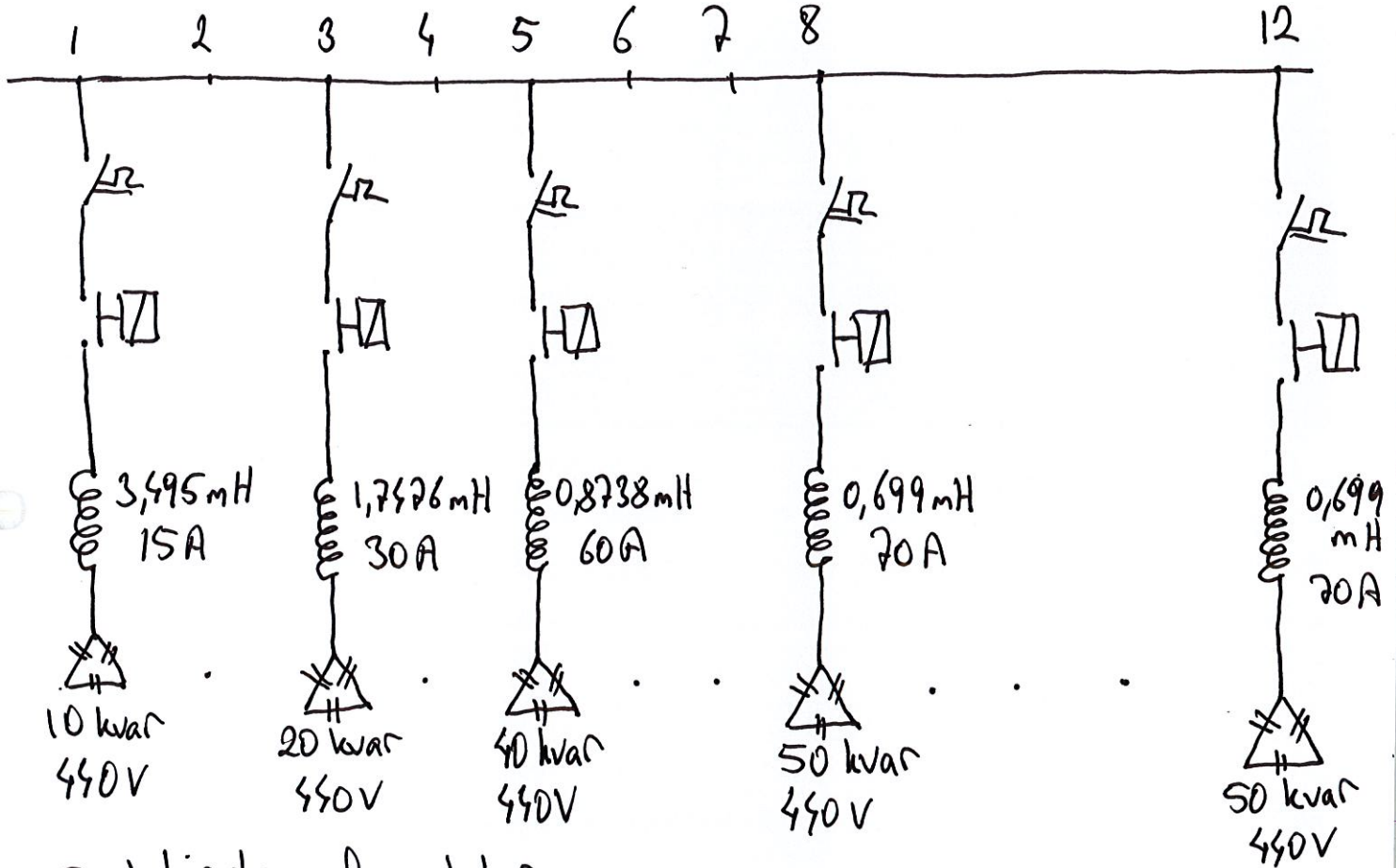
Benzer şekilde 40 kvar ve 50 kvar kondansatör grupları için reaktör filtre hesapları yapıldığında

$$40 \text{ kvar için } L = 0,8738 \text{ mH } 60 \text{ A}$$

$$50 \text{ kvar için } L = 0,699 \text{ mH } 70 \text{ A}$$

değerleri bulunur. Buna göre kompanzasyon tekhaf şeması,

R



şeklinde olacaktır.

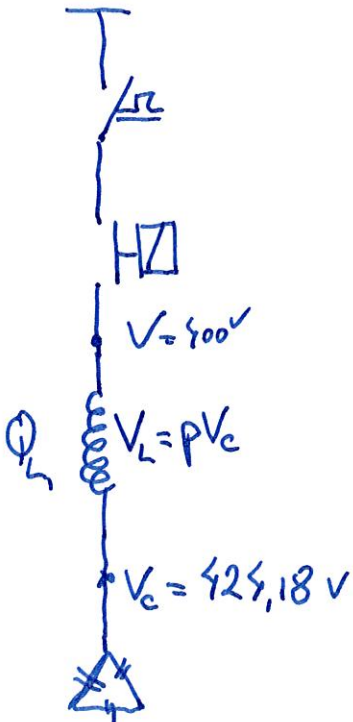
FİLTRELİ KOMPANZASYON PANOLARINDA REAKTÖR BOBİNLERİNİN GÜCÜNÜN HESABI

Filtreli tesis edilen kompanzasyon panolarında reaktör gücü, önüne konulan kondansatör gücünden daha düşüktür. Reaktör gücünün hesaplamasının değişik yolları vardır.

Rezonans frekansı 210 Hz olarak seçilen 400V 10 kVAR bir kondansatör grubu için reaktör gücünü hesaplayalım.

$$P = \left(\frac{f}{f_r} \right)^2 = \left(\frac{50}{210} \right)^2 = 0,057 \Rightarrow \% 5,7$$

$$V_c = \frac{V}{1-P} = \frac{400}{1-0,057} = 425,18 \text{ V}$$



Buna göre bobin üzerindeki gerilim

$$V_L = P V_c = 0,057 \cdot 425,18 = 24,18 \text{ V olur}$$

$$(\text{veya } V_L = V_c - V = 425,18 - 400 = 25,18 \text{ V})$$

Şimdi filtre olarak tasarlanan reaktör bobininin empedans değerini hesaplayalım. Öncelikle kondansatörün direncini bulmamız gerekli.

$$X_{C_{10}} = \frac{V_c^2}{Q_{10}} = \frac{440^2}{10 \cdot 1000} = 19,36 \Omega \quad X_{C_{10}} = 19,36 \Omega$$

$$X_{C_{10}} = \frac{1}{\omega C_{10}} \Rightarrow C_{10} = \frac{1}{\omega X_{C_{10}}} = \frac{1}{2\pi f \cdot X_{C_{10}}} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 19,36}$$

$$C_{10} = 1,645 \cdot 10^{-4} F \Rightarrow C_{10} = 0,1645 \text{ mF}$$

Seçilen rezonans frekans değeri 210 Hz idi.

$$f_r = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}} \Rightarrow 210 = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \sqrt{L \cdot 0,1645 \cdot 10^{-3}}}$$

buradan $L = 0,003495 \text{ H}$ yani $L = 3,495 \text{ mH}$ bulunur.

Reaktörün empedans değerini ohm cinsinden değerini bulalım.

$$X_L = \omega L = 2\pi f \cdot L = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 3,495 \cdot 10^{-3}$$

$$X_L = 1,097 \Omega //$$

Reaktör gücünün hesaplanmasında I. yol

Reaktör üzerinde harcanan gücü bulalım.

$$Q'_{L_1} = \frac{V_L^2}{X_L} = \frac{24,18^2}{1,097} = 533 \text{ VAR} = 0,533 \text{ kVAR}$$

Kademedeki 440V 10 kVAR kondansatörün 500 V'da karşılığını hesaplayalım.

$$Q_{C_{10}} = \left(\frac{400}{440} \right)^2 \times 10 = 8,264 \text{ kVAR}$$

Buna göre 440V 10kVAR kondansatör için tesis edilmesi gereken reaktör için,

$$Q_{L_1} = Q_{L_1} + Q_{C_{10}} = 0,533 + 8,264 \\ = 8,797 \text{ kVAR}$$

II. Yol

Devrenin toplam empedansını hesaplırsak

$$X_L = 1,097 \Omega \quad X_C = 19,36 \Omega$$

$$X_T = jX_L - jX_C = 1,097 - 19,36 = -18,263 \Omega$$

$$|X_T| = |-18,263| = 18,263 \Omega \text{ buluruz.}$$

$$Q_L = \frac{V^2}{X_T} = \frac{400^2}{18,263} = 8761 \text{ VAR} \Rightarrow Q_L = 8,761 \text{ kVAR}$$

III. Yol

Devreden geçen akım değerini hesaplayalım

$$i = \frac{V_C}{\sqrt{3} X_{C_{10}}} = \frac{424,18}{\sqrt{3} \cdot 19,36} = 12,65 \text{ A} \quad \text{Buradan reaktör}$$

gücünü

$$Q_{L_1} = \sqrt{3} \cdot 400 \cdot 12,65 = 8764 \text{ VAR} \\ = 8,764 \text{ kVAR buluruz.}$$

TRANSFORMATÖRLERDE K FAKTÖRÜ

Harmonik akımlar, standart transformatörlerin yüklenme kapasitelerinde büyük ölçüde ağırlıklara neden olurlar. Bu nedenle harmonik akımları dikkate alınarak ya k-faktör sınıfında bir trafo yada hesaplanan güçten daha büyük güçte standard bir trafo kullanılır.

Harmonik akımlarının bulunduğu bir trafoda K değerinin hesaplanması

Harmonik akımları, trafolarında büyük oranda girdap (eddy) akımları meydana getirir. Yoğun girdap akımları trafo nüvesinin aşırı ısınmasına ve doyuma ulaşmasına neden olur. Trafolarında kapasite ağırlıklı olarak harmonik akımlarının katsayılarının karesi kadar etkilidirler. Buna göre K faktör formülünü

$$K = \frac{I_1^2 + (3I_3)^2 + (5I_5)^2 + (7I_7)^2 + \dots + (nI_n)^2}{I_1^2 + I_3^2 + I_5^2 + I_7^2 + \dots + I_n^2} = \frac{\sum_{h=1}^n (hI_h)^2}{\sum_{h=1}^n I_h^2}$$

şeklinde yazabiliriz. Burada hesaplanan K değeri bir katsayıdır. Trafolar aşağıda yazılı K değerlerine göre imal edilmektedir.

K	1	4	9	13	20	30	40	50
---	---	---	---	----	----	----	----	----



Formülle hesaplanan K-faktör değerinin bir üst değeri bay alınır. Bu Amerikan standardına göre hesaplama yöntemidir.

Faktör - K

Avrupa standardına göre hesaplama yöntemidir. Harmonik akımları altında, güç trafosunun ne kadar kapasite ile çalıştırılabileceğinin hesap edilmesidir.

D=rating, düşük kapasite anlamında,

$$D = \frac{1,15}{1+0,15K} \quad \text{formülü ile hesaplanır.}$$

Paydada bulunan K, hesaplanan K-faktör değeridir. Burada D bir orandır. Trafonun hangi oranda çalışacağını gösterir. S_H 'ye harmonikler altında alabileceğimiz güç miktarı derseniz,

$$S_H = D \times S_n \quad S_n = \text{trafo nominal gücü}$$

şeklinde ifade ederiz.

Eğer 160 kVA trafo kullanmak istiyorsak, bu trafo nun k faktörü 9 olmalıdır.

Harmonik akımlarından dolayı trafoda kapasite kaybı,

$$D = \frac{1,15}{1 + 0,15 \cdot k} \quad \text{Düşük kapasite kullanma oranı}$$

$$D = \frac{1,15}{1 + 0,15 \cdot 5,249} = 0,6434$$

$D = \%64,34$ Trafo gücünün kullanabileceğimiz maximum oranı.

$S_H = D \cdot S$ Harmonik akımların varlığında kullanılacak trafo gücü

$$S_H = 0,6434 \cdot 160$$

$$= 102,95 \text{ kVA} \quad \text{Kullanılacak trafo gücü}$$

Mevcut tüketilen güç $S_T = 96,24 \text{ kVA}$ idi. 15 kVA güç ilave edildiğinde,

$$S = 96,24 + 15 = 111,24 \text{ kVA} \quad \text{Bu durumda}$$

15 kVA CNC tezgahı 160 kVA trafo besleyemeyecektir.

Ne yapmalı?



Örnek : 1 Nominal trafo gücü 160 kVA olan bir fabrikada 132 A çekilmektedir. Fabrikada 15 kVA gücünde yeni bir CNC tezgahı kurulacaktır. Ancak yapılan harmonik ölçümünde 5. harmonik akımı 34 A, 7. harmonik akımı 22 A, 11. harmonik akımı 13 A ve 13. harmonik akımı 8 A olarak ölçülmüştür. CNC tezgah beslenebilir mi?

n	1	5	7	11	13
I_n	132 A	34 A	22 A	13 A	8 A

$$I_{eff} = \sqrt{I_1^2 + I_5^2 + I_7^2 + I_{11}^2 + I_{13}^2}$$

$$= \sqrt{132^2 + 34^2 + 22^2 + 13^2 + 8^2}$$

$I_{eff} = 138,91 \text{ A}$ // Harmonik akımları altında tüketilen toplam güç ise,

$$S_T = 13 \cdot 0,4 \cdot 138,91$$

$S_T = 96,24 \text{ kVA}$ // mevcut durumda tüketilen güç,

Trafo gücü 160 kVA düşürüldüğünde CNC tezgahı bağlanabilir gibi görünmektedir.

Sistemin K-faktörünü hesaplırsak,

$$K = \frac{\sum_{h=1}^n (h I_h)^2}{\sum_{h=1}^n I_h^2} = \frac{132^2 + (5 \cdot 34)^2 + (7 \cdot 22)^2 + (11 \cdot 13)^2 + (13 \cdot 8)^2}{132^2 + 34^2 + 22^2 + 13^2 + 8^2}$$

$$K = 5,249 //$$

1- K faktör oranları

1 4 9 13 20 30 40 50

K-faktörü 9 olan 160 kVA yeni bir trafo sipariş edilecek.

2- Mevcut tüketilen güç ile cnc tezgah gücü toplandığında,

$$S_T = 96,24 + 15 = 111,24 \text{ kVA ihtiyac duyulan güç}$$

$$S_n = \frac{S_T}{D} = \frac{111,24}{0,6434} = 172,89 \text{ kVA}$$

250 kVA standard trafo sipariş edilecek.

3- Harmonik akımlara karşı filtre tesis edilecek.

Örnek : 2 Trafo gücü 400 kVA olan bir trafoda ana dağıtım panosunda çekilen akım 386A olarak okunmaktadır. Yapılan harmonik ölçümünde 5. harmonik akımı 44A, yedinci harmonik akımı 38A, onbirinci harmonik akımı 34A ve onüçüncü harmonik akımı 26A olarak tesbit edilmiştir. Sisteme iki adet 25 kVA toplam 50 kVA teygah ilave edilecektir. Trafonun gücünün yeterli olduğunun veya gerekli trafo gücünü aralık ediniş?

Tüketilen temel akım ve harmonik akımları liste şeklinde yaparsak,

n	1	5	7	11	13
\hat{I}_n	386A	44A	38A	34A	26A

$$\hat{I}_{eff} = \sqrt{386^2 + 44^2 + 38^2 + 34^2 + 26^2}$$

$$I_{eff} = 392,69A$$

Harmonik akımları altında tüketilen toplam güç,

$$S = \sqrt{3} V I_{eff}$$

$$= \sqrt{3} 0,4 \times 392,69$$

$$S = 272,07 \text{ kVA} //$$

$$S_T = 272,07 + 50 = 322,07 \text{ kVA} \text{ güç kurtarıcı gibi görünüyor.}$$

Trafoda var olan harmonik akımlarına göre K faktör hesabı ;

$$K = \frac{\sum_{h=1}^n (h \cdot I_h)^2}{I_h^2} = \frac{386^2 + (5 \cdot 44)^2 + (7 \cdot 38)^2 + (11 \cdot 34)^2 + (13 \cdot 26)^2}{386^2 + 44^2 + 38^2 + 34^2 + 26^2}$$

$$K = 3,387 //$$

Eğer burada 500 kVA trafo gücünde kalıncaksa K faktörü 4 olan trafo seçilmelidir.

Harmonik akımlar altında trafonun kullanma kapasitesi,

$$D = \frac{1,15}{1 + 0,15k} = \frac{1,15}{1 + 0,15 \cdot 3,387} = 0,76$$

$D = 0,76$ 400 kVA trafo %76 kapasite ile çalışabilir.

Buna göre trafodan alabileceğimiz maksimum güç,

$$S_H = D \times S_n \\ = 0,76 \times 400$$

$$S_H = 305,18 \text{ kVA, çekilebilecek max. güç.}$$

Trafoda tüketilen güç $S = 272,07 \text{ kVA}$ idi. İlave 50 kVA bağlandığında,

$$S_T = 272,07 + 50 = 322,07 \text{ kVA talep edilen güç.}$$

Ancak, trafodan alabileceğimizi maximum güç 305,18 kVA idi. Bu nedenle, sisteme 2 adet 25 kVA teygahı bağlandığımızda, trafo gücü karşılamayacaktır.

Ne yapmalı?

1- K faktör oranları

1 4 9 13 20 30 40 50

K faktörü 4 olan 400 kVA trafo sipariş edilmeli.

2- Yeni talep güç $S_T = 322,07$ kVA idi

$$S_n = \frac{322,07}{0,76} = \frac{322,07}{0,76} = 423,77 \text{ kVA}$$

500 kVA veya 630 kVA standard trafo sipariş verilecek.

3- Harmonik akımlara karşı filtre tesis edilecek.