

# FABRİKA TESİSLERİNDE DENGESİZ YÜKLEMENİN GİDERİLMESİ

Nihat TAYLAN

Endüstri tesislerinde tek fazlı yükler gittikçe büyümektedir. (Örneğin; ark kaynak transformatörleri, tek fazlı grafit elektrotlu ocaklar, karborandum ocakları, tek fazlı ark fırınları, tek fazlı asenkron motorlar vb) Tek fazlı yükler dengesiz yüklenme yaratarak fabrikada ve fabrikanın elektrik enerjisi çektiği şebekede diğer üç fazlı yüklerin çalışma düzenini bozabilirler. Şebekede devamlı olarak % 4 değerinde bir denksiz yüklenmenin aynı şebekeye bağlı motorların ömrünü yarıya indirdiği tespit edilmiştir. Alman VDE yönetmeliği denksiz yüklenme sınırı için ters sistem doğru sistemden % 2'den daha fazla olmayacak şartını koymuştur. (Eskiden bu sınır % 5 idi.)

Tek fazlı yükte güç şebeke frekansının iki misli değerle salınım yapar, halbuki üç tane tek fazlı yükten meydana gelen ve herbirinin akım gerilimleri eşit ve birbirleri ile 120 faz farklı olan üç fazlı yükte güç sabittir. Burada üç tane tek fazlı güç toplanıp, toplam gücü tespit ederken çift frekanslı titreşimli bileşen ortadan kalkar.

Simetrik olmayan yükün meydana getirdiği simetrik olmayan gerilim düşümü ve dolayısı ile simetrik olmayan gerilimler motorlarda zararlı ters yönlü alanlar doğuracak ve bunun neticesi olarak motorun iş momentini düşürecek (frenleyici momentler), kayıplarını artıracak ve ömrünü kısaltacaktır; ayrıca şebekeye bağlı lambaların da ömrünü düşürecektir. Aynı yük değerinde simetrik olmayan yük, iletken ve kablolarda simetrik yüke nazaran daha büyük kayıplar meydana getirir. Zira simetrik gerilimde akımların yalnız doğru bileşimi enerjije dönüşür; halbuki titreşimli güç yaratan ters bileşen trafolarında ve hatlarda reaktif akım kapıplarına benzer kayıplar meydana getirir. Bu sebepten enerji nakil ve dağıtımında reaktif akım için  $\cos \phi < p$  düzeltilmesi ne kadar önemliyse denksiz yük giderilmesi de o kadar önemlidir. Aynı miktarda denkli ve denksiz yüke nazaran bu kayıp tam bir misli

fark göstermektedir. Bu sebepten enterkonnekte şebekelerde denksiz yüklenmeyi gidermek için uygun yerlere kondansatör ve senkron kompansator yerleştirilmesi veya her ikisinin birlikte kullanılması gerekir.

Büyük denksiz yüklerin meydana getirdiği ters yönlü akım bileşenleri ters yönlü alanlar yaratarak şebekeyi besleyen jeneratörleri ve bilhassa amortisman sargılarını aşırı yüklenip ısıtarak hasarlara sebep olur. Ayrıca denksiz yük sonucu meydana gelen harmonikler şebekeye bağlı cihazlara, mesela kondansatörlere zararlı olurlar.

Trafolarda üçgen-yıldız, yıldız-üçgen, yıldız-zikzak bağlantılar sekonderdeki simetrik olmayan akımları primere simetrik olarak naklettiklerinden, yüklerin fazlara eşit olarak dağıtılması güç olan fabrika ve şehir şebekelerinde kullanılacak trafoların bu bağlantılarda seçilmesi uygun olacaktır.

Burada önce dengesiz yükün bağlandığı noktada simetrik olmayan gerilim değerlerini hesaplayalım, sonra bu gerilimleri tekrar simetrik duruma getirebilmek için ne gibi önlemler alınabilir, bunu irdeleyelim.

Şekil l'de fabrikayı besleyen trafonun sekonderi gösterilmiştir. Burada  $Z_A, Z_B, Z_C$  denksiz yüklenme noktasına kadar olan kablo şebekesinin empedanslarını;  $I$  ise diğer simetrik yüklerin çektiği akımları göstermektedir. Gerilimler faz-nötr olarak alınmıştır.

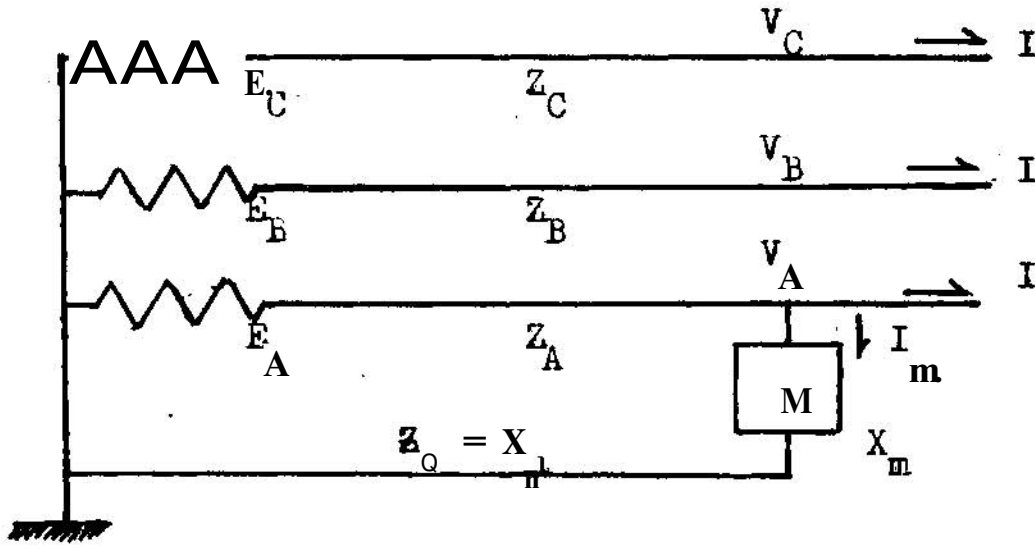
## Başlangıç koşulları;

$$Z_A = Z_B = Z_C = Z$$

$$I_A = 1 + I_m$$

$$I_B = a^2 I$$

$$I_C = a I$$



SEKİLİ- Bir beslenme sisteminde tek fazlı yüklenme

Empedansların simetrik bileşenleri;

$$Z_0 = \frac{1}{3}(Z_A + Z_B + Z_C) - Z$$

$$Z_1 = \frac{1}{3}(Z_A + aZ_B + a^2Z_C) - \frac{1}{3}(1 + a + a^2)Z$$

$$Z_2 = \frac{1}{3}(Z_A + a^2Z_B + aZ_C) - \frac{1}{3}(1 + a^2 + a)Z$$

Akımların simetrik bileşenleri;

$$I_0 = \frac{1}{3}(I_A + I_B + I_C) - \frac{1}{3}(I_m + I_m + I_m) = I_m/3$$

$$I_1 = \frac{1}{3}(I_A + aI_B + a^2I_C) - \frac{1}{3}(I_m + a^3I_m + a^3I_m) = \frac{3I_m + I_m}{3}$$

$$I_2 = \frac{1}{3}(I_A + a^2I_B + aI_C) - \frac{1}{3}(I_m + I_m + a^4I_m) = I_m/3$$

Bu bağıntılarda  $a^3 = 1$ ;  $a^4 = a$ ;  $1 + a + a^2 = 0$  değerlerinden faydalanılmıştır.

Trafo gerilimlerinin simetrik bileşenleri için genel bağıntıları kullanarak (burada trafo gerilimi dengeli olduğundan  $E_0 = E_1 = E_2 = 0$ );

$$E_0 = -Z_0 I_0 + Z_2 I_2 + Z_1 I_1 + V_0 = -Z \frac{3I_m + I_m}{3} + V_0$$

$$E_1 = -Z_1 I_1 + Z_0 I_0 + Z_2 I_2 + V_1 = -Z(I_m/3) + V_1$$

$$E_2 = -Z_2 I_2 + Z_1 I_1 + Z_0 I_0 + V_2 = -Z(I_m/3) + V_2$$

Bu bağıntılardan dengesiz yüklenme noktasındaki gerilimlerin simetrik bileşenlerini bulabiliriz:

$$V_0 = -E - Z \frac{3I_m + I_m}{3}$$

$$V_1 = -Z(I_m/3)$$

$$V_0 = -Z(I_m/3) - X_m I_m$$

Dengesiz yüklenme noktasındaki aradığımız gerilimler:

$$V_A = V_0 + V_1 + V_2 = -Z(I_m/3) - X_m I_m + E - Z(3I_m + I_m) / 3 - Z(I_m/3) - E - ZI_m - XJ_m$$

$$V_B = V_0 + a^2 V_1 + a V_2 = -Z(I_m/3) - X_m I_m + a^2 E - a^2 Z(3I_m + I_m) / 3 - aZ(I_m/3) - a^2 E - a^2 ZI_m - X_m I_m$$

$$V_C = V_0 + a V_1 + a^2 V_2 = -Z(I_m/3) - XJ_m + aE - aZ(3I_m + I_m) / 3 - a^2 Z(I_m/3) + aE - aZI_m - XJ_m$$

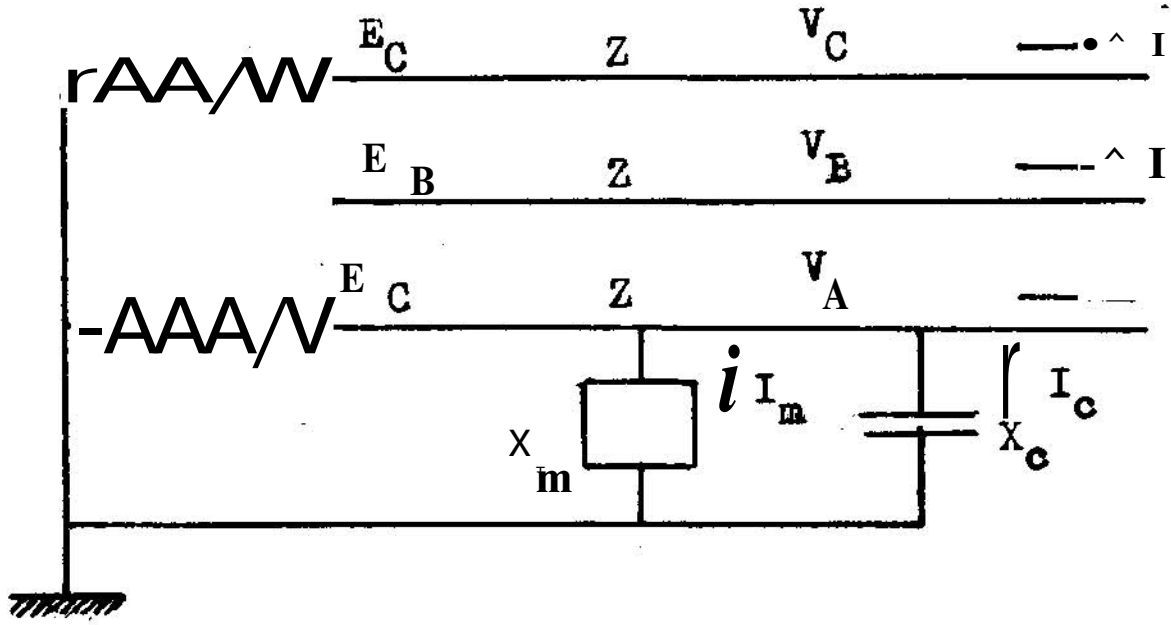
Sonuç bağıntılarını bir kez daha toplu yazarsak;

$$V_A = E - ZI_m - (Z + X_m) I_m$$

$$V_B = a^2 E - a^2 ZI_m - X_m I_m$$

$$V_C = aE - aZI_m - X_m I_m$$

Buradan görülüyor ki  $I_m$  akımının çarpanı olan son terimler dengesiz yüklenmenin doğurduğu terimlerdir. O halde bu bölümleri götürerek bir kompanzasyon düzeni ile gerilimler tekrar simetrik duruma getirilebilir. Bunun için ilk akla gelen çözüm tek fazlı yükün çektiği akıma denk bir akım veren kaynağı yüke paralel bağlamaktır. Eğer dengesiz yük reaktif akım çekiyorsa (bu sırada kayıpların yol açtığı küçük aktif akım ihmal edilebilir) aynı miktarda kapasitif akım üreten bir kompanzatoryü yüke paralel bağlamak ve birlikte devreye sokmak dengesiz yüklenmeyi ortadan kaldıracaktır. Yukarıdaki hesaplanma yolunu izleyerek bu sonucu matematiksel olarak çıkarabiliriz:



ŞEKİL 2. Dengesiz Yükün Giderilmesi

$$I_A = I + I_m - I_c$$

$$I_B = a^2 I$$

$$I_C = a I$$

Akımın simetrik bileşenleri: Genel bağıntılardan:

$$I_0 = (I - I_c) / 3$$

$$I_1 = (3I + I_m - I_c) / 3$$

$$I_2 = (I_m - I_c) / 3$$

Genel bağıntılardan:

$$E - Z(3I_1 + I_m - I_c) / 3 + V_1 = 0$$

$$0 - Z(I_m - I_c) / 3 + V_2 = 0$$

$$0 = (Z + 3 \frac{X_m X_c}{X_m + X_c}) \frac{I_m - I_c}{3} + V_0$$

Yüklemeye noktasındaki gerilim simetrik bileşenleri:

$$V_1 = E - Z(3I + I_m - I_c) / 3$$

$$V_2 = -Z(I_m - I_c) / 3$$

$$V_0 = -Z(I_m - I_c) / 3 - (I_m - I_c) \frac{X_m X_c}{X_m + X_c}$$

Yüklemeye noktasındaki gerilimler:

$$V_A = -Z(I_m - I_c) / 3 - (I_m - I_c) \frac{X_m X_c}{X_m + X_c} - Z(I_m - I_c) / 3 + E - Z(3I + I_m - I_c) / 3$$

$$-E - ZI - ZI_m + ZI_c - (I_m - I_c) \frac{X_m X_c}{X_m + X_c}$$

$$V_B = -Z(I_m - I_c) / 3 - (I_m - I_c) \frac{X_m X_c}{X_m + X_c} + a^2 E - a^2 Z(3I + I_m - I_c) / 3 - a^2 Z(I_m - I_c) / 3 - a^2 E - a^2 ZI - (I_m - I_c) \frac{X_m X_c}{X_m + X_c}$$

$$V_C = -Z(I_m - I_c) / 3 - (I_m - I_c) \frac{X_m X_c}{X_m + X_c} + a E - a Z(3I + I_m - I_c) / 3 - a^2 Z(I_m - I_c) / 3$$

$$-a E - a ZI - (I_m - I_c) \frac{X_m X_c}{X_m + X_c}$$

Görüldüğü ki  $V_A, V_B, V_C$  değerlerinde  $I_m - I_c$  alınrsa:

$$V_A = E - IZ$$

$$V_B = a^2 E - a^2 IZ$$

$$V_C = a E - a IZ$$

elde edilir, bu da simetrik bir sistemdir.

Eğer dengesiz yük sadece reaktif bir güç çekmeyip zahiri bir güç çekiyorsa dengesizliğin giderilmesi için kapasite ve bobin birlikte bağlanmalıdır. Teknikte bu kapasite ve bobinler kademeli imal edilmekte ve dengesiz yükün değerine göre devreye sokulacak miktarlar değiştirilmektedir.

Dengesiz yükün doğurduğu ters akım bileşeninin doğru bileşene oranına  $(I_2 / I_1 - I_m / (3I + I_m))$  simetrisizlik derecesi denmektedir. Yalnız dengesiz yükün bağlanması halinde  $(I = 0)$  simetrisizlik derecesi bir (% 100) olacaktır. Dış ülkelerde şebekeyi besleyen jeneratörlere simetrisizlik derecesini ölçen cihazlar eklenerek durum devamlı kontrol altında tutulmaktadır.