

Demiryolu Elektrifikasyonunda Tek Fazlı Cer Yükünün Enterkonnekte Şebekede Oluşturacağı Dengesizliklerin İncelenmesi

Erdal DİKMEN
TCDD

ÖZET

Bu yazıda demiryolu elektrifikasyonunda son 15-20 senedir kullanılan endüstriyel frekanslı (50Hz), 25 kV tek faz enerji sisteminin sağlanması için enterkonnekte şebekeye bağlanan tek fazlı cer transformatörlerinin enterkonnekte şebekede oluşturacağı dengesizliklerin etüdünde, genel bir eşitliğin simetrik bileşenler yoluyla çıkarılması anlatılmaktadır.

SUMMARY

in electrifred railroad territories, 50 Hz, 25 kV single phase energy systems are mostly employed as a propulsion current in the last 15-20 years. in this article unstability of the three phase distribution system, by the high power single phase loads which are connected to the three phase system are investigated and general formula for unstability is derived.

1. GİRİŞ

Demiryolu elektrifikasyonunda son 15-20 yıldan beri endüstriyel frekanslı (50 Hz), tek faz 25 kV enerji sisteminin en ekonomik çözüm olduğu görülmüştür. Demiryolu işletmeciliğinde ileri olan ülkelerde (Fransa, İngiltere, Rusya, Japonya gibi) milli demiryolu şebekelerinin elektrifikasyonunda aynı sistem uygulanmıştır. Ülkemizde 1956 yılında kurulan Sirkeci-Halkah elektrifikasyonu ise, tek faz, 25 kV, 50 Hz sistemin dünyadaki ilk banliyö uygulamasıdır. Tek faz sistemin, üç faz ana şebekede oluşturacağı dengesizliklerin en düşük seviyede tutulabilmesi için de-

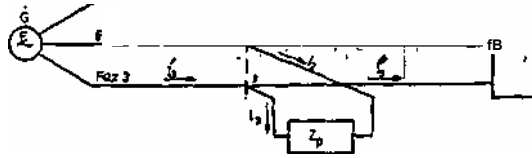
miryolu cer enerjisini sağlayan trafo merkezlerinin Scott bağlı trafo merkezleri olarak tasarlanmaları bu sistem için ilk uygulamadır. Fakat demiryolu işletmeciliğinde ne kadar iyi bir seyir grafiği hazırlanır, Scott bağlı iki trafonun her an eşit yüklenmesi olanaklı olmamakta, dolayısıyla üç fazlı şebekede mutlaka bir dengesizlik oluşmaktadır.

Bunun sonucu olarak tek faz, 25 kV sistemde cer enerjisini sağlayan trafo merkezinin, tek faz trafolarla donanımı, maliyet ve işletme kolaylığı bakımından yeğ tutulur. Tek faz cer trafolarının iki faza bağlanması halinde enterkonnekte şebekede oluşacak denge'-

sizliğin incelenmesi gerekmektedir. Bunun için genel bir dengesizlik katsayısı eşitliğinin bulunması, projelendirme ve işletmecilik yönünden kolaylık sağlayacaktır.

2. TEK FAZLI YÜKÜN OLUŞTURACAĞI DENGESİZLİĞİN SİMETRİLİ BİRLEŞENLERLE BULUNMASI

Genel olarak basit üç fazlı bir devrenin iki fazı arasına tek fazlı bir yükün girdiğini göz önüne alalım. Şekildeki gibi basitleştirilmiş ve elementer olarak gösterilen bir üç fazlı şebeke düşünelim. Görüldüğü gibi bu şebeke; G generatörünü (akım kaynağını), R üç fazlı bir güç alıcısını ve üç fazlı şebekeye P noktasında 2 ve 3 fazları arasına giren Z_p tek fazlı yükü içermektedir. Z_p tek fazlı yükün oluşturacağı dengesizlik katsayısını hesaplayalım:



V_d ve V_t değerleri tek fazlı yükün çekildiği P noktasında gerilimin doğru ve ters bileşenleri olduğunda, dengesizlik katsayısı k; ters bileşenin doğru bileşene oranı,

$$k = \frac{V_t}{V_d} \text{ olacaktır.}$$

Dolayısıyla 2. ve 3. fazlara bağlanan tek fazlı yükün P noktasında oluşturacağı dengesizliği, akım ve gerilimlerin simetrik bileşenlerinin fonksiyonu olarak belirten bir bağıntının çıkarılması gereklidir. Öhm ve Kirschhoff kanunları, sistemin doğru ve ters simetrik bileşenleri için gerekli bağıntıların yazılması için yeterlidir. Sıfır bileşenler hesabımıza girmeyecektir.

E : Generatörün elektromotor kuvveti,

Z'_d : Şebekenin solunda kalan kısmının doğru (direkt) empedansı,

Z''_d : Şebekenin P noktasının sağında kalan kısmının doğru (direkt) empedansı; Z''_d değeri üç fazlı şebekenin dengelenmiş R yük empedansını da içermektedir.

Z'_t : Şebekenin P noktasının sağında kalan kısmının ters (envers) empedansı,

Z''_t : Şebekenin P noktasının solunda kalan kısmının ters empedansı,

Z : P noktasında 2. ve 3. fazlar arasına giren tek fazlı yükün empedansı

olsunlar.

P noktasında simetrisizliği belirleyen eşitlikleri yazalım. P noktasındaki yükün durumundan

$$V = 0 \quad (1)$$

$$V_2 - V_3 = Z_p I_2 \text{ yazılabilir.} \quad (2)$$

1, 2, 3 ve $V_2 - V_3$ simetrik bileşenlerin fonksiyonu olarak verildiğinde;

Akımlar için :

$$I_1 = I_0 + I_t + I_d$$

$$I_2 = I_0 + a I_1 + a' I_d$$

$$I_3 = I_0 + a^2 I_1 + a I_d$$

Gerilimler için:

$$V_2 = V_0 + a V_1 + a^2 V_d$$

$$V_3 = V_0 + a^2 V_1 + a V_d \text{ bulunur.}$$

(1), (2), (3) eşitliklerinde simetrik bileşenler bağıntılarını yerine koyduğumuzda,

$$I_0 + I_1 + I_2 = 0 \quad (4)$$

$$I_0 + a I_1 + a I_d = -I_0 - a^2 I_d - a I_d \quad (5)$$

$$V_0 + a V_1 + a V_d - V_0 - a^2 V_1 - a V_d = Z_p (I_0 + a I_1 + a I_d) \quad (6)$$

eşitliklerini elde ederiz.

(5) eşitliğinde $a + a^2 = -1$ değeri yerine konur ve basitleştirilirse;

$$2 I_0 - I_1 - I_d = 0 \quad (7)$$

(6) eşitliğinde bütün terimleri bir tarafa toplarsak,

$$Z_p I_0 + a Z_p V_1 - a^2 Z_p I_d + (a - a^2) V_d = 0 \quad (8)$$

bulunur.

Şekil üzerinde her iki sistem için işaret olunan ok yönlerine göre

$$Z'_d = E - V_d \quad (9)$$

$$Z = V_d \quad (10)$$

$$Z''_d = Z - Z'_d \quad (11)$$

$$I'_d = I_a + I''_d \quad Z'_t I'_t = -i V_d \quad (12)$$

$$Z''_t = Z''_d - Z'_t \quad I''_t = I_t - I'_t \quad (13)$$

$$I''_t = I_t + I'_t \quad (14)$$

bağıntıları yazılabilir.

Elde olunan son altı bağıntı ile (4); (7) ve (8) bağıntıları incelendiğinde, aşağıdaki 9 bilinmeyenli, 9 doğrusal denklem sistemi elde edilir:

$$Z_{ct} + Z_p$$

yazılabilir.

Bu eşitlikten tek fazlı yükün bağlandığı noktadaki dengesizliğin, sistemin o noktadan görünen ters empedansı ile tek fazlı yükün eş değer empedansına bağlı olduğu anlaşılır.

Tek faz yükün bağlandığı P noktasında sistemin görünen doğru empedansı Z^{\wedge} ile gösterilirse, $Z_{et} = jZ_{ed}$ olduğunu kabul edelim.

Üç fazlı şebekenin P noktasında üç faz kısa devresi halinde kısa devre gücü

$$P_{kd} = E I_{td} \sqrt{3} \sim$$

$$E = r \text{ veya } Z_{cd} = Z_H =$$

$$Z_{cd} V$$

yazılabilir.

E şebekeye verilen gerilimin faz arası değeridir.

P noktasından çekilen tek faz gücü E^2

$$\frac{E^2}{Z_p} \text{ yazılabilir.}$$

$$\frac{E^2}{P_{kd}} \text{ ve } Z_p = \frac{E^2}{P_m}$$

değerlerini k eşitliğinde yerine koyarsak

k ~'

'kd

bulunur.

Çekilen tek faz gücün şebekenin o noktasındaki kısa devre gücü yanında çok küçük olduğu düşünülürse birinci derecede bir yaklaşıklıkla denge katsayısı $k = \frac{P_m}{P_{kd}}$ yazılabilir.

3. ÖRNEK

Enterkonrekte şebeke işletmecileri tarafından şebekenin önemli bütün noktalarında kısa devre gücü bilindiğinden, demiryolu cer 'kuveti için çekilecek tek faz gücün oluşturacağı dengesizliğin hesaplanması kolayca yapılabilir. Uygulamada karşılaşılan bir örnekte bu kolaylığı görmek olanağı vardır.

Ankara Banliyösü Elektrifikasyonu (Sincan-Ankara-Kayaş, 36 km, çift hat) için gerekli tek faz cer enerjisi, Hipodrom Durağı karşısında kurulan 154/25 kV x 7,5 MVA'lık tek fazlı bir indirici merkez tarafından sağlanmaktadır. Bu merkez 154 kV sisteme, Akköprü-Balgat 154 kV enerji nakil hattına saplama girerek bağlanmıştır. Saplama noktası Akköprü trafo merkezine çok yakın olduğu için tek fazlı yükün bağlandığı nokta olarak Akköprü 154 kV haraları kabul olunabilir. Elektrikli işletme için hazırlanan grafiklere göre 30 sn süreyle çekilecek en yüksek tek faz gücü 23,2 MVA'dır. 1971 senesi şebeke durumuna göre Akköprü 154 kV barası kısa devre gücü 1919 MVA'dır. Bulunan k eşitliğinden Akköprü haralarında elektrikli demiryolu işletmesinden dolayı hasıl olacak dengesizlik $23,2$ $k = \frac{1919}{23,2} = 0,0119$ olarak elde edilir.

Bulunan bu % 1,19 değeri orta büyüklükte enterkonrekte şebekeler için izin verilen değerlerin altındadır, örneğin Fransa'da devamlı olarak % 3 ve 1 dakika süreyle % 5 dengesizliğe izin verilmektedir. Tek faz cer yükünden oluşan gerilim dengesizliğinin akkor flâmanlı lâmbalarda hasıl edeceği flicker olayının etüdü de kolayca yapılabilir.

4. AKIM DENGESİZLİĞİ

Üç fazlı bir alternatör dengesiz bir yükü beslediğinde akımın ters bileşeni rotorun ters yönünde bir alan meydana getirir.

Alternatör ve senkron kompensatörler için akım dengesizliği • $\frac{JL}{I}$ eşitliği ile tanımlanır. I , akımın ters bileşeni, I_n de cihazın anma akımıdır.

Tek fazlı yük halinde akımın ters bileşeni ile akımın doğru bileşeninin mutlak değer olarak birbirine eşit olduğu, akımın ters bileşeninin ($A I_t$) ve akımın doğru bileşeninin ($A I_a$) determinantlarının hesaplanmasıyla gösterilebilir.

Yukardaki determinantların çözümüyle; A

$$I_t = 3 \{a^2 - a\} E Z'_d (Z'_t + Z'')_t$$

$$A I_d = 3 \{a^2 - a\} E Z'_d (Z'_t + Z'')_t$$

bulunur.

Sadece bir akım kaynağı tarafından beslenen üç fazlı şebekede tek fazlı yükün oluşturacağı akım dengesizliğinin hesabı kolaydır. Tek fazlı yük akımının, akım kaynağının anma akımına oran akım dengesizliğini verir. Fakat bir çok akım kaynağı tarafından beslenen bir enterkonrekte şebekede tek fazlı yükün oluşturacağı akım dengesizliği; tek fazlı yükün çektiği akımın, akım kaynaklarının ters empedansları ile orantılı olarak akım kaynaklarına bölünmesi yoluyla hesaplanabilir. Üç fazlı bir şebekede, dengesizlik yaratmadan tek faz gücü çekilmesini sağlayan Scott bağlamada iki transformatörün ikincil 1 sargılarından geçen akımlara I_j ve I_2 dersek;

Üç fazlı şebekede hasıl olacak dengesizliği

$$k_s = \frac{I_j}{I_2} \text{ olarak gösterebiliriz.}$$

Scott bağlı trafolardan çekilecek ikincil akımların eşit olması halinde k_s eşitliği sıfır olur. Yani herhangi bir dengesizlik oluşmaz, fakat yıkanda da belirtildiği gibi ayrı ayrı bölgeler besleyen demiryolu cer trafolarından her an eş yük çekilmesi olanaksız, yani $I_j \neq I_2$ olacaktır dan dengesizlik kesinlikle oluşacak ve bu I_j ve I_2 akımlarının ' f arki ile orantılı olarak büyüektir.