

HARMONİKLİ ORTAMLARDA DETUNED REAKTÖRLERİN UYGULANMASI

Didem ERGUN SEZER, Hacer ŞEKERCİ ÖZTURA

Ergun Elektrik A.Ş. Bornova İzmir
didem@ergunelektrik.com

Yaşar Üniversitesi Bornova İzmir
hacer.sekerici@yasar.edu.tr

ÖZET

2010 yıllar itibari ile güç elektroniği tabanlı tahrik sistemleri kullanımı artmış, doğrusal olmayan yükler yaygınlaşmıştır. Yaygın kullanım sonucu, bilhassa bazı sanayi bölgelerinde şebeke harmonik kirliliği artmıştır (background harmonic distortion). Bu duruma koşut olarak da şebeke kullanıcılarının enerji talepleri her geçen gün arttıkça iletim ve dağıtım otoriteleri $\cos \phi$ hedef değerlerini arttırarak, şebeke iletim kapasitelerini arttırma yoluna gitmişlerdir. Tesisatlardaki rezonans frekansı değerleri, temel harmonik frekans değerlerine yaklaşmıştır. İşletmelerde çalışır durumda olan yalın kondansatörü kompanzasyon tesisatlarında arızalar artmıştır. Sonuç olarak günümüzde, aşırı şebeke harmonik kirliliği ve de yalın kondansatörler arasındaki rezonans ihtimali sebebi ile bütün kompanzasyon sistemleri detuned reaktörlü olmalıdır. Bilhassa yeni tesisin projelendirilmesi aşamasında yalın kondansatörlü kompanzasyon sistemleri öngörülmemelidir. Bu noktada detuned reaktörlerin seçimi çok büyük bir önem arz etmektedir. Zira detuned reaktör yanlış seçildiği takdirde tekrar yalın kondansatör sistemlere geri dönüş eğilimi vardır. Bunun önüne geçebilmek amacıyla doğru detuned reaktör seçimi çok büyük bir öneme sahiptir, bu sebep ile bu bildiri kaleme alınmıştır. Bildiride demir nüveli reaktörlerin uygulanması üzerine yoğunlaşmıştır.

1. GİRİŞ

Harmonikler, elektrik enerji sistemine doğrusal olmayan yüklerin bağlanmasıyla temel frekansın katları şeklinde oluşan akım ve gerilimlerdir. Doğrusal olmayan yüklerin başında transformatörler, motorlar, kaynak makineleri, ark ocakları, hız kontrol cihazları, kesintisiz güç kaynakları ve güç elektroniği elemanı kullanan diğer ekipmanlar gelir. Harmonikler Şekil-1'de görüleceği gibi akım ve gerilim dalga şeklinin ideal sinüs formundan uzaklaşmasına neden olurlar.

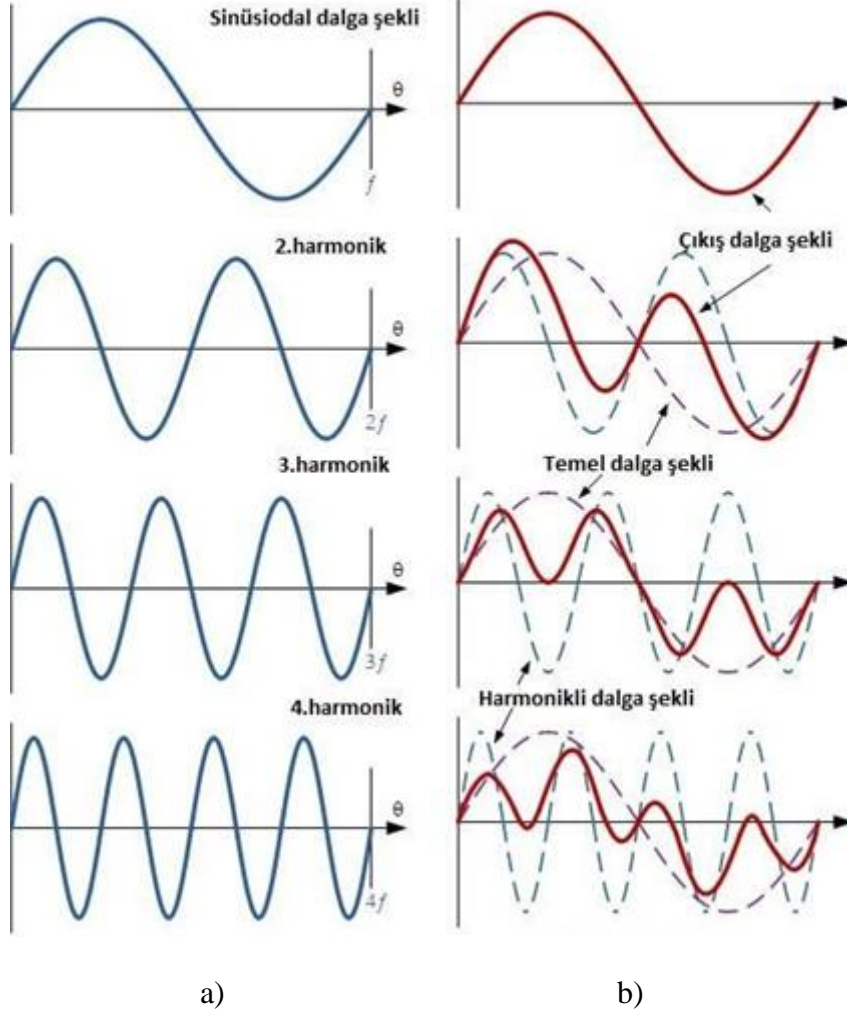
Son yıllarda ara harmoniklerde bilimsel çalışmalarda oldukça sık rastlanmakla birlikte, harmonik olarak tanımlanan frekanslar şehir şebeke frekansının tam katları olarak karşımıza çıkar ve 100-Hz (2nci harmonik) ile 2,5-kHz (50nci harmonik) frekans aralığındakiler hesaplama ve ölçümlerde dikkate alınır.

Şebeke geriliminde yarattıkları bozulmaların yanı sıra, gerilim düşümü, yüklerde kayıpların artması, motor ve kablolarda ısınma, nötr akımının artması, devre kesicilerinin yanlış açması, motorlarda titreşimin artması, kompanzasyon sistemlerinin aşırı reaktif yüklenmesi ve böylece kondansatörlerin güç kaybetmesi, cihazların izolasyonlarının bozulması, enerji kayırları, ölçüm cihazlarının yanlış ölçmesi ve iletişim cihazlarının parazit yapması birçok soruna neden olmaktadır [1].

Endüstri tesislerimizde transformatörler, motorlar vb. gibi endüktif yükler bulunmaktadır. Bu yüklerden kaynaklanan şebeke frekansına (f) bağlı bir X_L endüktif reaktansı [Ω] sistemde bulunmaktadır. Ayrıca kompanzasyon tesisatımızda kondansatörlerimiz bulunmaktadır, kondansatör reaktansı olarak da X_C [Ω] ile karşılaşırız. Eşitlik-

1’de görüleceği üzere her iki reaktansa frekansın bir fonksiyonu olarak ifade edilirler. Birimi Henry olan endüktans L

ile birimi Farad olan kondansatör sığası ise C ile sembolize edilmektedir.



Şekil-1: a) harmonik dalga şekilleri, b) harmonik etkilerden bozulmuş dalga şekli

$$\begin{aligned} \omega &= 2\pi f \\ X_C &= 1/2\pi f C \\ X_L &= \omega L = 2\pi f L \end{aligned} \quad (1)$$

Kondansatör ve reaktörün içinden akan akım (I_C ve I_L) Eşitlik-2’de verildiği şekilde endüktif, kapasitif reaktans değerleri ve bu elemanlar üzerindeki gerilim yardımıyla hesaplanır.

$$\begin{aligned} I_C &= U_C / X_C = 2U_C \pi f C \\ I_L &= U_L / X_L = U_L / 2\pi f L \end{aligned} \quad (2)$$

Bu denklemden de görüleceği üzere kondansatör akımı frekans ile doğru orantılı iken, bobin akımı ise frekans ile ters orantılıdır.

Endüktif ve kapasitif reaktans değerlerinin birbirine eşit olması durumunda sürekli titreşim (rezonans) devresi oluşur, diğer bir deyişle sistemde bir rezonans meydana gelir ve Eşitlik-3’te görüldüğü gibi rezonansın frekansı hesaplanır.

$$\begin{aligned} X_L &= X_C \\ 2\pi f_0 L &= 1/2\pi f_0 C \quad (2\pi f_0)^2 = 1/L \cdot C \end{aligned}$$

$$f_0 = 1/2\pi\sqrt{L.C} \quad (3)$$

Motorların ve transformatörlerin eşdeğer devreleri sadece endüktans ve direnç içerdiğinden, eğer bir tesise kompanzasyon yapılırsa titreşim frekansları ve devreleri oluşur, sonuç olarak rezonanslar kaçınılmaz olur. Bu rezonansların yaratacağı sorunları baştan önleyebilmek için günümüz sistemlerinde artık kompanzasyon tesisatlarında kondansatör tek başına kullanılmamalı, kondansatör-reaktör seri bağlı devreleri tercih edilmelidir [2-3]. Şekil-2'de kondansatör ile birlikte kullanılmak üzere tasarlanmış bir 50 kVAr reaktör görülmektedir.



Şekil-2: Kondansatör-reaktör seri bağlı devresi için tasarlanmış bir reaktör fotoğrafı [4]

Detuned reaktörlerin kullanımının bazı önemli avantajları söz konusudur. Doğrusal olmayan yüklerin olduğu sistemlerde harmonik akım ve gerilim genliğinin yükselmesini engeller. Kondansatör üzerine akan harmonik akımını limitler. Bu sayede ısı ve yüksek akım stresini engeller ve kondansatörlerin daha uzun işletme ömrü olmasını sağlar. Transformatör, baralar, kablolar, şalt malzemeleri, koruma ekipmanları üzerindeki aşırı akım ve ısınma problemlerini ortadan kaldırır [5].

2. REAKTÖRÜN SEÇİMİ

Kompanzasyon tesisatlarında kullanılan reaktörler bir elektrik panosu içerisine demir çekirdekli, bakır veya alüminyum sargılı tipleri monte edilir. Bu tip reaktörleri belirleyici birçok teknik özellik söz konusudur, bu özellikler aşağıda belirtilmiştir:

- Nominal gerilimi
- Nominal frekansı
- Nominal gücü
- Harmonik spektrumu
- Reaktör faktörü
- İzolasyon sınıfı ve ortam sıcaklığı
- Doğrusallık
- Kayıplar

Reaktör seçimine başlamadan önce ilk olarak o tesise ait alınmış olan güncel ölçümler incelenir. Bu ölçüm değerlerindeki nominal gerilim, nominal frekans ve nominal güç değerleri ilk olarak tespit edilir ve ikinci adımda harmonik spektrum incelenerek baskın harmonik belirlenir. Bir diğer kriter olan reaktör faktörü (p) için Eşitlik-4'te verildiği gibi endüktif ve kapasitif reaktans değerlerinin birbirine oranı ile elde edilir ve ölçümlerden belirlenen nominal frekans (f_n) ile ve belirlenecek olan reaktör frekansının (f_r) bir fonksiyonu olarak karşımıza çıkar [4,6,7].

$$p = X_L/X_C = (2\pi f_n)^2.LC = (2\pi\sqrt{LC})^2.f_n^2 = f_n^2/f_r^2 \quad (4)$$

Eşitlik-4 yeniden düzenlendiğinde, reaktör frekansının, nominal frekans ile doğru, reaktör faktörü ile ters orantılı olarak değişeceği görülür (Eşitlik-5).

$$f_r = f_n/\sqrt{p} \quad (5)$$

Genelde endüstriyel tesislerde 3ncü (150-Hz) ve 5nci harmonik (250-Hz) baskın olduğu için bu frekansların alt

frekans değerleri olan 134-Hz ve 189-Hz reaktör frekansları olarak tercih edilirler. Bu iki frekans kullanılarak Eşitlik-4'teki hesaplama yapıldığında aşağıdaki reaktör faktörleri elde edilir.

$$p = \frac{f_n^2}{f_r^2} = \frac{50^2}{134^2} = \frac{2500}{17956} = 0.139229226 \quad (6)$$

$$p = \frac{f_n^2}{f_r^2} = \frac{50^2}{189^2} = \frac{2500}{35721} = 0.069986842 \quad (7)$$

Eşitlik 6 ve 7'nin sonucu olarak eğer tesiste 3ncü harmonik baskın ise %14'lük, ancak 5nci harmonik baskın ise %7'lik reaktör faktörü seçilmelidir. Bazen 7nci harmoniğin belirgin olduğu yerlerde alt frekans olarak 210 Hz alınarak Eşitlik-4'teki hesaplama yapıldığında reaktör faktörü %5.7 olarak elde edilir.

Bu çalışmada detaylandırılan detuned reaktör seçim ölçütlerinden bir diğeri işletme koşulları açısından oldukça önemlidir. Reaktör ve kondansatör seri bağlı olduğu için seçilmiş olan kondansatörün sisteme vereceği akım, reaktörün nominal akımı (Eşitlik-2) olmalıdır. Nominal akımın üstünde bir akım akarsa I^2R ile oluşacak ısı miktarı, mevcut ısı sınıfının üzerine çıkıp sargı yalıtımlarına zarar verecek ve dolayısıyla arızaya yol açacaktır. Bu nedenle reaktörün nominal ısınması, izolasyon ısı sınıfının altında olmalıdır. Örnekle açıklamak gerekirse, izolasyon sınıfı F (155 °C) sınıfı olan bir reaktör 125 °C'lik termostat ile korunmalıdır,

ancak işletmede sırasında oluşacak ısının 100 °C'yi geçmemesi önerilir.

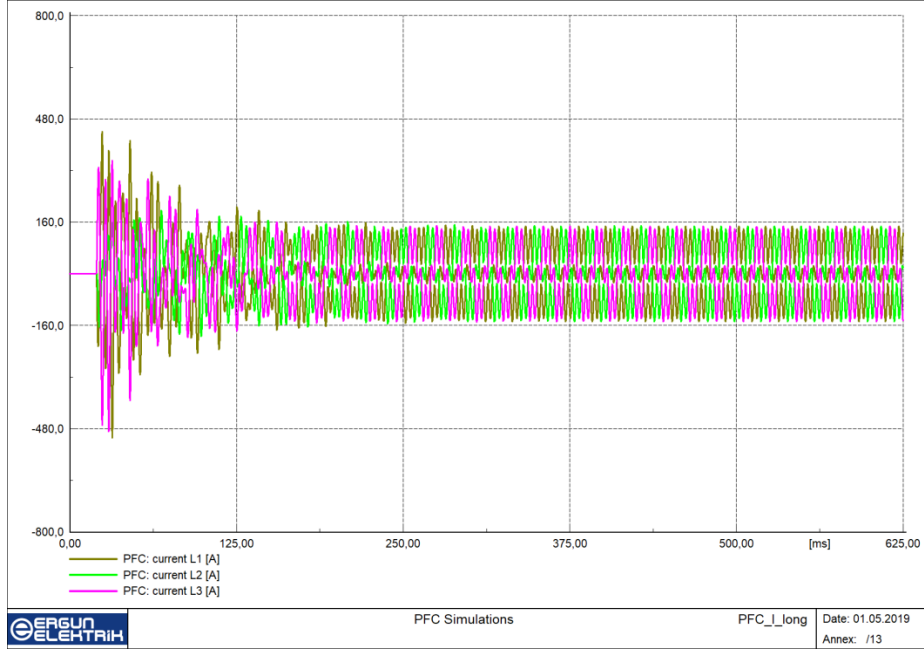
Yukarıda belirtilen nedenlerle kompanzasyon panosunun tasarımında reaktör ısı kayıplarının öngörülmesi ve panoda oluşan ısının dışarıya atılabilmesi için mekanik tasarımın da sağlıklı yapıyor olması çok önemlidir.

Reaktör seçiminin en önemli ölçütlerinden bir diğeri ise reaktör çekirdeğinin doyuma girmemesi ve lineer bölgede çalışmasının sağlanmasıdır. B-H eğrisi veya Histeresis grafiği olarak bilinen nüve saçlarının ferro-manyetik özelliği gereği, eğer reaktörün saç nüvesi doyuma girer ise reaktörün endüktans değeri değişir. Reaktör akımının doğrusal bölgede kalması durumunda en yüksek değerinin Eşitlik-8'e görüleceği üzere, nominal reaktör akımının 1,8 katı olması gerekmektedir.

$$I_{L-\text{doğrusal}} = 1.8 \times I_{L-\text{nominal}} \quad (8)$$

Reaktörün doğrusallığı çok önemlidir ve kesinlikle bilinmesi gereken bir değerdir. Verilen üst limit akım reaktörden aktığında endüktans değeri %5 oranında değişecektir.

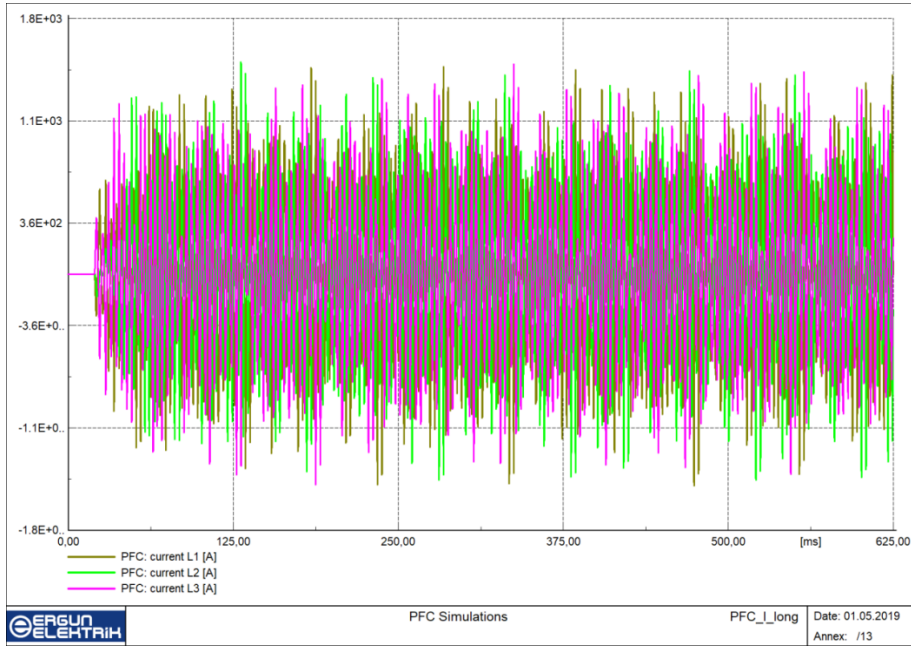
Şekil 3 ve 4'te Digsilent programı [8] kullanılarak yapılan doğrusallık analiz sonuçları görülmektedir. Şekil-3'te Eşitlik-8'i sağlayacak şekilde seçilen kriterlerle yapılan simülasyonlarda, kararlı çalışma bölgesinde faz akımlarının 160-A civarında olduğu görülmektedir.



Şekil-3: Doğrusallığı doğru hesaplanmış 50kVar reaktörün 3-fazlı akım grafiği

Doğrusallık sınırları içerisinde olmasına dikkat edilmeyen bir analiz sonucunda, faz akımı değerinin geçici değerlerinin

ilk analize aynı değerlerde başlamasına rağmen, kararlı bölgede 1100-A'e kadar yükselebildiği görülmektedir.



Şekil-4: Doğrusallığı hatalı hesaplanmış 50kVar reaktörün 3-fazlı akım grafiği

Seçim ölçütlerinin sonucunu olan kayıplara bakıldığında, reaktörün doğası gereği omik kayıpların ve Histerisis & Eddy akımları kayıplarının varlığı bilinmektedir. Omik kayıplar aynı

zamanda sargı (veya bakır) kayıpları olarak da bilinirler. Histerisis & Eddy akımları kayıpları ise sistemde nüve (veya çekirdek ya da demir) kayıpları olarak tanımlanırlar. Sistemdeki toplam

kayıp Eşitlik-9'da veriliği gibi bu iki kaybın toplamından oluşur.

$$P_{toplam-kayıp} = P_{sargı} + P_{nüve} = I^2R + K_h fBV + K_e (fBd)^2V \quad (9)$$

Bu eşitlikte; V : hacim, f : frekans, B : manyetik akı yoğunluğu, d : saç kalınlığı, K_h : histerisis kayıp katsayısı ve K_e : eddy akımı kayıp katsayısıdır.

Histerisis kayıpları frekans ile Eddy akımı kayıpları ise frekansın karesiyle doğru orantılı değişmektedir. Böylece harmoniklerin olduğu ortamda nüve kayıpları oldukça büyük olacaktır. Ayrıca harmonikler nedeniyle I_{rms} (temel ve harmonik bileşenleri içeren) değeri de ve dolayısıyla sargı kayıpları da yüksek olacaktır. Reaktör tasarımı yapılırken sadece temel bileşen değil, harmonik spektrum da dikkate alınması bir zorunluluktur [9].

Bu konuda bir-iki küçük ama önemli detay ise, gürültü seviyesi ile sargıların bakır mı alüminyumdan mı yapılacağıdır. Gürültü ölçer (dB metre) ile ses seviyesi ölçülmelidir. Alüminyum sargı teknik olarak uygundur. Ancak terminallerinin Alüminyum olmasının sakıncaları vardır. Alüminyum yumuşak bir metaldir, terminal bağlantı noktasında ısı ve yumuşaklığı sebebiyle zaman bağlantı zayıflığı oluşur. Terminallerin alüminyuma göre sert malzeme olan bakırdan üretilmeleri gereklidir. Nikel kaplı alüminyum terminaller yanıtıcı olabilir.

Reaktörün IEC 60076-6 standardına göre üretilip üretilmediği sorgulanmalı [2] ve standartta belirtilmemiş olan termik kontak reaktörde bulunması kesinlikle tavsiye edilir.

3. SONUÇ

Günümüzde birçok işletme artık detuned reaktör uygulaması yapmaktadır. Ancak birçok detuned reaktör gerek yeterli kaliteye sahip olmaması gerekse yanlış seçim gibi sebeplerden ötürü sahada sorunlara yol açmaktadır. Bunun sonucu olarak yanlış tasarım değil de detuned reaktörler sorun kaynağı olarak görülmekte ve tekrar yalın kondansatöre dönüş eğilimi gözlemlenmektedir. Hâlbuki sorunun kaynağı temel kaynağı kalitesiz ile ve/veya yanlış seçilen reaktördür.

Bu çalışmada, seçim yapılırken dikkat edilmesi gereken kondansatör reaktör eşleştirilmesi, frekans seçimi, doğrusalık, ısı artışı, Watt kayıpları, ısı sınıfı gibi temel verilerin önemi vurgulanmak istenmiştir.

Ayrıca uygulamadan önce işletmede ölçüm alınması, doğru ürünlerin seçilmesi ve de ürünlerin üreticiden test sertifikalarının talep edilmesi ve bu sertifikalardaki limit değerlere göre karar verilmesi çok büyük önem arz etmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Arillaga J., Smith B.C., Watson N.R., & Wood A.R., *Power System Harmonic Analysis*, John Wiley 1997
- [2] IEC 60076-6: 2007, Power Transformers-Part 6: Reactors
- [3] Patowary M, Panda G, Dea BC. *An adaptive current control-detuned harmonics elimination schemes for enhancement of power quality in res interfaced ac-grid network*. Sustain Energy Technologies & Assessments Feb. 2018; Vol: 25; p: 11–23.
- [4] Ergun Elektrik, Ürün kataloğu, https://www.ergunelektrik.com/images/yuklene/ner/catalogue_en.pdf (son erişim 05.09.2019)
- [5] Ayoubi M. & Hooshmand R.A. *A new fuzzy optimal allocation of detuned passive filters based on a Nonhomogeneous Cuckoo Search Algorithm considering resonance constraint*, ISA Transactions, 2019; Vol: 89; p:186-197

[6] Dođan Ergun, Elektrik Y¼ksek M¼hendisi , Harmonikler ve Rezonanslar, Mart 2007

[8] digsilent power factory tutorial, https://fglongatt.org/OLD/Tutorial_DigSilent_EN.html (son erişim 05.09.2019)

[9] Jian L., Zhenhai Z., Longnv L., Guoli L., Manhua J., *Calculation and Design of Dry Type Air Core Reactor*, Energy and Power Engineering, 2013; Vol:5; p: 101-1104.