

Ark fırınlarının elektrik şebekelerine etkileri ve alınabilecek önlemler

Güngör GÜRSEL

1. ARK FIRINLARININ ELEKTRİK ŞEBEKELERİNE ETKİLERİ

1.1. GENEL BİLGİLER

Ark fırınlarında, arkn meydana getirdiği yüksek sıcaklıkla madenler ergitilir. Ark bilindiği gibi gaz içerisinde bir elektrik deşarjıdır.

Ark fırınları ve bunları besleyen transformatörler küçük güç ve üretim kapasitesinden çok büyük kapasitelere kadar 10^3 boyutlarda üretilmektedir.

Çoğunlukla 6 MVA'ya kadar yapılan ark fırını trafolarında ark akımlarını sınırlamak ve kararlı çalışmayı temin edebilmek için seri reaktör kullanılmaktadır.

$S_{\text{ark}} > 1$ 'de ark fırını besleyen transformatör ve güç devreleri görülmektedir.

Güngör GÜRSEL, TEK

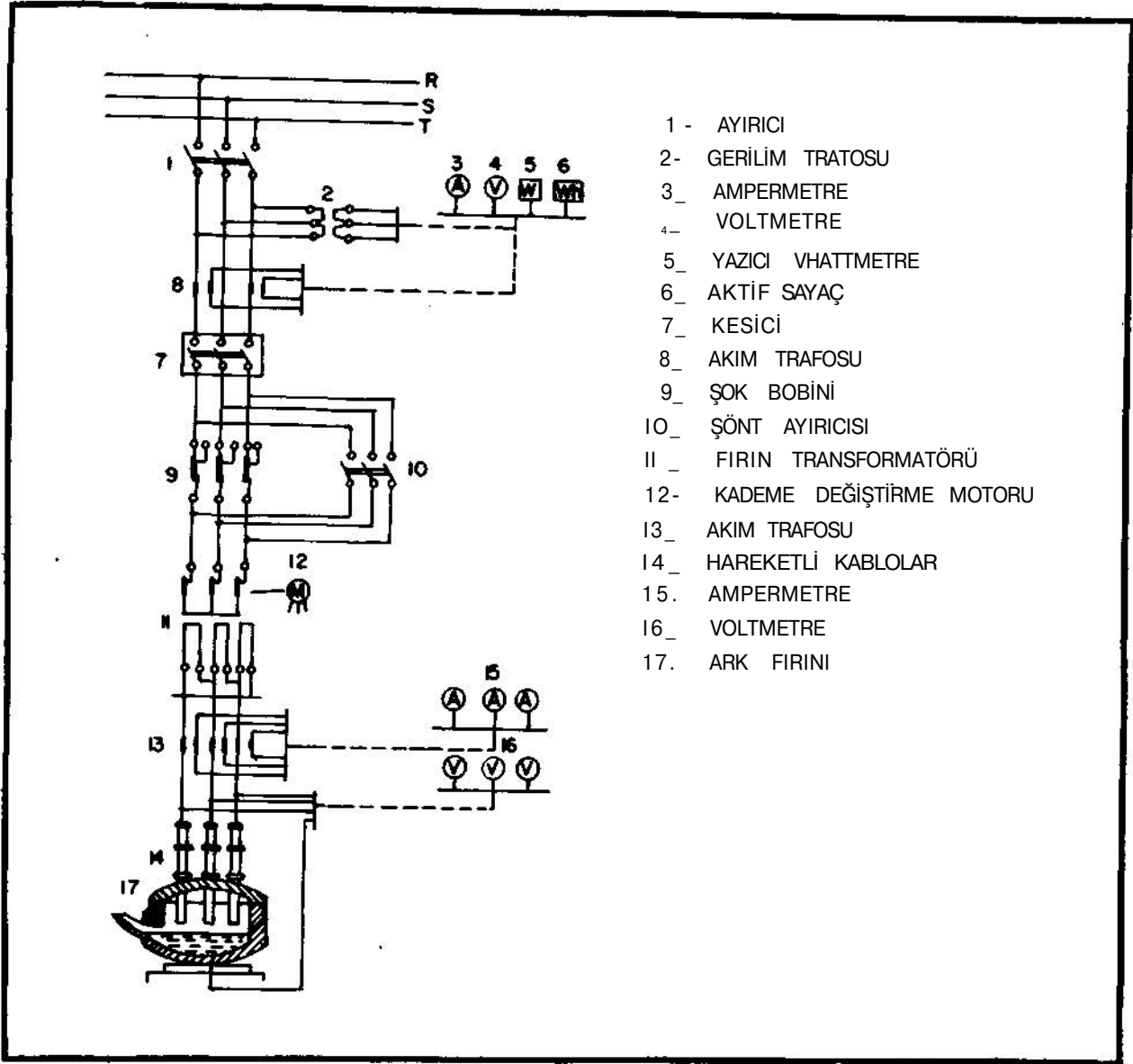
UDK: 621.365.2:621.316.95

ÖZET

Bu yazıda sanayide kullanılan ark fırınlarının enerji dizgesi üzerine olan olumsuz etkileri incelenmiştir.

SUMMARY

in this article, the undesired effects of arc furnaces used in industry on the energy system are studied.



- 1 - AYIRICI
- 2- GERİLİM TRAFOSU
- 3_ AMPERMETRE
- 4_ VOLTMETRE
- 5_ YAZICI VVATTMETRE
- 6_ AKTİF SAYAÇ
- 7_ KESİCİ
- 8_ AKIM TRAFOSU
- 9_ ŞOK BOBİNİ
- 10_ ŞÖNT AYIRICISI
- 11_ FIRIN TRANSFORMÖRÜ
- 12- KADEME DEĞİŞTİRME MOTORU
- 13_ AKIM TRAFOSU
- 14_ HAREKETLİ KABLolar
15. AMPERMETRE
- 16_ VOLTMETRE
17. ARK FIRINI

SEKİLİ

Fırın transformatörü düşük bir güç çarpanı (çoğunlukla 0,7) ile çalışır. Ark ateşleme gerilimi, akım sıfırdan geçerken oluşur. Ergime başlangıcında kararlı olmayan bir çalışma düzeni vardır. Fakat ergime sonucunda düşük güç çarpanı ile daha kararlı bir çalışmaya ulaşır. Fırında ark ile oluşan ısı, büyük ölçüde ışımla (radyasyonla) ve kısmen de konveksiyonla ertilecek malzemeye geçer.

Ark ocağını belli bir sürede bir defada şarj edip ertitebilmek için çok büyük güçlerde çalışmak gerekir. Aktif gücü sınırlandırmak amacıyla bu işlem iki, Uç adımda yapılır. Böylelikle daha uzun sürede daha az etkin güç kullanılmış olur. Büyük modern ark fırınlarında ergime aşırı ısıtma toplam süresi 70-80 dakika kadardır.

1.2. ARK FIRINI İŞLETME KARAKTERİSTİKLERİ

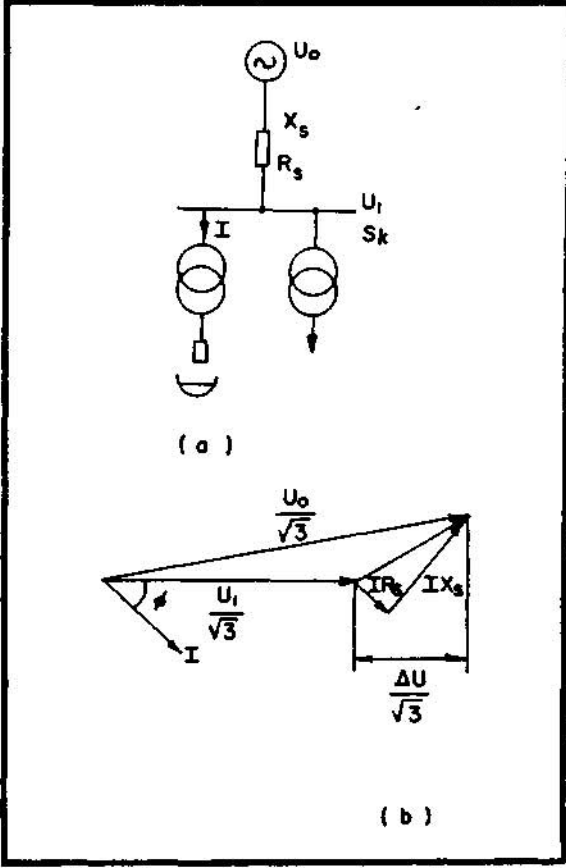
Ark fırınının şebeke üzerindeki etkisi Şekil 2-3-4'den izlenerek incelenebilir.

Ergime sırasında ark uzunluğu değişir. Bu daha çok elektrot mekanizma denetimi sonucunda, ocakta parçaların düşmesi, diğer elektrotlardan akan akımların meydana getirdiği manyetik kuvvetlerle olur. Tam kısa devreden arkın tümüyle sönmeye kadar arkta dolayısıyla akımda değişme olur. Bu nedenle, doğal olarak üç fazdaki akım dalgalanmaları asimetriktrir.

Akım dalgalanmaları, şebekeden çekilen reaktif güç dal-

galanmalarına neden olur. Şekil 2'den görüleceği gibi reaktif güç değişimi de gerilim değişimini etkiler.

$$\frac{\Delta U}{U} = \frac{Q}{S_k} \quad \text{elde edilir.} \quad (4)$$



ŞEKİL 2

Şekil 2 b'den

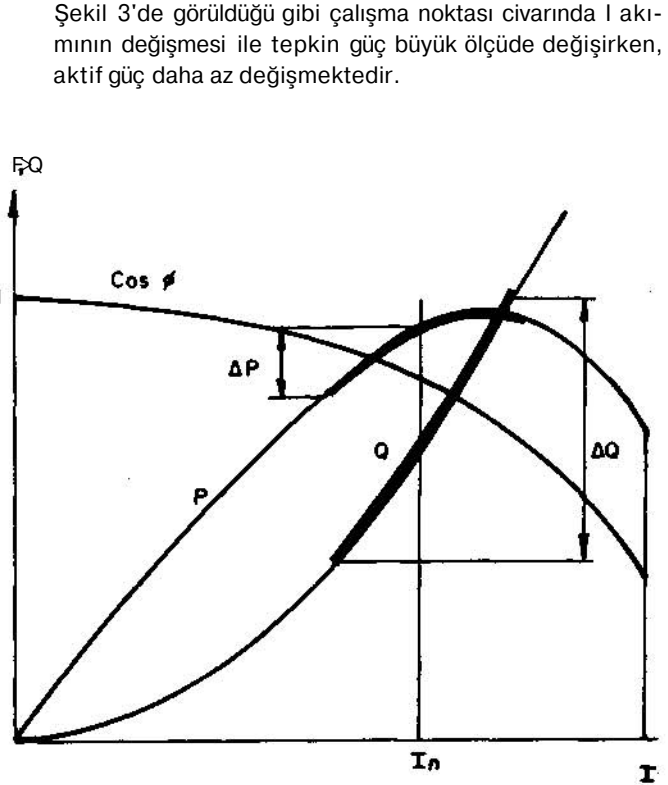
$$\begin{aligned} \frac{\Delta U}{\sqrt{3}} &= I X_s \sin \phi + I R_s \cos \phi \\ &= I X_s \left(\sin \phi + \frac{R_s}{X_s} \cos \phi \right) \end{aligned} \quad (D)$$

Güç şebekelerinde empedans normal olarak endüktiftir. Bu durumda

ve buna ek olarak

$$X_s = \frac{U_0^2}{S_k}$$

Şebekeden çekilen reaktif güç: $Q = IU_0 \sin \phi$ olduğundan (2) ve (3) denklemlerini (1)'de yerine koyarsak

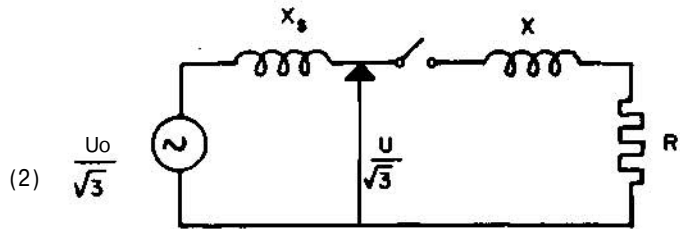


ŞEKİL 3

Reaktif güç değişimleri sonucunda gerilim değişimleri oluşur. Bu da lamba ve televizyonlarda ışık titremelerine neden olur. Buna ek olarak birincil tarafta gerilim düşümüyle daha düşük ergitme gücü sağlanabilmektedir. Trafo giriş gücü bilindiği gibi gerilim karesi ile değişir.

Değişmez güç çarpanında, % 10 gerilim düşümü ark fırını giriş gücünde yaklaşık % 20 azalmaya yol açar.

1.3. SÜREKLİ-DURUMDA GERİLİM DÜŞÜMÜ



ŞEKİL 4

Şekil 4'de sürekli-durumda dengeli yükte gerilim düşümü eşdeğer devresi görülmektedir. Burada reaktif güç düzeltilmesi (compansation) gözönüne alınmıştır.

İndirici trafo birincil taraf gerilimi, fırın devreye alınmadan önce U_0 şebeke besleme gerilimine eşittir. Fırının devreye alınması ile ara bara gerilimi daha küçük bir değerde olacaktır. Oranı:

$$\frac{U/\sqrt{3}}{U_0/\sqrt{3}} = \frac{R + jX}{R + j(X + X_s)} \quad (5)$$

Burada R fırın direnci; X, fırın trafosu dahil fırının reaktansı, X_s , şebeke reaktansıdır.

Mutlak değerlerde oran

$$\frac{|U|}{|U_0|} = \frac{\sqrt{R^2 + X^2}}{\sqrt{R^2 + (X + X_s)^2}} \quad (6)$$

olur. Bu bağıntı sadeleştirilir, binom serisine açılır, ikinci terimden sonrası ihmal edilirse

$$\frac{|U|}{|U_0|} = 1 - \frac{XX_s + 0.5 X_s^2}{R^2 + (X + X_s)^2} \quad (7) \text{ olur.}$$

Bu bağıntının iki tarafından 1 çıkaralım.

$$\frac{|U_0| - |U|}{|U_0|} = \frac{XX_s + 0.5 X_s^2}{R^2 + (X + X_s)^2} \quad (8)$$

Şekil 2 b'ye benzer şekilde vektör diyagramından ve $X_s = U_0^2/S_k$ koyarak

$$\frac{AU}{U} = \frac{3(X + 0.5X_s)I^2}{S_k} = \frac{Q_f + 0.5Q_s}{S_k} \quad (9)$$

elde edilir.

Burada Q_f ark fırını reaktif gücü ($Q_f = 3 I^2 X$, I = hat akımı), Q_s şebeke reaktif gücü ($Q_s = 3 I^2 X_s$), S_k ara bara kısa devre gücü ($X_s = U_g / S_k$).

örnek: $Q_f = 25$ MVar, $Q_s = 5$ MVar, $S_R = 300$ MVA ise

$$\frac{AU}{U} = \frac{(25 + 0.5 \times 5)}{300} = 0.092, \% 9.2 \text{ gerilim}$$

düşümüdür.

Hava hatları reaktansının, indirici transformatör reaktansından büyük olduğu ara baralarda gerilim düşümü büyük olmaktadır.

Hiçbir önlem alınmadığında, fırın tam yükte çalışırken yüksek gerilim tarafı kendi anma gerilimine göre daha küçük bir gerilimde olacaktır. Bu, fırın hiçbir zaman anma gücünde yüklenemeyecek demektir.

Gerilim düşümü ara barada büyük olduğunda, reaktif güç kompanzasyonu gibi önlemler alınarak kompanzasyonla orantılı olarak önlenabilir. Bu durumda şebekeden çekilen reaktif güç sıfıra yaklaşır.

1.4. ARK FIRINLARININ NEDEN OLDUĞU GERİLİM DALGALANMALARI

Ark fırınlarının çalışmasında karakteristik olarak ergime sırasında elektrotlar arasında yinelenen kısa devreler olur. Genellikle iki faz kısa devre olur, ya da bir faz akımsız kalır. Bu tür çalışmalar, değişik derecede akımlarda devam eder.

Akım değişimleri nedeniyle şebekede gerilim dalgalanmaları oluşur. Diğer tüketicilerin ara barada olmayıp, diğer ülkelerde olduğu gibi ana bara üzerinden beslendiğini varsayalım. Bu durumda da ana barada dengeli yüklerde gerilim dalgalanması olacaktır.

(4) nolu bağıntının çıkarılışına benzer bir yaklaşımla:

$$\frac{AU}{U} = \frac{A_{<^*}}{S_k} \quad (10)$$

yazılabilir.

AQ, ana barada reaktif güç dalgalanması olup yaklaşık olarak fırın reaktif güç dalgalanmasına eşittir. S_k , ana baradaki kısa devre gücüdür.

Belirli bir büyüklükte kurulacak ark fırınının, belirli bir kısa devre düzeyinde gerilim dalgalanmalarının değişme miktarının bilinmesi gereklidir.

Ark fırını transformatör gücü, ergime sırasında belirli sınırlarda reaktif tam yüke kadar değişir. Gerilim değişimlerinin bulunmasında birinci yöntem yukarıda verilen (10) bağıntısıdır. En büyük gerilim değişimlerinde, kısa devre gücü ve reaktif güç değişimi bu bağıntının çözümü için yeterlidir.

Çok kullanılan diğer bir yöntem şöyledir. Yüksüz duruma göre elektrotlarda ani 3 faz kısa devre durumu gözönüne alınır. Verilen arıza düzeyinde gerilim düşümü bulunabilir.

Şekil S'de görülen eşdeğer devreden

$$\frac{(U-A)}{\sqrt{3}} = I (X_{itr} + X_f) \quad (11)$$

$$\frac{U}{\sqrt{3}} = I (X_s + X_{itr} + X_f) \quad (12)$$

olur. (11)'in (12)'ye bölünmesinden

$$\frac{U - \Delta U}{U} = \frac{X_{itr} + X_f}{X_s + X_{itr} + X_f}$$

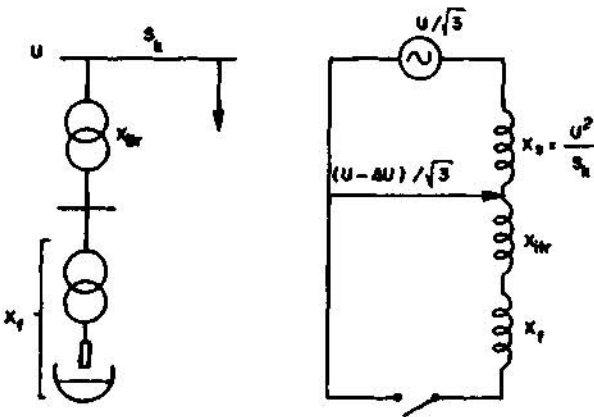
$$1 - \frac{\Delta U}{U} = \frac{X_{itr} + X_f}{X_s + X_{itr} + X_f}$$

$$\frac{\Delta U}{U} = \frac{X_s}{X_s + X_{itr} + X_f} \quad (13)$$

elde edilir. $X_s = U^2/S_k$ ve fırın elektrot kısa devre gücü S_f^* olarak belirtilirse, (13) bağıntısından

$$\frac{\Delta U}{U} = \frac{f_k}{S_k} \quad (14)$$

yazılabilir.



ŞEKİL 5

Aynı şebekeden diğer müşterilerin beslenmesi durumunda ark fırınlarının izin verilebilir gerilim düşümü hesabı bu yolla yapılabilir. Gerilim değişmelerinin genliğinin artması ile diğer tüketicilerde, özellikle ev aydınlatmalarında rahatsız edici durumlar (flicker olayı) ortaya çıkmaktadır.

Gerilim düşümlerinin % 1,8'den küçük olduğu durumlarda karışma (interference) olmadığı, % 2,4 ve 2,3 den büyük değerlerde rahatsız edici şikayetlere neden olduğu belirlenmiştir.

İngiltere'de bu durum standartlaştırılmıştır. 132 kV'a kadar şebekelerde en büyük oran % 2,275 kV ve üzeri şebekelerde % 1,6 dır.

(14) bağıntısı bir fırın için çıkarılmıştır. Aynı işyerinde bir çok ark fırını olabilir. Fırın sayısı artınca gerilim değişme genlik oranı da artmaktadır. Beraber çalışan çok sayıdaki fırın için

$$\frac{\Delta U}{U} \text{ eşdeğer} = \frac{\sqrt{\sum S_{fk}^2}}{S_k} \quad (15)$$

yazılabilir. Eğer fırınlar aynı büyüklükte ise

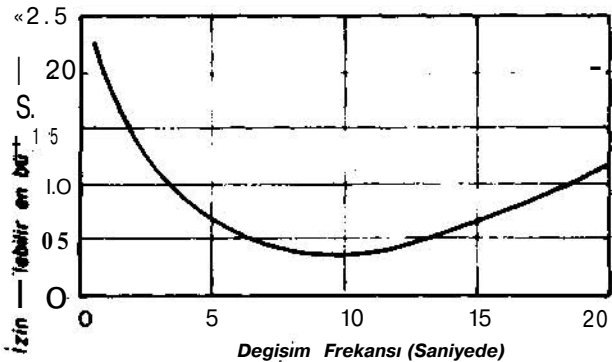
$$\frac{\Delta U}{U} \text{ eşdeğer} = \frac{\Delta U}{U} \cdot y / IT \text{ } ^1 \text{ fırın} \quad (16)$$

yazılabilir, n, beraber çalışan fırın sayısıdır.

1.5. FLICKER OLAYI

Gerilim değişmeleri (pulsations) nedeniyle aydınlatma tüketicilerinde rahatsız edici durumlar ortaya çıkmaktadır. Bu, değişimin genliğine ve bir zaman içindeki tekrarlama sayısına (frekansına) bağlıdır. Araştırmalar sonucu insan gözünün akkor flamanlı lambalarda flicker olayına çok duyarlı olduğu anlaşılmıştır, özellikle saniyede 6-12 tekrar için % 0,25 gerilim değişimi yeterli olmaktadır.

Şekil 6'da akkor flamanlı lambalarda izin verilebilir gerilim değişimini frekans değişimine bağlayan bir eğri verilmiştir.



ŞEKİL 6

Fluoresant lambalar, akkor flamanlı lambalara göre flicker olayına daha az duyarlıdır. Yaklaşık 20 Hz. üzerinde flicker olayı görülür. Televizyonda 10 Hz. sıklıkta % 10 gerilim düşümünde alıcı yayını bozulur.

Ark fırınları çalışması sırasında ortaya çıkan gerilim değişimleri çoğunlukla 2-10 Hz arasındadır.

Şebekeye bağlı normal büyüklükteki ark fırınlarının oluşturduğu gerilim değişmelerini sınırlayabilmek için herhangi bir önlem alınmadığı durumda ana bara kısa devre gücünün çok yüksek olması gerekir. Bu kısa devre gücü de çoğunlukla yalnız çok yüksek şebeke gerilimlerinde olmaktadır.

1.6. HARMONİKLER VE REZONANS OLAYI

Fırının çalışmasında ark direnci sabit değildir. Yarım periyodun başında direnç yükselir. Daha sonra en küçük bir değere düşer ve yarım periyodun sonuna doğru yeniden yükselir. Bu akımın tam sinüzoidal olmadığını gösterir. Harmonik bileşenler ergime başlangıcında en büyüktür. Ergimiş banyo halinde arkın tutuşmasında ise harmonikler azalır. Bu çalışma durumuna ek olarak bazı yarı periyotlarda ark tutuşmayabilir.

T. Matula'nın (Union International d'Electrothermine Warsow 1972 Report N. 709) yaptığı incelemelere göre temel harmoniğe göre ikinci harmonikte genlik % 42,

üçüncü harmonikte % 53,9'a ulaşmaktadır. Şekil 7'de ark fırını harmonik akımları üreten bir generatör gösterilmektedir.

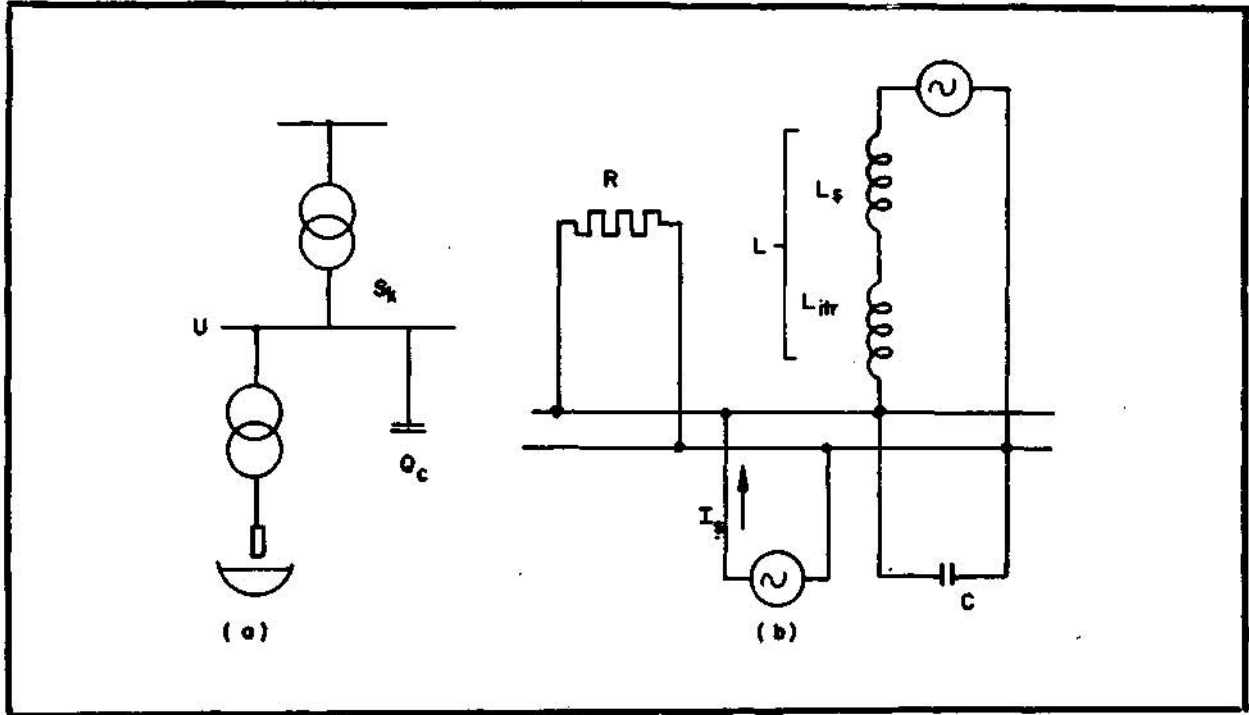
Harmonik akımlar paralel devrede şebeke endüktansı (L_s) ve paralel sığaçta (C) akar. Eğer paralel devre belli bir harmonik frekans için rezonans oluşturursa, devre reaktansı yükselir. Fırının oluşturduğu rezonans frekansındaki akıma uygun harmonik gerilim büyük değerlere ulaşabilir. Gerçekte, şebekenin her zaman aktif bir yükü vardır. Şekil 7'de bu R ile gösterilmiştir. Rezonans durumunda harmonik akımların büyük bir kısmı bu dirençten geçer. Bu da R üzerinde harmonik gerilimleri ortaya çıkarır.

Rezonans durumunda şebekede ve paralel sığaçtaki harmonik akım, fırının ürettiği harmonik akımları aşabilir. Doğrultucular tarafından üretilen harmonik akımların yüklü şebekelerde ölçümlerinde kazanç faktörü 3 olabilir. Ark fırınları için de durum aynıdır.

Şekil 8'den faydalanarak şebeke rezonans frekansı bulunabilir.

$$X_L = \omega L, \quad L = \frac{X_L}{\omega}, \quad (17)$$

$$X_L = \frac{U^2}{S_k}, \quad L = \frac{U^2}{\omega S_k}$$



ŞEKİL 7

$$X_c = \frac{1}{\omega C}, \quad C = \frac{1}{\omega X_c}, \quad (18)$$

$$x_c = \frac{U^2}{Q_c}, \quad C = \frac{Q_c}{\omega U^2}$$

(17) ve (18) bağıntılarını rezonans bağıntısındaki yerine koyarsak

$$\omega_r = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \omega \sqrt{\frac{S_k}{Q_c}} \quad (19)$$

$$\frac{\omega_r}{\omega} = \frac{f_r}{f} = \sqrt{\frac{S_k}{Q_c}} \quad (20)$$

elde edilir.

1.7. ARK FIRINLARININ SANTRALLARA ETKİLERİ

Ark fırınları şebeke için kararlı olmayan dengesiz yüklerdir. Diğer tüketicilerin gerilim değişimlerinden zarar görmemeleri için yüksek arıza seviyesine gereksinim vardır. Eğer bir bölgeye çelik fabrikası kurulması düşünülüyor ve o bölgede arıza seviyesi düşük ise, şebekeye bağlamak için ark fırını ayrı bir güç santralından beslemek düşünülebilir. Bu şekilde diğer tüketicilerin zarar görmesi önlenir.

Bu durumda ani değişen aktif güçlerin ortaya koyduğu türbin hız regülatörü ayar sorunları özellikle fırın gücünün generatör gücüne eşit olması ile ortaya çıkar. Hidroelektrik santrallarda türbin kılavuz vanası yük değişimlerinde uyum yapamaz, büyük hız dolayısıyla da frekans değişimlerine neden olur. Termik güç santrallarında türbine buhar girişi, hızla ilgili olarak daha yakın izlenir. Buna rağmen belirli hız değişimleri kaçınılmaz. Buhar domları hız değişimlerinde kazanla türbin arasında bir tamponlama sağlar. Gaz türbinlerinde çok hızlı yakıt ikmali yapılabilir, fakat çok hız değişimi ile karşılaşılır. Gaz türbinlerinde, buhar domu gibi bir tampon da yoktur. Buhar ve gaz türbinlerinin ikisinde de büyük yük değişimlerinde, büyük sıcaklık değişimleri sorunu ortaya çıkar.

Dengesiz yükler generatörde ek kayıplara neden olur. örnek olarak ark fırını besleyen 36 MVA, 22 000/492-210 V bir transformatörün ergime sırasında tam-yük akımı 944 A, en büyük negatif bileşen akımı % 42, ergime sonrasında ortalama değeri ise % 20'dir.

IEC 34-1'e göre generatörlerin negatif bileşen akımlara karşı korunması, pozitif bileşen akımının % 5 eşdeğerinde yapılır. Fırın yükleri, bu nedenle generatör tasarımı-

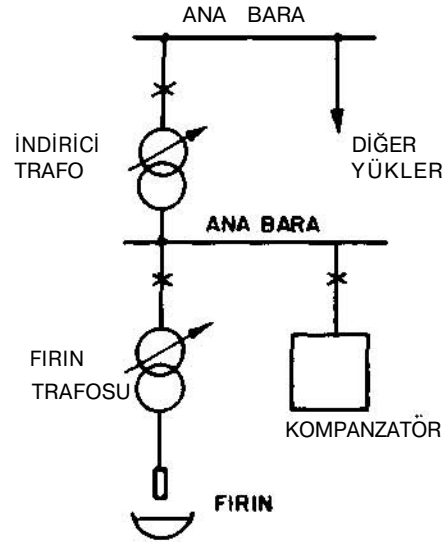
nın özel olmasını gerektirir.

2. ARK FIRINLARININ ŞEBEKEDEN MEYDANA GETİRDİĞİ BOZUCU BÜYÜKLÜKLERE KARŞI ÖNLEMLER

2.1. REAKTİF GÜÇ KOMPANZASYONU

Ark fırını işletmesinde kararlı durumda gerilim düşümünün ve gerilim değişimlerinin olduğunu belirttik. Çıkarılan bağıntılardan görüldüğü gibi iki durumda da reaktif güç etkisi vardır. Reaktif gücün kompanzasyonu ile belirtilen kötü etkiler giderilebilir.

Şekil 8'de görüldüğü gibi ana baraya konulan bir kompanzatörle kompanzasyon yapılır.



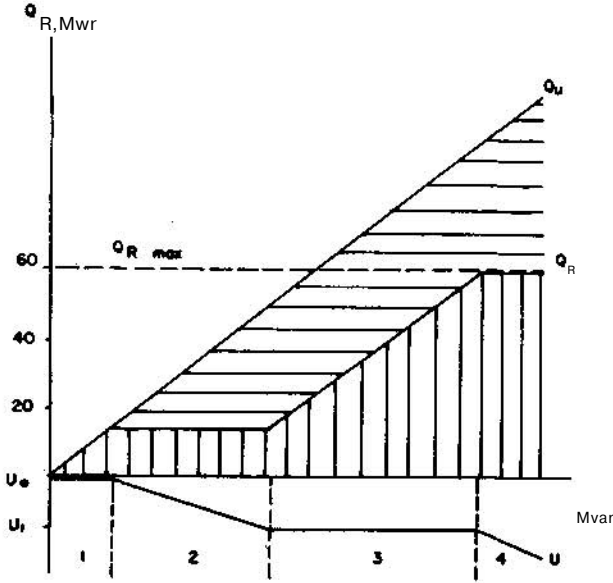
ŞEKİL 8

Şekil 10'da kompanzatör sistemi ile reaktif güç ve gerilim değişimleri görülmektedir.

1. bölgede otomatik kumandalı kompanzatörle reaktif enerji sağlanması, gerilim U_0 'da sabit kalıyor.
2. bölgede kompanzasyon sabit kalıyor. Gerilim düşümü var.
3. bölgede gerilim sabittir. Fırın için gerekli reaktif güç kompanzatörle sağlanır.
4. bölgede gerilim belli U , değerinin altına düşer. Kompanzatör ağacının üzerindeki reaktif güç şebekeden ve sabit sığaçlardan sağlanır.

Şekil 9'daki kısaltmaların anlamı şöyledir.

- Q_u : Fırının tükettiği reaktif güç
 Q_R : Tiristor anahtarlı sığaçın ürettiği reaktif güç
 $Q_{R_{max}}$: Tiristor sığaç kümesinin ürettiği en büyük reaktif güç
 U_o : Boşta gerilim
 U : işletme gerilimi



ŞEKİL 9

Kompanzasyon için aşağıda belirtilen elemanlar kullanılır.

- Sabit sığaç
- Senkron kompanzator
- Tiristor anahtarlı sığaç
- Tiristor anahtarlı reaktör
- Tiristor kumandalı reaktör
- Doymuş reaktör

a. Sabit Sığaç

Çok kullanılan ve en ucuz kompanzasyon şeklidir. Büyüklük saptanmasında, ergime sırasında bir kısım reaktif gücün kompanse edilmeden, şebekeden çekilecek büyüklükte olması gözönüne alınır.

Fırın çalışması sırasında kesici açması ile yük kaybolabilir veya fırın çok düşük yükte çalışabilir. Bu durumda aşırı kompanzasyon söz konusu olabilir; sığaçlar şebekeye reaktif güç verebilirler. Bu da işletmede şebeke gerilimini istenilen sınırlarda tutmayı zorlaştırır. Başka bir önlem alınmadığında, sığaç büyüklüğü saptanmasında ikin-

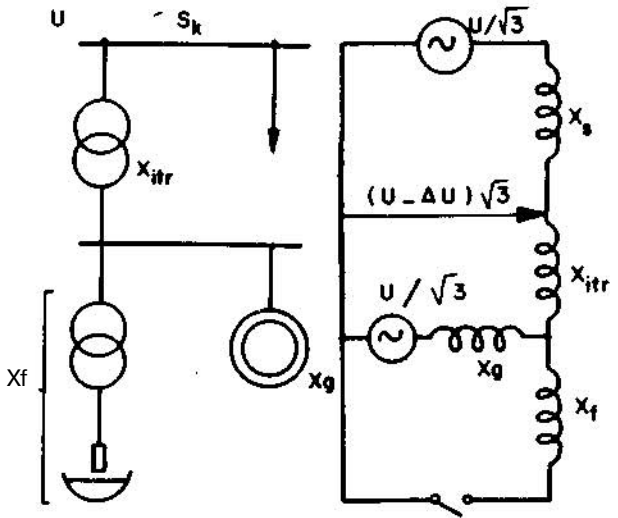
ci bir nokta da gerilim yükselmesi durumudur, işveç standardı SEN 270101'e göre yük atıldığında bu değer anma geriliminin % 5 fazlasını aşmamalıdır.

Diğer bir sorun fırın tam yüklü olduğunda ara baradaki gerilim düşümüne karşı sığaçların yeterli olmamasıdır. Sığaçlar, şebekede ark fırınlarının oluşturduğu gerilim değişimlerinin genliklerinin azaltılmasında fazla yardımcı olmaz. Baraya yerleştirilecek sığaçların trafo güçlerine göre büyüklükleri rezonans yönünden sınırlıdır veya özel önlemler alınmalıdır.

b. Senkron Kompanzator

Bara kısa devre gücünün artırılması ile gerilim değişimi genlikleri düşürülebilir. Senkron kompanzatorle ara baradaki kısa devre gücü yükseltilir.

Şekil 10'da 3 fazlı dengeli bir sistemin bir faz eşdeğer devresi görülmektedir.



ŞEKİL 10

Daha evvel Şekil 6'dan faydalanılarak çıkarılan (13) nolu bağıntıya benzer biçimde, Şekil 10'dan ve süperpozisyon teoreminden de faydalanılarak;

$$\frac{\Delta U}{U} \cong \frac{X_s}{(X_s + X_{itr}) \left(1 + \frac{X_f}{X_g}\right) + X_f} \quad (21)$$

elde edilir.

Bu eşitlik (13) nolu gerilim değişim bağıntısı ile karşı-

kısıtıldığında, $X_s = \infty$ olduğundan aynı bağıntının elde edileceği görülür. (Bu durum, senkron kompanzatorün devrede olmaması durumudur). X_s küçültürse (büyük senkron makinalarda) gerilim değişim genliği küçülür.

Müşteriden görülen reaktansı ortalama % 5 olarak kabul ederseniz aynı yükteki çıkık kutuplu senkron kompanzator alt geçici-rejim reaktansı % 25'dir. Eşdeğer sistem reaktansı

$$\frac{5 \times 25}{5 + 25} = \% 4,2 \text{ ve flicker gerilimi ilk duruma göre}$$

$$\frac{4,2}{5,0} = \% 84 \text{ 'dür.}$$

Yuvarlak rotorlu, yüksek devirli makinalarda reaktans daha düşürülmüştür. Fakat bu tip makinalar daha pahalıdır.

Senkron kompanzatorün yarar ve sakıncaları şunlardır:

Yararları:

- 1) Denenmiş iyi bir teknolojiye sahiptir.
- 2) Makina herhangi bir harmonik üretmez.

Sakıncaları:

- 1) Uyarı akımını değiştirilmeye, fırın dengesiz yüklü iken, bütün fazları eşit etkilemek olanaksızdır.
- 2) Makina kayıpları göreceli olarak fazladır.
- 3) Daha büyük yatırım gerektirir.
- 4) Makinada bir arıza olduğunda bütün kompanzasyon ortadan kalkar.

Senkron kompanzatorlerin etkinliğini artırmak için ek olarak seri reaktör veya sıgaçlar yerleştirilmektedir.

c. Tiristor-anahtarlı Sıgaç

1972 yılında ilk olarak İsveç'te ark fırını gerilim değişimlerini önlemek üzere kullanılmıştır.

Tiristor kullanılarak, fazlar üzerine konulan çok sayıda sıgaç devreye alıp çıkartma olanağı vardır. Sıgaç birimleri, fırının reaktif güç istemine uyacak biçimde, arada gerilim % 0,25'ten fazla değişmeyecek büyüklükte seçilir.

Ark fırınının reaktif gücü ölçülür. Elde edilen sonuç tiristor-anahtar kumandalı sıgaçın boyutlandırılmasında kullanılır. Tek fırın işletmesinde güç çarpanı yaklaşık 0,7'dir. Ergime sırasında güç değişmesi $0 = Q_{st} (1 \pm 0,7)$ olur.

Q_{st} , fırının sürekli durumdaki tam yük reaktif gücüdür. Buradan görüleceği gibi sabit kısım;

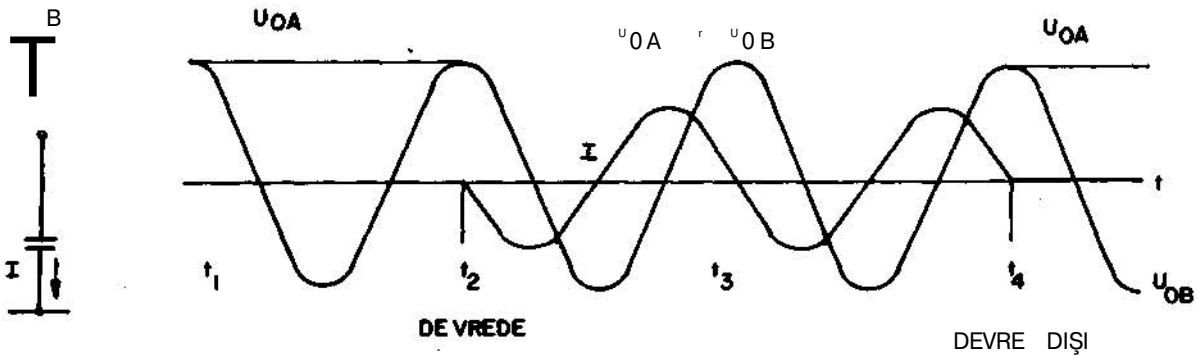
$$Q_{\text{sabit}} = 0,3Q_{st}$$

Değişen kısım da $Q_{\text{değişen}} = 1,4Q_{st}$ 'dir.

Değişen birimlerin anahtarlama yoluyla devreye alınmasında geçici durumlar (transients) çok önemlidir. Devreye alınmak üzere bekletilen sıgaç birimleri doğru gerilimle dolu olarak saklanır. Uygulanan D.A. gerilim genliği A.A. genliğine eşittir.

Şekil 11'de görüldüğü gibi gerilim tepe değerinde iken akım başlar. Diğer tepe değerinde akım kesilir. Böylelikle geçici durumlar (transients) oluşmaz. Tepkisi hızlı olduğundan ötürü, reaktif güç değişimleri sıgaçla yakından izlenir. Böylece arada gerilim değişimleri azaltılır.

Fırın reaktif gücünü karşıladıkları için sıgaçlar, gerilim



ŞEKİL 11

düşümünü de önler. Bu, fırına aktif güç girişinin artması demektir. Üretimdeki artış nedeniyle kompanzator kuruluş tutarı kendini amorti eder. Bu önlemlerle ana barada da, şebeke gerilim değişimleri küçülür.

Yöntemin yarar ve sakıncaları şöyle sıralanabilir.

Yararları:

- 1) Kayıpları küçüktür. Fırın devre dışı iken sığaçlar da devre dışıdır.
- 2) Her faz için kompanzasyon yapılabilir. Yük dengesi-liği nedeniyle bu çok önemlidir.
- 3) Sığaç kümeleri harmonik üretmez.
- 4) Sığaç kümeleri kolaylıkla genişletilebilir.
- 5) Arıza etkisi sınırlıdır. Arızalı kısım ayrılır, kalan sığaç kümesi çalışmaya devam edebilir.

Sakınca olarak, reaksiyon zamanının, anahtarlama işlemlerinin % 25'inde A.A.'la bir periyot olmasıdır.

d. Tiristör-anahtarlı reaktör

Tiristör anahtarlama ile sığaç yerine reaktör birimleri devreye alınabilir. Fırına ait güç ölçülür ve kumanda edilir. İkisine ait toplam reaktif güç sabittir.

Anahtarlama pozitif ya da negatif tepe değerinde yapılır, akım sıfır olur. Bu şekilde geçici durumlardan sakınılış olunur.

Yararları:

- 1) Reaksiyon zamanı yarım periyottur.
- 2) Reaktörler herhangi bir harmonik üretmez.
- 3) Her faz için kompanzasyon yapılabilir.

Sakınca olarak, kayıplarının sığaçlara göre daha yüksek olması gösterilebilir.

e. Tiristör-kumandalı reaktör

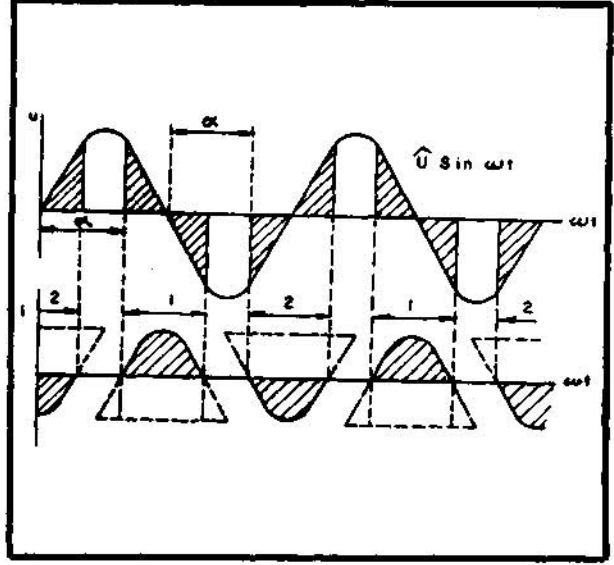
Reaktif gücün yarım periyot süresince ölçülmesi yerine, sürekli olarak ölçülmesi ve tiristörlerin ateşleme anlarının saptanması ile akıma kumanda edilir. Şekil 13'de elde edilen akım biçimi görülmektedir. Harmonik kapsamı çok büyük olan bu akımın birinci harmoniği, I_{1t} için reaktif güç

$$Q = \frac{U \cdot I_1}{U^2}$$

$$Q = \frac{2}{2} \cdot (n - a + 1/2 \sin 2 \hat{u})$$

olur.

Reaktif güç, yukarıdaki bağıntıdan görüleceği gibi, $a, n/2$ 'den T_r 'ye giderken U^2/X en büyük değerinden süre-



ŞEKİL 12

li olarak azalarak sıfır olur. ölçülen her ana bağlı olarak denetim düzeneğinde a gecikme açısı seçilerek reaktör devreye alınır veya çıkarılır.

Reaksiyon süresi, ölçü süresi (10 ms.) ve bekleme süresi toplamına eşit olur.

Tiristör kumandalı reaktörlerin yararları:

- 1) Ortalama reaksiyon süresi yarım periyottur.
- 2) Her faz için kompanzasyon yapılabilir.
- 3) Reaktör, büyük kısa devre empedansı olan bir transformator biçiminde tasarlanabilir. Bununla tiristör anahtarlama sığacı besleyen bir ara transformatorün beslenmesine olanak sağlanır.

Sakıncaları da şöyle sıralanabilir:

- 1) Kayıpları tiristör anahtarlı sığaç ve reaktöre göre daha büyüktür.
- 2) Kompanzator, harmonik akımlar üretir.

f. Doymuş-Reaktör

Tiristör-anahtarlı veya tiristör-kumandalı reaktörlerde olduğu gibi sabit sığaçlarla birlikte ara baraya konurlar. Bu durumda demir çekirdek, ölçü donatımının yerini tutar. Endüksiyon yasasına göre çekirdekdeki magnetik akı

$$\langle \phi \rangle = - \int \frac{U}{N} dt$$

olur. Yarım periyot süresinde, akı yoğunluğu doymaya ulaştığında reaktans birdanbire düşer, ilke olarak reakt-

tör, çekirdeği doydugu zaman yarım periyot boyunca akım geçirir. Doyma bittiğinde akım da azalır.

Eğer gerilim yükselirse, doyma yarım periyot süresinin başlangıcında olabilir ve daha büyük akım akar. Bu da daha büyük reaktif güç demektir. Başka bir deyişle, daha büyük reaktif güç, gerilim yükselmesini önler.

Doymuş reaktörün yararları şunlardır:

- 1) ölçü düzeneği gerekmez.
- 2) Reaksiyon zamanı 1 ile 2 periyottur.

Sakıncaları şunlardır:

- 1) Reaktör gerilime duyarlıdır. Fırın reaktif gücüne «öre gerilim daha az değişir. Bu nedenle daha önce anlatılan kompanzasyon yöntemleri kadar sağlıklı denetim sağlayamaz.
- 2) Tiristör-anahtarlı sığaca göre daha büyük kayıpları vardır.
- 3) Harmonik akımları üretir.
- 4) Reaktör şebeke gerilim değişimine duyarlıdır. Bu nedenle gerilim ayar transformatörü ile birincil gerilim ayarı gerekir.
- 5) Reaktör yüksek gürültü seviyesine sahiptir.

Yukarıda kısaca özetlenerek verilen kompanzasyon önlemleri ile

- I. Gerilim kararlılığı sağlanır,
- II. Güç katsayısı düzeltilir,
- III. Fırınları daha yüksek aktif güçle yükselerek, verim artırılır,
- IV. Gerilim değişimlerinin genlikleri düşürülür.

2.2. HARMONİKLER VE REZONANSA KARŞI ÖNLEMLER

Ark fırınlarının ergime sırasında şebekeden çektikleri akımlar oldukça bozulmaya (distortion) uğrar. Bu nedenle değişik sıklıkta harmonikler üretilir, özellikle üçüncü harmonik (150 Hz), diğerine göre fazladır. Daha yüksek harmoniklerin genlikleri hızla düşer.

Harmonik ve rezonansla ilgili güç sistemlerindeki problemler son yıllarda artmıştır. Nedenlerini kısaca şöyle özetleyebiliriz:

1) Ark fırınlarının son yıllarda eskisine göre düşük güç çarpanı ile çalışmasının daha avantajlı olduğu görülmüştür. Buradan anlaşılacağı gibi ark fırını için gerekli reaktif güç artmaktadır. Daha büyük kompanzasyon için daha büyük sığalı sığaç gereklidir. Bu durumda da şebeke rezonans frekansı düşer. Düşük frekanslarda harmoniklerin çoğunlukla daha büyük genliği vardır.

2) Eski yıllara göre işletmelerde daha büyük reaktif güç kompanzasyonu istemi vardır. Bu nedenle daha büyük

sığaç ve düşük rezonans frekansı ortaya çıkar.

3) Transformatörler günümüzde yüksek nitelikli çekirdek çeliği ile üretilmektedir. Akı yoğunluğu eskiden 1,3 Tesla olarak seçilirken şimdi 1,8 Tesla'dır. Manyetik çekirdeğin doyması ise yaklaşık 2 Tesla'dır. Büyük aşırı gerilimlerde, miktamslama akımları çok büyür. Miknatıslama akımları normal işletmede tek, enerjileme sırasında ise çift harmonikleri kapsar.

Harmonik problemlerinin çözümünde aşağıdaki yöntemler uygulanır.

1) Baraya kurulan paralel sığaç değerlerini azaltmak veya çoğaltmak yoluyla şebeke rezonans frekansını değiştirmek.

2) Açtırma rölelerini geciktirmek, sığacın izin verilebilir yüküne göre ayarlamak. (JEC 70 standardına göre sığaçlar, harmonik akımları da kapsayan, anma akımının 1,3 katı değerinde etkin akımlara karşı dayanabilmelidir).

3) Paralel sığaç ara seri reaktör yerleştirilerek belli bir frekans için seri rezonans devresi oluşturmak. Bu seri devrenin tasarımında şebeke frekansında baranın gerektirdiği reaktif güç verilir. Belli bir rezonans frekansında da devreden harmonik akımların akmasına engel olur. Genellikle üçüncü harmoniğe karşı seri rezonans devresi oluşturulur.

KAYNAKLAR

- (1) "Industrial Furnaces", Chapter 15.1, AEG Manual, 1966.
- (2) "Lamp Flicker on Power Systems", Chapter 22, Transmission and Distribution Ref. Book, Westinghouse, 1964.
- (3) Sundberg, Yngve; "The Power Circuit of Arc Furnaces", ASEA Journal, Cilt 45, Sayı 3, 1972.
- (4) Frank, Harry ve Sven Juner; "TYCAP Power Factor Correction Equipment Using Thyristor-controlled Capacitors for Arc Furnaces", ASEA Journal, Cilt 46, Sayı 6, 1973.
- (5) Sundberg, Yngve; "The Arc Furnace as a Load on the Network", ASEA Journal, Cilt 49, Sayı 4, 1976.
- (6) Frank, H., ve K. Petterson; "Raising the Production of Arc Furnaces by Stabilizing the Voltage with Thyristor-switched Capacitors", ASEA Journal, Cilt 50, Sayı 1, 1977.