

ARAŞTIRMA MAKALESİ

**UZUN ENERJİ İLETİM HATLARINDA YÜKSEK HARMONİKLİ
FERROREZONANS AŞIRI GERİLİMLERİNDEN KORUNMA**

**Arif Memmedoğlu HAŞİMOV*, Ahmet NAYIR*, Yevgeniy Vasilyeviç
DİMİTRİYEV***

**Azerbaycan İlimler Akademisi, Fizik Enstitüsü, Bakü-AZERBAYCAN*

Geliş Tarihi: 01.08.1998

**PROTECTION OF ENERGY TRANSMISSION LINES FROM THE
FERRORESONANCE OVERVOLTAGES WITH HIGH HARMONICS**

SUMMARY

It is important to provide economic working of energy transmission lines from internal overvoltage without fault.

The main construction of parameter of economic distribution stations the cost of the first construction and working of the compound system of energy transmission lines are necessary in solving this problem. One of the problems of energy transmission lines is to be protected from ferroresonance overvoltage.

In this article, the overvoltage of energy transmission lines is investigated. In order to abolish the overvoltage the ways of using reactors in the beginning and at the end of energy transmission lines are shown.

ÖZET

Enerji iletim hatlarının iç aşırı gerilimlerden korunarak arızasız ve ekonomik çalışmasını sağlamak önemlidir. Bu problemin çözümünde dağıtım istasyonlarının temel kuruluş parametreleri, ilk kuruluş maliyetleri ve enerji iletim hattı ile birleşen sistemlerin ekonomik çalışmaları esastır.

Enerji iletim problemlerinden biri de sistemi ferrorezonans aşırı gerilimlerden korumaktır. Bu makalede, ferrorezonans aşırı gerilimleri incelenmiş ve ortadan kaldırmak için enerji iletim hattının başında ve sonunda reaktörlerden yararlanmanın yolları gösterilmiştir.

GİRİŞ

Yüksek gerilimli enerji iletiminin güvenilirliğini artırarak sorunsuz çalışmasını sağlamak için en önemli problemlerden birisi, bu sistemlerin iç aşırı gerilimlerden korunması problemidir. Enerji iletim hatlarında dağıtım istasyonlarının esas kuruluş parametreleri, ilk kuruluş maliyetleri ve genelde enerji iletim hattı ile birleşen sistemlerin güvenli çalışmaları ve problemin çözümünün önemini artırmaktadır.

Çağdaş uygulamalarda iç aşırı gerilimlerden korunma aşırı gerilimlerden koruyucu aygıtlarla (parafudrlar, ark boynuzları, reaktörler, şöntler, ve güç kesicileri gibi aygıtlarla) sağlanmaktadır. Aynı zamanda açıp kapamanın arıza anında planlı bir şekilde yapılması, iç aşırı gerilimlerin sınırlandırılması probleminin bir şekilde çözülmesi, elemanların yalıtımı ve koruma aygıtlarının güvenilirliğini artırmış olur. Buna

göre de iç aşırı gerilimleri önlemek için planlı ve arıza açma kapamalarını optimal şekilde çalıştırmak ve arızayı önlemek için konulan bilgileri işleyip hazırlamak güncel konulardan sayılır. İletimin devam etmesi, arızadan önceki durumda iletilen güce ve enerji iletiminin kuruluşuna önemli derecede bağlıdır.

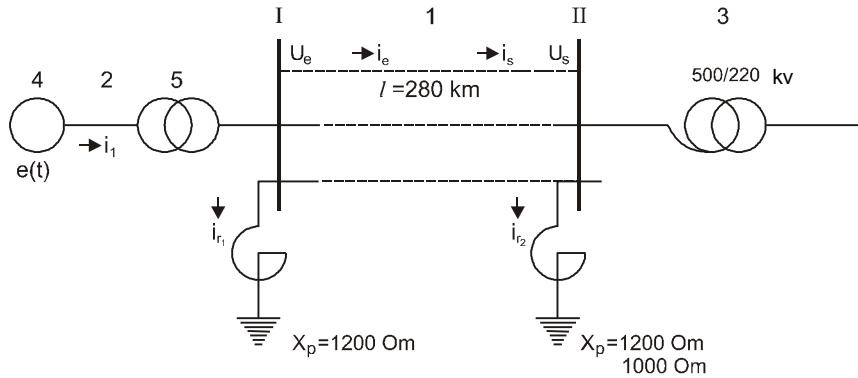
Açma kapama yapabilmenin yolları ve enerji sistemlerine uygulanması güvenli çalışma bakımından incelenmeli ve bir sistemde çalışma sırasında güvenlik aygıtlarının değiştirilmesinin mümkün olup olmadığı araştırılmalıdır.

Uzun enerji iletim hatlarındaki problemlerden biri de ferrezonans aşırı gerilimlerinden korunmadır. Bu makalede ferrezonans aşırı gerilimleri incelenmiş ve bu aşırı gerilimleri ortadan kaldırmak için enerji iletim hattının başında ve sonunda reaktörlerden yararlanmanın yolları gösterilmiştir. Bu reaktörler, hattın devreye alınmasına kadar devrede kalır, hattın devreden alınmasından sonra devreden çıkarılır. İşletme deneyimleri, reaktörlerin bu şekilde devreye bağlanıp çıkarılmasının ferrezonans aşırı gerilimlerinden güvenilir olarak korunma bakımından yeterli olmadığını göstermiştir. Çünkü ferrezonansın oluşması sırasında reaktörlerin devreye bağlanması çoğu zaman gerçekleştirilememektedir.

Azerbaycan ile Türkiye enerji sistemlerinin birbirine bağlanması durumunda güvenli çalışmasını sağlamak için bir tarafın yüksüz olması durumuna bakmak lazımdır. Azerbaycan enerji sisteminde ferrezonansla ilgili olarak yapı oluşturulmuştur. Bu makalede, yukarıda açıklanan problemin çözümünde, daha önce yazılmış olan makalelerde verilen [1,2,3] dalga olaylarının analizi için sayısal yöntemden yararlanılmıştır. İncelenen sistem Şekil-1 de gösterilmiştir.

ENERJİ SİSTEMİNDE FERREZONANS PROSESİ

Sistemde, uzunluğu 280 km. olan 1 enerji iletim hattı 2 ve 3 dağıtım istasyonlarını birbirine bağlamaktadır. Enerji iletim hattı, 4 generatörü ile 5 transformatörü üzerinden beslenmektedir. 3 dağıtım istasyonuna gücü 800MVA olan 500/220kv luk bir transformatör bağlıdır. Transformatörün yüksüz durumu inceleniyor. Generatörün toplam gücü 2,4 GW olabilir. 5 transformatörünün ise 1.6 MVA olabilir. Sistem Azerbaycan enerji sisteminde ferrezonans prosesinin oluşması ile bağlantılı durumu göstermektedir. Açıklanan sistemde ferrezonans olayını açıklamak için aşağıdaki denklem sistemi kullanılmıştır. Bu da [1,2]deki sayısal yöntemin varlığını gösterir. Sonuç olarak bulunmuş formülleri I, II düğüm noktaları ve enerji iletim hattı için ayrı ayrı gösterelim.



Şekil 1. Yüksek harmonikli ferrezonans aşırı gerilimlerinden korunma devre şeması

1.düğüm noktası için;

$$\frac{d i_1}{d t} = L_b^{-1} [e(t) - r_b i_1 - u_e]$$

$$\frac{d i_{r_1}}{d t} = L_{r_1}^{-1} \cdot u_1; i_{1=i_e} + i_{r_1}; u_e = (z + z_n) \cdot (i_1 - i_{r_1}) - V_q$$

Burada L_b , r_b , L_{r_1} blokun ve reaktörün parametreleridir. buradaki L_T , L_g , r_r , r_g generatöre ve transformatöre ilişkin parametrelerdir. Fazlar açılmağa başladığında transformatörün mıknatıslanma eğrisini dikkate almak lazım gelir ki, o zaman aşağıdaki formüller kullanılır.

$$L_b = \begin{bmatrix} L_T + \frac{2}{3} L_g & -\frac{1}{3} L_g & -\frac{1}{3} L_g \\ -\frac{1}{3} L_g & L_T + \frac{2}{3} L_g & -\frac{1}{3} L_g \\ -\frac{1}{3} L_g & -\frac{1}{3} L_g & L_T + \frac{2}{3} L_g \end{bmatrix}$$

$$r_b = \begin{bmatrix} r_T + \frac{2}{3} r_g & -\frac{1}{3} r_g & -\frac{1}{3} r_g \\ -\frac{1}{3} r_g & r_T + \frac{2}{3} r_g & -\frac{1}{3} r_g \\ -\frac{1}{3} r_g & -\frac{1}{3} r_g & r_T + \frac{2}{3} r_g \end{bmatrix}$$

Bu değişkenler aşağıda matris olarak verilmiştir.

$$i_1 = \begin{bmatrix} i_A \\ i_B \\ i_C \end{bmatrix}; i_{r_1} = \begin{bmatrix} i_{rA} \\ i_{rB} \\ i_{rC} \end{bmatrix}; i_e = \begin{bmatrix} i_A \\ i_B \\ i_C \end{bmatrix}; U_e = \begin{bmatrix} u_A \\ u_B \\ u_C \end{bmatrix}; V_q = \begin{bmatrix} V_{qA} \\ V_{qB} \\ V_{qC} \end{bmatrix}$$

Buradaki V_q elektrik iletim hattı büyüklükleri belirlenir[1].

Eğer 5 transformatörünün mıknatıslanma akımı dikkate alınsa 1 düğüm noktasının denklemleri aşağıdaki gibi olur.

$$\frac{d}{d t} \begin{bmatrix} \Psi_a \\ \Psi_B \\ \Psi_C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1 - L_1 F(\Psi_A) + L_{b1} L_{b2}^{-1} & -\frac{1}{3} L_1 L_2^{-1} & -\frac{1}{3} L_1 L_2^{-1} \\ -\frac{1}{3} L_1 L_2^{-1} & -1 - L_1 F(\Psi_A) + L_{b1} L_{b2}^{-1} \frac{1}{3} & -\frac{1}{3} L_1 L_2^{-1} \\ -\frac{1}{3} L_1 L_2^{-1} & -\frac{1}{3} L_1 L_2^{-1} & -1 - L_{B1} F(\Psi_A) + L_{b1} L_{b2}^{-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_{eA} \\ U_{eB} \\ U_{eC} \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned}\frac{di_{eA}}{dt} &= L_{b1}^{-1} \left(\frac{d\Psi_A}{dt} - U_{eA} \right) \\ \frac{di_{eB}}{dt} &= L_{b1}^{-1} \left(\frac{d\Psi_B}{dt} - U_{eB} \right) \\ \frac{di_{eC}}{dt} &= L_{b1}^{-1} \left(\frac{d\Psi_C}{dt} - U_{eC} \right)\end{aligned}$$

Mıknatıslanma akımının yaklaşık olarak ifadesi aşağıda verilecektir. Aynı zamanda $F(\psi)$ için aşağıdaki ifade kullanılacaktır [4].

$$F(\psi) = a + nb\psi^{n-1} + mc\psi^{m-1};$$

burada ψ - manyetik sel, i_1, i_2 - birinci ve ikinci taraf akımları, i_μ - manyetik akım, L_1, L_2, r_1, r_2 - sargıların endüktifliği ve dirençleri, a, b, c, n, m - manyetik akımın manyetik selinden bağımlılığını yaklaşık olarak belirleyen fonksiyonun eşdeğerleri. Bu denklemler generatörün yükün ve yüksüz çalışan transformatörün parametreleri ile birlikte generatör-transformatör, transformatör-yük düğüm noktalarını da matematik modellemeye imkan verir.

2. Düğüm noktası için:

Ototransformatör orta ve alçak gerilim tarafından açıldığı için bağlantı sistemi $* / \Delta_x - 11$ olan transformatör gibi modellenir[3]. Transformatördeki magnetik akıları ve yüksek gerilim tarafının akımlarını hesaplamak için denklem sistemi şu şekildedir.

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \psi_A \\ \psi_B \\ \psi_C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 + L_1\phi(\psi_A) - L_1L_2^{-1} \frac{1}{3} & -\frac{1}{3}L_1L_2^{-1} & -\frac{1}{3}L_1L_2^{-1} \\ -\frac{1}{3}L_1L_2^{-1} & 1 + L_1\phi(\psi_B) - L_1L_2^{-1} \frac{1}{3} & -\frac{1}{3}L_1L_2^{-1} \\ -\frac{1}{3}L_1L_2^{-1} & -\frac{1}{3}L_1L_2^{-1} & 1 + L_1\phi(\psi_C) - L_1L_2^{-1} \frac{1}{3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_{SA} \\ U_{SB} \\ U_{SC} \end{bmatrix}$$

$$\frac{di_{SA}}{dt} = L_1^{-1} \left(U_{SA} - \frac{d\psi_A}{dt} \right)$$

$$\frac{di_{SB}}{dt} = L_1^{-1} \left(U_{SB} - \frac{d\psi_B}{dt} \right)$$

$$\frac{di_{SC}}{dt} = L_1^{-1} \left(U_{SC} - \frac{d\psi_C}{dt} \right)$$

Mıknatıslanma akımlarını hesaplamak için aşağıdaki ifadelerden yararlanılacaktır [4];

$$i_{\mu A} = a\psi_A + b\psi_A^9 + c\psi_A^{11}$$

$$i_{\mu B} = a\psi_B + b\psi_B^9 + c\psi_B^{11}$$

$$i_{\mu C} = a\psi_C + b\psi_C^9 + c\psi_C^{11}$$

$$\frac{d_{i_{\mu A}}}{dt} = \varphi(\psi_A) \frac{d\psi_A}{dt};$$

$$\frac{d_{i_{\mu B}}}{dt} = \varphi(\psi_B) \frac{d\psi_B}{dt};$$

$$\frac{d_{i_{\mu C}}}{dt} = \varphi(\psi_C) \frac{d\psi_C}{dt};$$

burada,

$$\varphi(\psi_1) = a + 9b\varphi_A^8 + 11c\varphi_A^{10}$$

$$\varphi(\psi_2) = a + 9b\varphi_B^8 + 11c\varphi_B^{10}$$

$$\varphi(\psi_3) = a + 9b\varphi_C^8 + 11c\varphi_C^{10}$$

Burada a=0.15 b=0,18 c=0.67

$$\varphi_{baz} = \frac{\sqrt{2}U_n}{\sqrt{3} \cdot 314} I_{baz} = k_F \cdot I_0 \quad U_{baz} = U_n \quad 1$$

I_0 =Transformatörün akımının tepe değeridir.

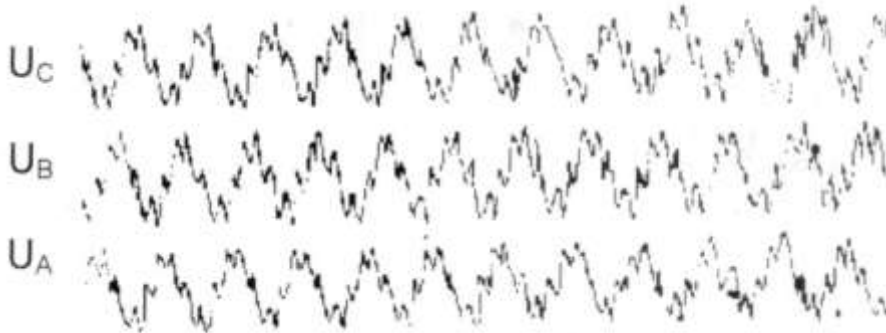
K_F =Kat sayıdır. Ototransformatörler için $k_F=1,6 \div 1,7$ arasındadır.

Elektrik iletim hattının denklemi ise şu şekilde olur [1,2]:

$$-\frac{\partial u}{\partial x} = L_0 \frac{\partial i}{\partial t} + f\left(\frac{\partial i}{\partial t}, i\right)$$

$$-\frac{\partial u}{\partial x} = C_0 \frac{\partial u}{\partial t} + \varphi\left(\frac{\partial u}{\partial t}, u\right)$$

Yapılan hesaplamalarda, 280km uzunluğundaki bir enerji iletim hattında anma geriliminin iki katı büyüklüğünde ferrezonans aşırı gerilimlerinin oluşmasının mümkün olduğu görülmüştür. Her üç faz için aşırı gerilim değerleri aynıdır. Şekil-2 den önce açıklanmış olan ferrezonansın gelişimi olayı, hesap ve denemelerden alınan sonuçların pratik olarak aynı olduğunu göstermektedir.



Şekil 2. Ferrerzonansda oluşan aşırı gerilim eğrileri

Hesap sonucunda güvenlik önlemi olarak reaktörün bağlanması için yeni bir teknik vermek mümkündür. İzlenen gerilimin içinde 5. Harmonik görüldüğü anda hattın her iki ucunda reaktörler devreye bağlanır. Bu tekniğin uygulanabilirliğini denemek için bir çok hesap yapılmıştır. Sonunda bu yolla ferreazonans aşırı geriliminden korunmanın mümkün olacağı görülmüştür.

Azerbaycan enerji sisteminde ferreazonans olayının oluşumu ile ilgili B fazında parafudrların devreden çıkması olayı olmuştur. Önce 5 transformatörünün 220 kV luk tarafında sonra ise 500kV luk tarafında devreden çıkmıştır.

Gelecekte hangi durumda ve neden B fazındaki boşaltıcıların devreden çıktığının sebeplerini araştırmak gerekecektir. Bunun için ayrı ayrı her bir fazın devreden çıkmalarına ilişkin istatistiksel bilgilerin toplanmasına gereksinim vardır.

SONUÇ

500 kV luk elektrik iletiminin güvenilirliğini artırmak için reaktörler ferreazonans oluşunca bağlanmalıdır. Bunun için dağıtım istasyonunda ferreazonansı ortaya çıkaran bir aygıt olmalıdır. Bu aygıt 5. harmonik oluşunca çalışmalıdır.

Enerji iletim hattının B fazında oluşan arızaların sebebinin araştırılması gerekmektedir. Sistemler arası enerji iletiminin güvenilirliğini artırmak amacı ile teknik problemler çözülüp önlemleri alınmalıdır.

KAYNAKLAR:

[1] HAŞİMOV A.M. Ahmet NAYIR." Elektrik İletim Hatlarında Dalga Proseslerinin Araştırılmasında Deri Olayı ve Koronanın Etkisinin Dikkate Alınması", Yıldız Teknik Üniversitesi Dergisi, 37-46, 1998/2

[2] Haşimov A.M. CUVARLI C.M., Ahmet NAYIR." Çok İletkenli Dalga Proseslerinin Analizi Zamanı Seth Etkisinin LEP'de Hesablanması" Elektrofizik ve Elektroenerji sahasında makaleler mecmuası , Bakü-Elm, 219-228, 1997

[3] HAŞİMOV A.M.. DİMİTRİYEV Y.V. RÜSTEMOV S.A. "Nötrü Non-Lineer Reaktörle Topraklanmış Transformatörün Modelleştirilmesi" Elektrofizik və Elektroenerji sahasında makaleler mecmuası, Bakü, Elm, 136-144, 1994

[4] ARTEMYEV D.Y., TİĞADENYEV N.N., SUR S.S. "Yüksek Gerilim Sınıfına Has E.N.H.nin Yalıtımının Seçilmesinde İstatistiksel Esaslar" , Moskova , Leninqrad, Enerji, 376 , 1965