



Hidroelektrik santrallerde generatör stator sargı arızaları ve çözüm yöntemleri

Gökhan KAHRAMAN

Munzur Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, 62000 TUNCELİ
gokhankahraman@munzur.edu.tr, ORCID:0000-0002-8365-2447, Tel:(0428)2131794(2491)

Yahya TAŞGIN

Munzur Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, 62000 TUNCELİ
yahyatashgin@munzur.edu.tr, ORCID : 0000-0002-0902-336X, Tel: (0428)2131794(2415)

Geliş: 06.08.2018, Kabul Tarihi: 11.01.2019

Öz

Hidroelektrik santraller ile elektrik üretimi, dünyada toplam elektrik üretimine küçümsenmeyecek bir oranda katkıda bulunmaktadır. Hidroelektrik santralleri ile enerji üretimi için uygun coğrafi koşulların sağlanması gerekmektedir. Günümüz koşullarında kullanılabilir hidroelektrik kapasitenin büyük bir bölümü hali hazırda kullanılmaktadır. Türkiye hidrolik enerji bakımından dünyadaki birçok ülkeye göre avantajlı durumdadır. Özellikle Güney ve Doğu Anadolu bölgelerimizde hidroelektrik santraller sayesinde üretilen elektrik enerjisi küçümsenemez. Kurulması planlanan veya inşaatı süren birçok hidroelektrik santralleri, Türkiye'nin geleceğine damga vuracaktır. Hidroelektrik santralleri, diğer enerji üretim yöntemlerine göre doğaya en az düzeyde zarar verdikleri için temiz enerji kaynakları arasında değerlendirmek gerekir.

Hidroelektrik santraller yenilenebilir bir enerji kaynağı olması ve enterkonnekte sistemin güvenliğinin sigortası olması açısından her zaman üretime hazır olmaları önemlidir. Hidroelektrik santrallerde arıza kaynaklı duruş sürelerini azaltmak için birçok ölçüm sistemleri, uzaktan izleme sistemleri geliştirilmiştir. Bu santrallerde en önemli ve giderilmesi uzun zaman alan arızalardan biride generatör stator sargı arızalarıdır. Bu çalışmada stator sargı arızalarının sebepleri, giderilme yöntemleri ve bu tip arızaları engellemek için yapılması gerekenler incelenmiştir. Bir hidroelektrik santralinde stator arızası örneği verilmiş arızanın oluşumu, tespiti, yapılan elektriksel testler, onarımı detaylı bir şekilde anlatılmıştır. Yapılan onarımın sonucunda sargı sıcaklıkları izlenmiş ve herhangi bir sorunun olmadığı görülmüştür. Hidroelektrik santrallerde işletme ve bakım şartlarında belirlenen önlemlerin alınması stator sargılarından kaynaklanan arızaları engelleyeceği gibi santralin elektrik arz güvenliğini en üst düzeyde tutacaktır. Ayrıca arızadan kaynaklanan işçilik ve malzeme maliyetlerini düşürecektir.

Anahtar Kelimeler; Hidroelektrik, Arıza, Stator Sargı.

* Yazışmaların yapılacağı yazar

DOI: 10.24012/dumf.451184

Giriş

Sera gazı kontrolüne yönelik çabalar, artan elektrik talebi, güneş ve rüzgâr gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının yeterli miktarda kurulu güce sahip olmaması hidroelektriğin önemini artırmaktadır. Hidroelektrik enerji, dünya enerji konseyinin 2016'daki raporuna göre dünya genelinde yenilenebilir enerjinin %71'ini oluşturmaktadır ve ayrıca dünya enerji üretiminde %16'sını oluşturmaktadır. Dünya üzerindeki hidrolik enerji potansiyelinin mümkün olduğunca verimli kullanılması, elektrik arz güvenliğini artıracığı gibi elektrik üretim maliyetlerini de düşürecektir.

Hidroelektrik santrallerin dünyadaki önemine paralel olarak, üretime hazır halde tutulması önem kazanmaktadır. Bu nedenle uzun süreler alan arızaları engellemek ya da en azından azaltmak gerekmektedir. Bu arızalardan biriside generatör stator sargı arızalarıdır. Hidroelektrik santrallerde gerçekleşen bu tip arızaların onarılması ve ünitenin tekrar devreye alınması generatörün kapasitesine göre 1 ile 3 ay sürebilmektedir. 2003 CIGRE (International Council on Large Electric Systems) araştırmalarına göre, hidroelektrik santrallerinde oluşan büyük arızaların 3'te 2'si stator sargı arızalarıdır. Stator arızaları enerji geçişinden kaynaklanan ısınma problemleri sebebi ile oluşmaktadır. Motor ve generatörlerin sargı sıcaklıkları, çözülmesi gereken bir problemdir. Bu konuda birçok çalışma yapılmıştır(Xu vd., 2016; Benamrouche vd., 2006; Kim vd., 2017; Silbernagel vd., 2018; Ranjan vd., 2014).

Hidro-generatörlerde stator sargı arızaları en çok gerçekleşen arızalardan birisidir. Stator sargılarında oluşan arızaları tespit etmek oldukça karmaşıktır ve emek isteyen çalışmalar gerektirmektedir. Stator arızaları hızla ilerleyip makinada büyük hasarlar oluşturur (Maitre vd., 2015). Bu tür arızaları engellemenin ilk yolu stator sargılarında ve yakın bölgede oluşacak ısı transferini hesaplayıp oluşacak duruma göre önlem almaktır(Howey vd., 2012). Dang ve arkadaşları bir hidro-generatörde rotor stator sisteminde CFD analizi yardımı ile ısı transferi olayını incelemişlerdir (Dang vd., 2018).

Boglietti ve arkadaşları, elektrik makinelerinde yapılan termal analizleri araştırmışlardır (Boglietti vd., 2009). Zhou ve arkadaşları 250 MW'lık su soğutmalı hydro-generatörde stator transpozisyon baralarındaki ısı transfer olayını sonlu elemanlar metodu ile incelemişlerdir (Zhou vd., 2018). Uçar, asenkron motorun stator sargı ızalasyon arızası tanısına ilişkin karakteristik özellikleri, motora ait akım ve titreşim bilgilerine çeşitli analiz teknikleri uygulayarak çözmeye çalışmıştır (Uçar, 2018). Koca, sanayide en yaygın olarak kullanılan asenkron motorlarda meydana gelen arızaları (stator arızaları, rulman arızaları, mekanik arızalar, v.s) incelemiştir (Koca, 2017). Wang ve arkadaşları "discriminant analysis model" kullanarak stator sargılarındaki kaçak akımın yönü ve şiddetine göre stator sargı arızası tespit etmişlerdir (Wang vd., 2016).

Materyal ve metod

Stator sargı arızalarını ve bu arızaları önlemek için alınan tedbirleri araştırmak için ilk önce gerçek bir stator sargı arızasını incelemek faydalı olacaktır.

Bir Hidroelektrik santralinde ünitelerden biri 150 MW güçte çalışırken, stator sargı arızasını gösteren koruma röleleri aracılığıyla devreden çıkmıştır. Yapılan elektriksel testler sonucunda B fazında bir kısa devre olduğu tespit edilmiştir. Ünitenin demontajından sonra Şekil 1'de görüldüğü gibi sargı birleşim yerlerinin eridiği görülmüştür. B fazı 343. sargıda aşırı ısınmadan dolayı sargı ızalasyon delinmesi meydana gelmiş daha sonra stator ek yeri patlayarak gövdeye temas ettikten sonra stator toprak rölesi çalışıp üniteyi servis harici yapmıştır. Ünite servis harici olduktan sonra iş güvenliği için alınması gereken önlemler alınıp arızanın tespiti için demontaj işlemlerine başlanmıştır.



Şekil 1. Stator sargı patlaması

Arızalı bölgedeki stator sargılarının izolasyonları sökülüp şekil 2’de görüldüğü gibi demontaj yapılmıştır.



Şekil 2. Stator sargı demontajı

Arızalı sargılar söküldükten sonra temizlenip, lehimlenecek kısımlar kalay potasında kalaylanmıştır(Şekil 3). Sargı başları izole edilip montaja hazır hale getirilmiştir(Şekil 4).



Şekil 3. Kalay potası



Şekil 4. Stator sargısı montaja hazır hali

Sargı alt ve üst başları kalaylı bakır klipslerle birleştirilip lehimlenmiştir (Şekil 5, Şekil 6).



Şekil 5. Stator sargı lehimleme işlemi



Şekil 6. Stator sargılarının montajı

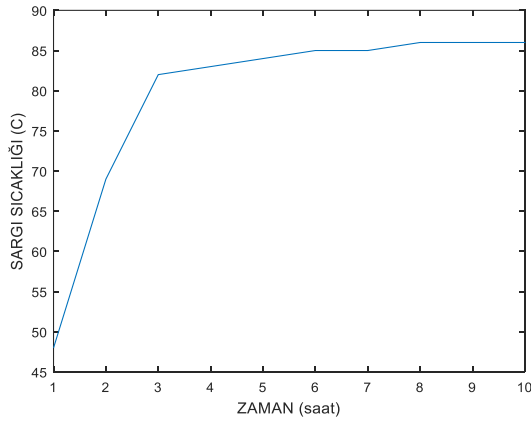
Sonuçlar ve tartışma

Sargıların montaj işlemi tamamlandıktan sonra elektriksel testleri yapılmıştır. Test sonuçları Tablo 1’de görülmektedir.

Tablo 1. Elektriksel test sonuçları

Test Edilen Sargı	Süre	Gerilim	Arıza Sonrası Ölçüm
C+T	60 sn	5000V	710 mΩ
B+T	60 sn	5000V	638 mΩ
A+T	60 sn	5000V	757 mΩ

Elektriksel ölçümlerden sonra ünite hazırlanıp üretime hazır hale getirilerek devreye alınmıştır. Ünite 150 MW güçte çalışırken stator sargı sıcaklıkları 10 saat süreyle takip edilmiştir. Şekil 7’de görüldüğü gibi belli bir noktadan pt 100 isimli sıcaklık sensörleri yardımı ile alınan stator sargı sıcaklıkları 85⁰C’yi geçmemektedir. Bu sıcaklık işletme açısından sorun oluşturmayacak bir değerdir.



Şekil 7. Stator sargı sıcaklığının zamana göre grafiği

Şekil 7’de ki grafikte görüldüğü gibi sıcaklık ölçümünün ilk üç saatinde sargı sıcaklığı hızlı bir yükseliş kaydetmiş daha sonraki sürelerde sıcaklık eğrisinin eğimi giderek azalarak 85⁰C’de sabitlenmiştir.

Arızanın giderilmesi 65 gün sürmüştür. Bu süre zarfında işçilik ve malzeme giderlerinin yanı sıra ünite enterkonnekte sisteme hiçbir fayda sağlayamamıştır. Bu tür uzun süren arızaların önlenmesi için hassas tedbirler alınması gerekmektedir. Bu tedbirleri aşağıdaki şekilde sıralayabiliriz.

- Ünite üretim yaparken stator sargılarının sıcaklığı periyodik olarak kontrol altında tutulmalıdır.
- Stator sargı sıcaklıklarının alarm ve devreden çıkarma sinyalleri periyodik olarak test edilmelidir.
- Ünitenin kapasitesinden fazla enerji üretimi yapmamasına dikkat edilmelidir.
- Ünite taşıyıcı yatak yağ haznelerinde ısınan yağdan oluşan yağ buharı sızdırmazlık elemanlarının tam sızdırmazlık sağlayamaması sonucu stator sargılarına ulaşır. Burada sargılara yapışarak sargı izolasyon malzemesine zarar verecek bir yapı oluşturur. Bu durumu engellemek için ünite taşıyıcı yataklarına yağ buharı emiş cihazı kurmak gereklidir.
- Revizyonlarda sargılar kontrol edilmeli ve gerekli temizlikler yapılmalıdır.
- Stator sargı izalasyon sınıfına dikkat etmek gerekir. Örneğin F sınıfı için sargı sıcaklık artış sınırı 100°C, H sınıfı için sargı sıcaklık artış sınırı 125°C ‘dir. Standart’a göre 40°C ortam sıcaklığı alındığında F sınıfı sargı sıcaklığı en fazla 140°C, H sınıfı sargı sıcaklığı en fazla 165°C olmalıdır. Eski hidroelektrik santrallerde stator sargıları bu standartlara uymuyorsa stator sargılarını yenilemek arızaları kayda değer bir biçimde engelleyecektir.
- Ünitenin enerji üretmediği durumlarda stator sargılarının nemlenmemesi için bulunan ısıtıcıların devrede olması önemlidir. Bu ısıtıcıların bakımlarının periyodik olarak yapılması uygun olacaktır.
- Özellikle kış aylarında ünitenin herhangi bir nedenle uzun süreler çalışmadığı durumlarda, tekrar devreye alırken stator sargılarına nem testi yapılmalıdır. Eğer sargılarda nemlenme varsa üniteyi boşa döndermek suretiyle sargı sıcaklıklarını 50-60⁰C sıcaklıklara yükseltip sargıların neminin giderilmesi suretiyle yüzeysel kurutma işlemi yapılmalıdır. Aksi takdirde kurutma yapmadan ünite enerji üretmeye başlarsa stator sargı arızası gerçekleşmesi kaçınılmazdır.

Genel sonuçlar

Hidroelektrik santrallerin devreye giriş çıkış sürelerinin termik santrallere göre çok az olması ve kurulu güç kapasitelerinin diğer yenilenebilir enerji santrallerinden fazla olması nedeniyle elektrik arz güvenliği açısından en önemli enerji kaynaklarıdır.

Hidroelektrik santrallerin üretime hazır bulunma sürelerinin artırılması gerekmektedir. Buda üniteyi uzun süre devre dışı bırakan arızalardan kaçınmakla gerçekleşir. Bu çalışmada hidroelektrik santrallere ait bir kaç büyük arızadan birisi olan stator sargı arızalarının nedenleri ve çözüm yolları incelenmiştir. Bir hidroelektrik santralinde gerçek bir stator sargı arızasının nasıl gerçekleştiği, onarımının nasıl yapıldığı ve arıza sonrası stator sargı sıcaklıklarının zamana göre nasıl değiştiği detaylarıyla tespit edilmiştir. Stator sargı arızalarını engellemek için alınması gereken önlemler maddeler halinde sıralanmıştır.

1-Hidroelektrik santrallerde işletme ve bakım şartlarında önlemlerin alınması stator sargılarından kaynaklanan arızaları engelleyecektir.

2-Santralin elektrik arz güvenliğini en üst düzeyde tutacaktır.

3-Arızadan kaynaklanan işçilik ve malzeme maliyetlerini düşürecektir.

Kaynaklar

Benamrouche, N., Bouheraoua, M., Haddad, S., (2006). A Thermal Model for a TEFC Induction Motor-Development and Sensitivity Analysis, Electric Power Components and Systems, 34 259-269.

Boglietti, A., Cavagnino, A., Staton, D., Shanel, M., Mueller, M., Mejuto, C., (2009). Evolution and modern approach thermal analysis of electrical machines, IEEE Trans. Ind. Electron., 56, 871-882.

Dang, D., Pham, X.T., Labbe, P., Torriano, F., Morissette, J.F., Hudon, C., (2018). CFD analysis of turbulent convective heat transfer in a hydro-generator rotor-stator system, Applied Thermal Engineering, 130, 17-28.

Howey, D.A., Childs, P.R.N., Holmes, A.S., (2012). Air-gap convection in rotating electrical machines IEEE Trans. Ind. Electron., 59, 1367-1375.

Kim, C., Lee, K.S., (2017). Numerical investigation of the air-gap flow and the cooling phenomena in large-capacity induction motors, International Journal of Heat and Mass Transfer, 110 746-752.

Koca, Y.B., Ünsal, A., (2017). Asenkron Motorların Elektriksel ve Mekaniksel Arızalarının Değerlendirilmesi, SDÜ Teknik Bilimler Dergisi, Cilt 7 ,Sayı 2, 37-46

Maitre, J., Gaboury, S., Bouchard, B., (2015). A New computational method for stator faults recognition in induction machines based on hyper-volumes, -ieeexplore.ieee.org

Ranjan, R., Tangudu, J., (2014). Thermal design of high power-density additively-manufactured induction motors, 2014 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition , pp. 1325-1331.

Silbernagel, C., Ashcroft, L., Dickens, P., Galea, M., (2018). Electrical resistivity of additively manufactured AlSi10Mg for use in electric motors, Additive Manufacturing, 21 395-403.

Uçar, H.M., (2008). Asenkron Motorlarda İşaret Tabanlı Stator Yalıtım Arıza Tanısı, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.

Zhou C., Bian, X., Liang, Y., Zong, R., (2018). Numerical calculation and analysis of temperature field for stator transposition bar in hydro-generator, International Journal of Thermal Science, 125, 350-357.

Wang, Y., Zhou, J., Wei, Dong, Z., Chen, H., (2016) Stator winding single-phase grounding faults protective scheme based on discriminant analysis for Powerformers with selectivity, 77 145-150.

Xu, L., Chen X., Jing H., Wang L., Wei, J. Han, Y., (2016). Design and performance of Ag nano particle-modified graphene/Sn Ag Cu lead-free solders, Mater. Sci. Eng. A 667 87-96.

Generator stator winding faults and solution methods in hydroelectric power plants

Extended abstract

Hydroelectric power plants take the most important place among the renewable energy sources in Turkey. The hydroelectric power plants in Turkey has approximately 27,000 MW of installed power and meet approximately 34% of the electric power demand in Turkey. Hydroelectric power plants can be operated with far less personnel than the thermal power plants and also the maintenance and operation costs are too low in such a way not to be compared with the thermal power plants. When these data are taken into consideration, the importance of hydroelectric power plants is unquestionable for the world and Turkey. In this case, it is important to operate the hydroelectric power plants efficiently and to reduce the run-down times caused by the faults.

There are some major faults in hydroelectric power plants. If we want to give some examples for these faults; the faults such as the turbine wheel failures caused by cavitation, faults caused by vibration, faults occurring in hydrodynamic and hydrostatic oiled bearings and stator winding explosions occurring in the generator or winding isolation punctures are the faults prolonging the run-down times up to 6 months.

The purpose of this study is to examine the stator winding faults that is one of the important faults in hydroelectric power plants and to determine how the stator winding faults are specified, how the fault is repaired, how the electrical tests are done and by which ways the stator winding faults can be prevented in a real stator winding fault, and thus try to find solutions for this fault occurring frequently in hydroelectric power plants.

It is important that hydroelectric power plants can always produce electricity since they are a renewable energy source and insurance of the security of the interconnected system.

The repair of the stator winding faults takes 2 and 6 months according to the size of the fault. In this period, the failed turbine-generator unit could not generate energy. The cost of a turbine-generator unit having 150 MW power that cannot generate electricity for 4 months is 43.200.000 TL for Turkey if we consider that kWh of electricity is 10 cents. This cost even indicates how important it is to prevent stator winding faults in hydroelectric power plants.

In this study, the study conducted on the faults in the stator windings in the generator unit of the hydroelectric power plants was explained in the following items.

1.A real stator winding fault was given as an example to better explain how the stator winding faults occurred.

2.By the help of the example, it was explained how the stator winding fault was detected.

3.After the fault was detected, disassembly was explained by figures.

4.After the disassembly process, soldering method of the disassembled winding was explained.

5.After the soldering process was completed, assembly and repaired form of the fault were explained by figures.

6.After the turbine-generator unit started to generate electricity, the change in the stator winding temperature with time was measured and shown graphically. As a result of ten-hour measurement, it was seen that winding temperature did not exceed 85 °C. According to the standards, this temperature level was found to be normal.

7.The requirements to prevent stator winding faults were given in the items depending on the literature and experiences.

Keywords: *Hydroelectric, Fault, Stator Winding.*