

Süperiletken Arıza Akımı Sınırlayıcıların İletim Sistemlerinde Kullanımı

Availability of Superconductor Fault Current Limiters in Electrical Transmission Systems

Buğra YILMAZ, Muhsin Tunay GENÇOĞLU

Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, ELAZIĞ
bugrayilmazeem@gmail.com, mtgencoglu@firat.edu.tr

Özet

Güç sistemlerinde zaman zaman çeşitli sebeplerle arızalar meydana gelmektedir. Bu arızaların sebep olduğu yüksek akım seviyeleri, sistem elemanları için tehlikeli durumlar oluşturmaktadır. Bu akımların zorlayıcı termal ve dinamik etkilerinden sistem elemanlarının korunması için arıza akımlarının sınırlandırılması gerekmektedir. Literatürde birçok arıza akımı sınırlandırma yöntemi mevcuttur. Bu yöntemlerin ortak amacı, sistemin güvenliğini ve güvenilirliğini sağlamaktır. Sürekli gelişim içinde olan güç sistemlerinde arıza akımı sınırlayıcıların önemi giderek artmaktadır. Arıza akımı sınırlayıcıları sayesinde mevcut sistemde herhangi bir değişiklik yapılmaksızın işletme sürekliliği sağlanabilir. Bu çalışmada, MATLAB-Simulink'de IEEE 14 baralı sistem kullanılarak yapılan simülasyonlar ile Süperiletken Arıza Akımı Sınırlayıcıların (SFCL-Superconductor Fault Current Limiters) elektrik enerjisi iletim sistemlerine uygulanabilirliği incelenmiş ve SFCL'nin sistem üzerindeki etkileri dalga şekilleriyle gösterilmiştir. Ayrıca, aynı şartlarda ve aynı arıza durumlarında SFCL yerine akım sınırlayıcı reaktörler kullanılarak simülasyonlar tekrarlanmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Abstract

The faults in power systems occur from various reasons, sometimes. High current levels caused by such faults, generally comprise a hazardous situation for elements of the system. Limiting of fault currents mean to protect the system components from challenging thermal and dynamic effects of these currents. In the literature there are several fault current limiting methods. The common goal of these methods is to ensure system safety and reliability. Importance of fault current limiters is increasing gradually in power systems that is continuously improving. By using fault current limiters can be provided operation continuity without any change in the existing system. Their availability in electric power transmission systems have been investigated by simulations in MATLAB-Simulink using IEEE 14 buses system and impacts of SFCL on the system were shown with waveforms. Moreover, instead of SFCL in the same conditions and the same fault situations was repeated simulations using current limiting reactors and the results were compared.

1. Giriş

Güç sistemlerinde meydana gelen arızaların sebepleri; sistemde yapılan yanlış manevralar, atmosferik olaylar, canlıların teması veya diğer dış etkenlerdir. Güç sistemlerinde meydana gelen arızalarda, arıza akımı nominal akımın 5 ile 20 katına kadar çıkabilir [1]. Arıza akımının bu değerleri sisteme ve sistemdeki elemanlara geri dönüşü olmayan zararlar verecektir. Bu yüzden güç sistemi kesicileri arıza akımını mümkün olan en kısa sürede kesmek zorundadır. Bu zorunluluk kesicinin daha büyük arıza akımıyla karşı karşıya kalmasına, dolayısıyla teknik ve ekonomik problemlere sebep olmaktadır.

Artan enerji talebiyle birlikte güç sistemine yeni üretim tesislerinin eklenmesi ve yeni iletim sistemlerinin kurulması ile arıza akımı seviyeleri daha da artmaktadır [2]. Bu durumda arıza akımının kesilmesi ve izolasyonun sağlanması amacıyla yeni güç sisteminin güvenliğinin sağlanması için yeni ve daha büyük elemanların kullanılması gerekecektir. Bu nedenle arıza akımı sınırlandırma yöntemleri büyük önem kazanmaktadır.

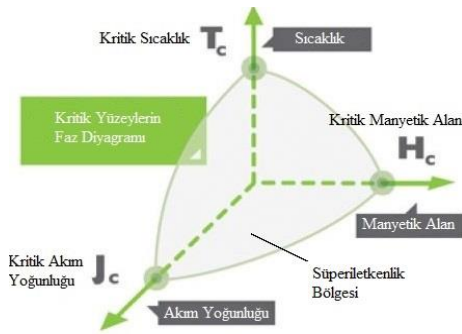
Arıza akımı sınırlayıcıları (FCL-Fault Current Limiters) güç sistemlerinde meydana gelen büyük arıza akımlarını sınırlandırarak ve kontrol edilebilir bir seviyede tutarak sisteme verebileceği zararlı etkileri önleyen elemanlardır. Yeni nesil arıza akımı sınırlayıcıları, arıza durumu oluşuncaya kadar güç sisteminde ihmal edilebilir bir empedans gösterirler. Ancak herhangi bir arıza anında yüksek empedans göstererek arıza akımını sınırlarlar. Bu sayede normal çalışma sırasında sistemde herhangi bir güç kaybı ve gerilim düşümü meydana getirmezler.

Güç sistemi elemanları, arıza akımı sınırlayıcıları sayesinde büyük arıza akımlarının meydana getireceği termal ve elektrodinamik etkilerden korunurlar. FCL, akımı sınırlayarak sistem elemanları üzerindeki geçici yüksek gerilimleri de önlediği için izolasyon yapıları da korunmuş olur. Ayrıca, arıza akımının seviyesi düşürülerek adım ve dokunma gerilimleri azaltılır. Böylece insanların ve diğer canlıların güvenliği sağlanmış olur. Kısaca FCL, sistemin işletme sürekliliğini sağlamalı ve aynı anda işletme sırasında kayıp, gerilim düşümü vb. olumsuz etkilerde bulunmamalıdır.

2. SFCL

Hollandalı fizikçi Heike Kamerlingh Onnes, 1908 yılında Helyum'u sıvı hale dönüştürmeyi başarmıştır. Metallerin elektriksel dirençlerinin 4,2 °K'e kadar olan sıcaklık bölgelerindeki değişimi yine ilk defa Onnes tarafından incelenmiştir. Ayrıca Onnes, civa metalinde DC elektriksel direncin kritik sıcaklık olarak adlandırdığı sıcaklık ve altındaki sıcaklıklarda ölçülemeyecek kadar küçük bir değere düştüğünü gözlemlemiştir. Bu değer daha sonra yapılan ölçümlerle sıfır olduğu anlaşılmıştır. Yapılan bu gözlem süperiletkenliğin keşfi olarak bilinmektedir [3].

SFCL güç sistemindeki arıza seviyelerini kontrol etmek için kullanılan yöntemlerden biridir. SFCL, reaktörlerin veya yüksek empedanslı transformatörlerin aksine, normal çalışma sırasında devreye empedans eklemeyen arıza akımını sınırlar. SFCL'nin çalışma prensibi, süperiletken malzemenin süperiletkenlik durumu ve süperiletken olmayan durumu arasında geçiş yapabilme (faz değiştirme) yeteneğine dayanır. Süperiletkenler belirli bir kritik akım değeri aşıldığı zaman, dirençlerini sıfırdan yüksek bir değere otomatik olarak değiştiren malzemelerdir. Eskiden SFCL'nin işletimi, çok düşük sıcaklıklarda (-269 °C) çalışabilen süperiletken malzemelere dayandığından, süperiletken arıza akımı sınırlayıcılarının elektrik tesislerindeki geniş çaplı kullanımları çok pahalıydı. Yüksek sıcaklıklı süperiletkenlerin (HTS-High Temperature Superconductors) keşfi ile soğutma problemi büyük ölçüde azaltılmıştır. Bu yeni HTS malzemeler çok daha yüksek sıcaklıklarda (-196 °C) çalıştırılabilir ve sıvı nitrojen kullanılarak basitçe soğutulabilir [4]. Bu malzemeler, sıcaklıkları kritik sıcaklığın altında olduğu sürece, pratik olarak kayıpsız şekilde akımı taşırlar. Bu kritik sıcaklık, kullanılan süperiletkenin türüne bağlıdır. Bununla birlikte bu fiziksel olgu, akım yoğunluğu ve manyetik alan şartlarından da etkilenir. Sıcaklık, akım ve manyetik alan kendi kritik değerlerinden düşük olduğu sürece süperiletkenlik durumu elde edilir [5]. Bu kritik değerler aşıldığı takdirde süperiletken malzeme artık süperiletkenlik özelliği göstermeyecek ve direnci arttığı için arıza akımını sınırlayacaktır. Şekil 1'de süperiletkenlik olgusunun kritik yüzeylerinin faz diyagramı gösterilmiştir.



Şekil 1. Süperiletkenlik kritik yüzeylerinin faz diyagramı [5]

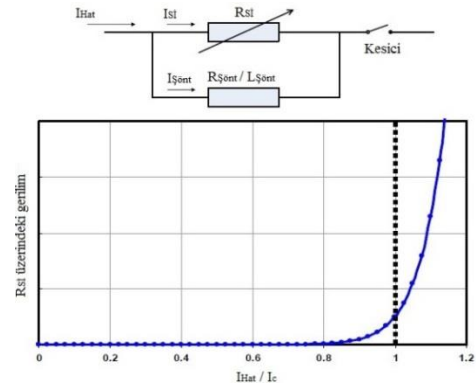
SFCL, kritik sıcaklığı altında soğutulmuş mevcut süperiletken malzemenin yük akımının akmasına direnç göstermemesi nedeniyle, normal çalışmada sistemde bir kayıp meydana getirmez. Arıza meydana geldiği zaman akım artar ve süperiletken malzemenin faz değişimine neden olan eşik değerin üstüne çıkar. Bu durumda arıza akımının ilk yarım periyodu içerisinde sisteme direnç gösterilmeye başlanır ve

arıza akımı ilk tepe değerine ulaşmadan azaltılmış olur. Yani SFCL, arıza akımının ilk periyodu içerisinde arıza akımı seviyesini azaltma yeteneğine sahiptir. Arıza akımının ilk periyotta bastırılması, kararlı bir şekilde yüksek güç taşıyan güç sisteminin geçici durum kararlılığının artması ile sonuçlanır [6]. Bu işlem sırasında süperiletken malzeme ısınır. Kısa bir toparlanma aşamasından sonra süperiletken malzeme soğutularak süperiletkenlik durumu tekrar sağlanır ve SFCL normal çalışmasına dönmüş olur.

2.1. SFCL Tipleri

2.1.1. Rezistif SFCL

SFCL'nin bu tipi, diğer tiplere göre daha basit yapı, daha küçük boyut ve daha düşük yatırım maliyeti gibi avantajlara sahiptir. Normal çalışma sırasında, süperiletken malzeme süperiletkenlik durumunda iken normal yük akımı teorik olarak kayıpsız olarak iletilmektedir. Arıza durumunda, akım hızla yükselir ve süperiletken malzeme süperiletkenlik bölgesinden çıkar. Böylece nonlineer direncin belli bir değeri kendiliğinden meydana gelir ve bunun sonucunda arıza akımı sınırlanmış olur [7]. Dirençteki hızlı artış, süperiletken üzerinde bir gerilim oluşturur ve arıza akımının, süperiletkenin paralelindeki indüktör ve direnç bileşimine transferine sebep olur. Bu durum süresince, şönt kol süperiletken üzerindeki gerilim artışını sınırlar. Aslında süperiletken, yük akımını şönt empedansa iletmeyi sağlayan milisaniyelik tepkiler ile bir anahtar gibi davranmaktadır. İdeal olarak, yeni başlayan arıza akımı bir periyottan daha kısa sürede sınırlanır. Şekil 2'de rezistif SFCL devresi ve cihaz akımı I_{Hat} 'ın süperiletken malzemenin kritik akımı I_c 'ye oranının bir fonksiyonu olarak süperiletken direnci R_{si} üzerindeki gerilim gösterilmiştir. Burada süperiletken üzerindeki akım ve direnç arasındaki nonlineer ilişki görülmektedir. Bu eğri için veriler, süperiletken sabit manyetik alan ve sabit sıcaklıktayken ölçülmüştür. Günümüzde HTS malzemeler için iletken boyunca gözlemlenen 1.0 $\mu V/cm$ gerilim düşümüne neden olan akım, kritik akım olarak tanımlanır [1].



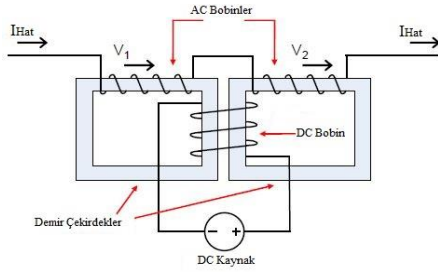
Şekil 2. Rezistif SFCL devresi ve I_{Hat}/I_c 'nin fonksiyonu olan R_{si} üzerindeki gerilim [1]

2.1.2. İndüktif SFCL

Korumalı Çekirdekli İndüktif SFCL

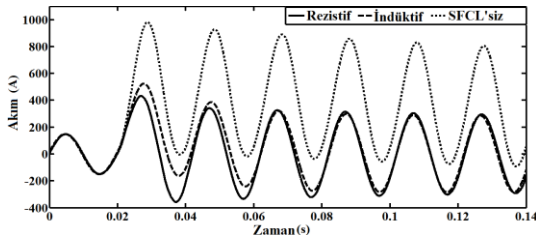
İndüktif SFCL, sekonder sargıları kısa devre edilmiş transformatör gibi tasarlanır. Sekonder sargı genellikle HTS

Şekil 8'de doyurulabilir çekirdekli indüktif SFCL devresi gösterilmiştir.



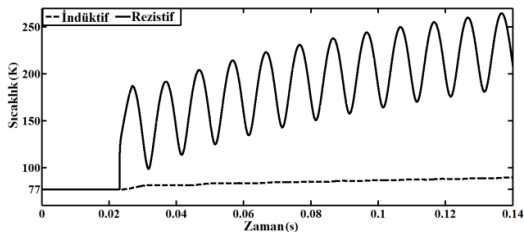
Şekil 8. Doyurulabilir çekirdekli indüktif SFCL devresi [1]

Şekil 9, rezistif ve indüktif SFCL'li ve SFCL'siz bir kısa devre durumunda akımın dalga şeklini göstermektedir. SFCL'siz durumda arıza akımı, nominal akımın yaklaşık yedi katıdır. Bu değer sistem elemanlarına zarar verebilecek düzeydedir. Rezistif SFCL kullanılarak arıza akımı, ilk periyot içinde nominal akımın üç katından daha küçük bir değere sınırlanır ve arıza temizlenmeden önce nominal akımın iki katına kadar azalmaya devam eder. İndüktif SFCL kullanılarak arıza akımının ilk tepe değeri nominal akımın dört katından daha küçük bir değere sınırlanır ve arıza temizlenmeden önce nominal akımın iki katına kadar azalmaya devam eder. Bu durum akımın ilk tepe değerini sınırlamada, rezistif SFCL'nin indüktif SFCL'den daha iyi olduğunu göstermektedir [12].

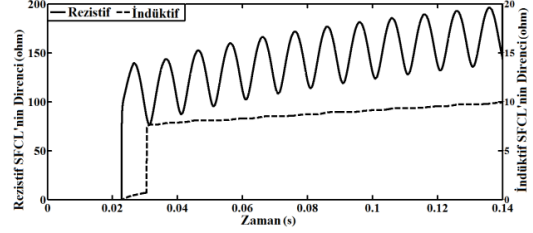


Şekil 9. Kısa devre akımının dalga şekilleri [12]

Şekil 10, iki SFCL tipinin sıcaklığını göstermektedir. Rezistif SFCL'de sıcaklık ilk periyotta kritik sıcaklığı ($T_c = 90^{\circ}\text{K}$) aşar ve daha yüksek değerlere çıkmaya devam eder. Ancak indüktif SFCL'de sıcaklık tüm arıza süresince kritik sıcaklığın altında kalır. Şekil 11'den indüktif SFCL'nin rezistif SFCL'ye göre daha küçük direnç değerine sahip olduğu görülmektedir. Süperiletkenlerin düşük sıcaklık değerlerine sahip olması malzemenin ömrünü artırır ve sınırlayıcıyı üst üste meydana gelen arızalar için elverişli hale getirir. Bu durum indüktif SFCL'yi, ardışık arızalar ve uzun ömür açısından rezistif SFCL'ye göre daha tercih edilir hale getirmektedir [14].



Şekil 10. Sıcaklık dalga şekilleri [12]



Şekil 11. Direnç dalga şekilleri [12]

2.2. SFCL'nin Diğer Sınırlandırma Yöntemleri ile Karşılaştırılması

Arıza akımı sınırlandırma yöntemleri arasında, CLR en çok bilinen yöntemdir. Bu yöntem sistemdeki seri empedansı artırdığı için arıza akımının genliğini sınırlar. Ancak CLR, sürekli sistemde olduğu için gerilim düşümlerine ve güç kayıplarına sebep olur. Ayrıca geçici toparlanma geriliminin yükselme hızını artırdığı için sistem elemanlarında yalıtım problemleri meydana gelebilir. Bu olumsuz özelliklerine rağmen SFCL'ye göre daha küçük, daha ekonomik ve daha pratik olduklarından yaygın olarak kullanılırlar.

Solid-state arıza akımı sınırlayıcılar (SSFCL-Solid-State Fault Current Limiters) hızlı anahtarlama yapabilen güç elektroniği elemanlarını kullanarak arıza akımını sınırlar. Normal durumda, sistemde herhangi bir gerilim düşümü ve kayıp göstermezler. SFCL'nin gerektirdiği soğutma sistemine ve toparlanma süresine ihtiyaç duymazlar. SFCL gibi büyük hacimli olabilirler. Arıza durumunda ise birkaç milisaniyede yüksek empedans göstererek arıza akımının genliğini düşürürler. Ancak SSFCL kullanımı, yüksek maliyet ve yardımcı kontrol sistemlerinin karmaşıklığı sebebiyle henüz yaygınlaşamamıştır. SFCL normal çalışma sırasında, süperiletkenlik sebebiyle teoride yaklaşık olarak sıfır direnç gösterir. Arıza durumunda kritik akım değeri aşıldığı anda malzeme rezistif duruma geçer ve arıza akımını ilk yarım periyodu içerisinde sınırlanır. SSFCL gibi güç elektroniği anahtarları içermez ve kontrol sistemi karmaşık değildir. Ayrıca SFCL, SSFCL ile karşılaştırıldığında harici uyarma sistemi ve arıza tespit ünitesi gerektirmediğinden daha yaygın olarak kullanılır. Süperiletkenlik durumu için önemli olan soğutma sistemi; dondurucu tanklar, pompalar, iletim boruları gibi yapılar içerir ve maliyetlidir. Soğutma sisteminin ihtiyacından dolayı normal çalışma sırasında belirli bir enerji kaybı olmaktadır. Ancak bu kayıp, CLR ve yüksek empedanslı transformatördeki kayıplara göre düşüktür. Soğutma sistemindeki herhangi bir aksaklık, rezistif durumda kalmaya, dolayısıyla gerilim düşümüne ve kayıplara sebep olacaktır. Bu nedenle çok hızlı bir toparlanma süresi gerekmektedir. Süperiletken malzemenin üretimi zor ve maliyetlidir. Ayrıca kolay kırılabilirler. SFCL, yüksek yatırım maliyeti sebebiyle yaygınlaşmasa da uygulamaları mevcuttur. Akım sınırlayıcı sigortalarda (CLF-Current Limiting Fuses), arıza akımının büyüklüğüyle orantılı olarak açığa çıkan ısı enerjisinin sigorta telini eritmesiyle, arıza akımı olası tepe değerine ulaşmadan önce daha küçük bir değere sınırlanır. Bir kez açma yaptığında yenisiyle değiştirilmesi gerektiğinden sık tekrar kapama gereken durumlarda kullanılamaz. Normal çalışma sırasında meydana getirdiği kayıplar SFCL'ye göre ihmal edilebilir. SFCL'ye göre daha küçük, daha basit ve daha ucuz olduğundan uygulamada yaygın olarak kullanılırlar. I_s sınırlayıcılar, sigortalara göre daha gelişmiş elemanlardır. Normal şartlarda gerilim düşümü olmadan yük akımını iletirken, arıza durumunda ana iletkenin kontakları akımın ilk

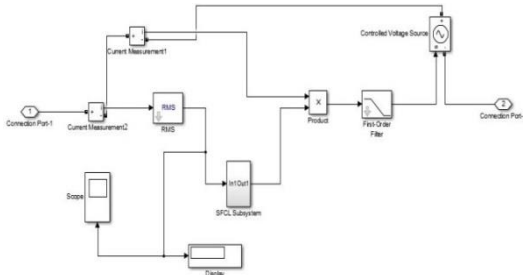
yükseliş sırasında (1 milisaniyeden daha az sürede) açılır ve arıza akımı sigortadan akmaya başlar. Bu yöntemde sigortadan farklı olarak ölçme ve açma cihazları, akım transformatörü ve darbe transformatörü bulunur. I_s sınırlayıcılar arıza akımı sınırlamada kullanılan pratik bir yöntemdir, fakat kullanımları OG ile sınırlıdır. SFCL'ye göre daha küçük, daha basit ve daha ucuz olmalarına rağmen YG'de kullanılmamaları dezavantajdır.

Yüksek empedanslı transformatörler arıza akımı sınırlamada etkili bir yöntemdir. Geçici durum kararlılığını ve gerilim kararlılığını olumsuz etkileyebilirler. Aynı zamanda sistemde yüksek kayıplara sebep olurlar. Bu kayıplar SFCL'nin soğutma sisteminin gereksiniminden kaynaklı kayıplara göre oldukça yüksektir. SFCL gibi büyük hacimli olabilirler. Soğutma için LN_2 'ye ihtiyaç duymazlar. Yatırım maliyetleri de SFCL gibi yüksektir.

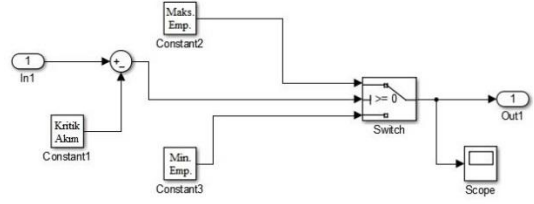
Nötr reaktör kullanımı arıza akımı sınırlandırmada sık kullanılan bir yöntemdir. Transformatör veya generatörlerin nötr noktaları bu reaktörler üzerinden topraklandığı için toprak arızası akımlarının genlikleri önemli ölçüde azaltılır. YG'de kullanılan reaktörler pahalı olduğundan kullanımlarına genellikle OG'de rastlanır. Nötr noktası izoleli sistemlerde, nötr noktası sonsuz empedans ile topraklanmış gibi olduğundan arıza akımları sınırlanır. SFCL'ye göre daha küçük, daha ekonomik ve daha pratik olduklarından yaygın olarak kullanılırlar.

3. SFCL'nin Modellenmesi

Rezistif SFCL'nin uygulanacağı güç sistemi olarak IEEE 14 baralı sistem seçilmiş ve MATLAB-Simulink SimPowerSystem ile modellenmiştir. Terminal gerilimleri 14.4 kV olan farklı güçlerdeki generatörlerin çıkışlarına, 14.4/154 kV yükseltici transformatörler yerleştirilmiştir. 154 kV'luk iletim sistemlerinin sonuna da farklı güçlerde yükler ve bu yükler için 154/14.4 kV düşürücü transformatörler yerleştirilmiştir. Modellenen sistemde, arızalarda akım sınırlayıcı olarak rezistif SFCL ve CLR kullanılmıştır. Oluşturulan rezistif SFCL modelinde sistem akımının efektif değeri her an süperiletken malzemenin kritik akım değeriyle karşılaştırılır. Normal durumda kritik akım aşılmadığından SFCL tarafından minimum empedans gösterilir. Arıza durumunda sistemden akan akım, kritik akımı aştığı anda süperiletken malzemede faz değişimi olur ve bunun sonucunda direnci yükselir. Modelde bu direnç değeri maksimum empedans olarak belirtilmiştir. Arıza sona erdiğinde SFCL'deki süperiletken malzeme LN_2 kullanılan soğutma sistemi ile hızlı bir şekilde soğutulup tekrar süperiletkenlik bölgesine geçer ve minimum empedans gösterir. Şekil 12'de tek faz rezistif SFCL Simulink modeli, Şekil 13'de ise rezistif SFCL Simulink alt sistemi gösterilmiştir.



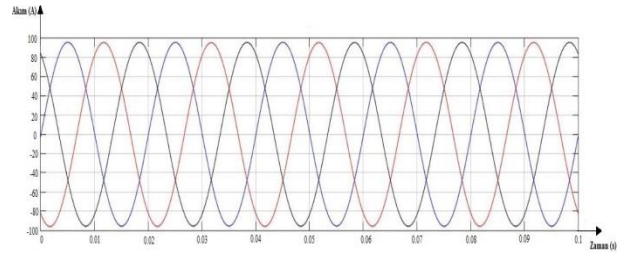
Şekil 12. Rezistif SFCL Simulink modeli



Şekil 13. Rezistif SFCL Simulink alt sistemi

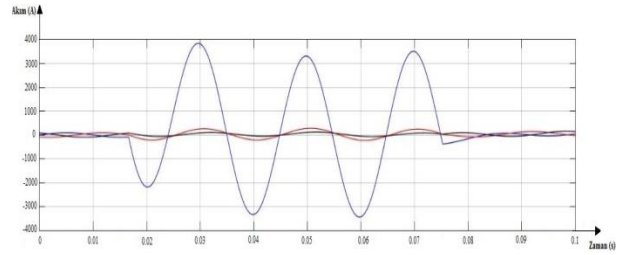
4. İletim Hattında Arıza Durumu

Şekil 14'de, iletim hattında herhangi bir arıza yokken, hattın akımı gösterilmiştir.



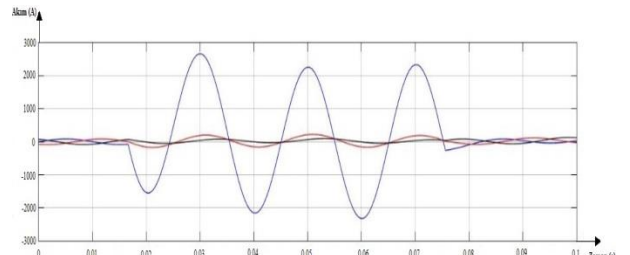
Şekil 14. İletim hattının arızasız durumdaki akımı

Şekil 15'de sistemde herhangi bir FCL yokken, iletim hattında tek faz-toprak arızası meydana geldiğinde, hattın akımı gösterilmiştir.



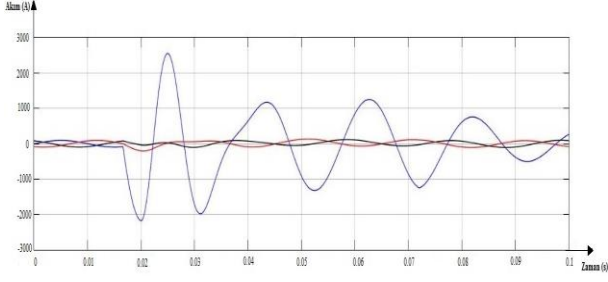
Şekil 15. İletim hattında FCL yokken tek faz-toprak arızası

Şekil 16'da sistemde CLR varken, iletim hattında tek faz-toprak arızası meydana geldiğinde, hattın akımı gösterilmiştir.



Şekil 16. İletim hattında CLR varken tek faz-toprak arızası

Şekil 17'de sistemde SFCL varken, iletim hattında tek faz-toprak arızası meydana geldiğinde, hattın akımı gösterilmiştir.



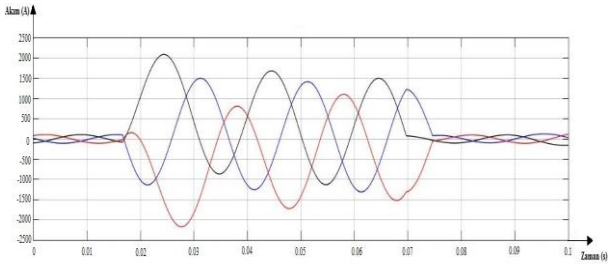
Şekil 17. İletim hattında SFCL varken tek faz-toprak arızası

Tablo 1. İletim hattında tek faz-toprak arızası tepe değer karşılaştırması

Arıza Tipi	Arızalı Faz	Arıza Akımının İlk Tepe Değeri (A)		
		FCL'siz	CLR'li	SFCL'li
Tek Faz-Toprak	A	2240	1592	2217

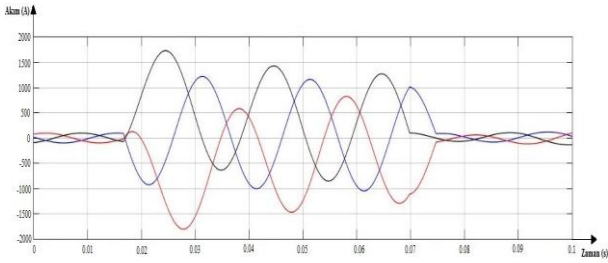
SFCL için akımın ilk tepe değerlerindeki azalma miktarı düşük olsa da arıza akımının ikinci tepe değeri FCL'siz durumda 3885 A'ye yakın iken, SFCL'li durumda yaklaşık olarak 2350 A'dir. Sınırlama işlemi arıza akımının ilk yarım periyodu içerisinde başlamıştır ve arıza akımının genliği arıza temizleninceye kadar azalmaya devam etmiştir.

Şekil 18'de sistemde herhangi bir FCL yokken, iletim hattında üç faz arızası meydana geldiğinde, hattın akımı gösterilmiştir.



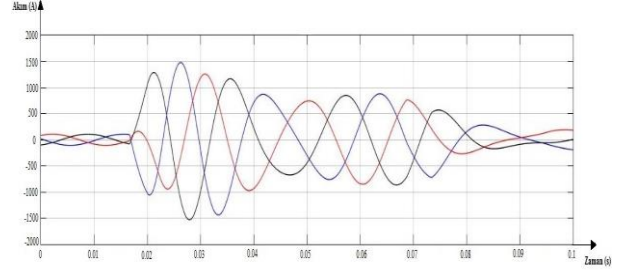
Şekil 18. İletim hattında FCL yokken üç faz arızası

Şekil 19'da sistemde CLR varken, iletim hattında üç faz arızası meydana geldiğinde, hattın akımı gösterilmiştir.



Şekil 19. İletim hattında CLR varken üç faz arızası

Şekil 20'de sistemde SFCL varken, iletim hattında üç faz arızası meydana geldiğinde, hattın akımı gösterilmiştir.



Şekil 20. İletim hattında SFCL varken üç faz arızası

Tablo 2. İletim hattında üç faz arızası tepe değer karşılaştırması

Arıza Tipi	Arızalı Faz	Arıza Akımının İlk Tepe Değeri (A)		
		FCL'siz	CLR'li	SFCL'li
Üç Faz	A	1185	984	1124
	B	2200	1765	976
	C	2140	1733	1265

Bazı durumlarda CLR, arıza akımının ilk tepe değerini SFCL'den daha fazla azaltmasına rağmen, bu sınırlandırma işlemi arıza süresi boyunca giderek artan bir şekilde yapamadığından, arıza akımının zorlayıcı etkileri arıza temizleninceye kadar sistem ve elemanları üzerinde görülmeye devam etmektedir. Şebekedeki kesicilerin arıza meydana geldikten sonra ilk yarım periyot içerisinde devreyi açması mekaniksel olarak mümkün değildir. Çünkü kesicilerin arıza akımını kesmeleri için gereken süre 5-15 periyottan fazladır [13]. Bunun sonucunda kesici kontakları yüksek genlikli arıza akımlarına maruz kalacaktır. SFCL kullanımı ile birlikte ilk yarım periyot içerisinde sınırlama işlemi gerçekleşeceğinden, kesiciler için kesme olayının zorlayıcı etkileri azaltılmış olacaktır. Böylece güç sisteminde SFCL uygulamaları ile daha düşük kesme akımı yeteneklerine sahip kesiciler kullanılabilir. Sonuç olarak SFCL'siz duruma göre SFCL'li durumda kesiciler için ve en önemlisi sistem açısından arıza akımının zorlayıcı termal ve dinamik etkileri en aza inmektedir.

5. Sonuçlar

Günümüzde giderek artan enerji tüketimini karşılamak amacıyla güç sistemlerinin sürekli büyümesi, arıza akımlarının seviyelerinin artmasına sebep olmakta ve bu durum sistemin işletilmesi açısından önemli sorunlar oluşturmaktadır. Arıza akımı seviyelerinin mevcut kesme cihazlarının yeteneklerini yakın zamanda aşacak olması bu sorunlardan biridir. Sistemdeki mevcut elemanları, yenileriyle değiştirmenin ekonomik külfetleri sebebiyle, arıza akımı seviyelerinin azaltılması bu soruna uygun bir çözüm olacaktır. Büyük arıza akımlarının termal ve dinamik etkileri sistem elemanlarına ciddi hasarlar verebilir. Bu nedenle sistemdeki arıza akımı kısa sürede ortadan kaldırılmalıdır. Kesiciler, arıza akımını hızlı bir şekilde kesmeye çalışırlarsa daha büyük akımlarla

karşılaşacaklardır. Bu nedenle çok kısa sürelerde açma işlemi yapamazlar ve genellikle 90-160 ms boyunca arıza akımı sistemden akar. Bu olumsuzlukların önüne geçmek için arıza akımlarının seviyeleri çok kısa sürelerde sistem için tehlike arz etmeyecek seviyelere indirgenmelidir.

Bu amaçla arıza akımının ilk yarım periyodu içerisinde sınırlama işlemini yapan SFCL'ler uygun bir tercih olacaktır. CLR'nin aksine normal işletme durumunda gerilim düşümü ve güç kaybı gibi herhangi bir olumsuz etkisi olmayan SFCL, sadece arıza durumunda direnç göstererek arıza akımının genliğini sınırlar. Böylece sistem ve sistem elemanları korunur ve kesiciler için kesme işlemi daha az zorlayıcı bir durum alır. Arıza temizlendikten sonra özel soğutma sistemi ile tekrar süperiletkenlik durumuna geçiş sağlanır ve direnç değeri tekrar ihmal edilebilecek kadar küçük bir değer alır. Yüksek yatırım maliyetleri ve özel soğutma sistemi dışında yaklaşık olarak güç transformatörleri kadar yer kaplayan SFCL'nin Türkiye Elektrik Enerjisi İletim Sistemi'nde kullanılması, ülkemizin şebekesini arızalara karşı daha kararlı ve dayanıklı duruma getirecektir. Böylece kesintiler olmaksızın enerji sürekliliği sağlanarak tüketiciye herhangi bir sorun aksettirmeden arızalar ortadan kaldırılmış olacaktır. Önümüzdeki yıllarda süperiletken teknolojisinin giderek gelişmesi ve artan talep ile birlikte seri üretime geçilmesi ilk yatırım maliyetini düşürerek, SFCL uygulamalarını daha yaygın hale getirecektir. Şebekemizde uygulamaları mevcut ve en iyi bilinen arıza akımı sınırlandırma yöntemi olan CLR ile kıyaslanabilir maliyetlere ulaştıktan sonra, normal işletme sırasında bile kayıplara sebep olan bu yöntem yerine, arızasız durumda sistemde hiçbir olumsuz tesiri bulunmayan SFCL kullanımı ile gereksiz kayıp ve gerilim düşümü sorunları ortadan kaldırılacaktır. Böylece tüketicinin ödediği işletme kaynaklı kayıp bedelleri azalacaktır. Arıza sırasında akımı çok hızlı bir şekilde sınırlaması gibi birçok avantaja sahip olan SFCL'nin şimdilik en büyük dezavantajları maliyeti ve özel soğutma sisteminin gerekliliğidir. Ayrıca, soğutma sistemindeki herhangi bir aksaklık süperiletkenlik durumuna geçişi sağlayamazsa, SFCL arıza temizlendikten sonra dahi sisteme karşı direnç gösterir. Bunun sonucunda enerji kaybına ve gerilim düşümlerine yol açması gibi kritik sorunlarla da karşılaşılabilir. Ancak, genel açıdan bakıldığında, ilerleyen yıllarda SFCL gibi modern arıza akımı sınırlandırma yöntemlerinin kullanılmaması durumunda, sürekli büyüyen enterkonnekte sistemlerde geleneksel yöntemlerin arızasız durumdaki etkilerinin meydana getirdiği sorunların üstesinden gelmek giderek zorlaşacaktır.

Sonuç olarak SFCL'nin amacı sistemin ve sistemdeki elemanların güvenliğini sağlamaktır. Arıza akımlarının istenen seviyelere düşürülmesi sistem işletmesinin sürekliliğini ve güvenilirliğini arttırmaktadır. Böylece sistemin kesintiye uğramadan işletmeye devam etmesi ile tüketicilerin enerji ihtiyaçlarının karşılanması sağlanır. Gelişen teknoloji ve artan gereksinimlerle birlikte önümüzdeki yıllarda SFCL uygulamaları hem Dünya'da hem de ülkemizde giderek yaygınlaşacaktır.

6. Kaynaklar

- [1] Eckroad, S., "Superconducting Fault Current Limiters Technology Watch 2009", 1017793 Technical Update, 2009.
- [2] Roininen, T., Solver, C. E., Nordli, H., Bosma, A., Jonsson, P., Alfredsson, A., ABB Live Tank Circuit Breakers, Application Guide.
- [3] tr.wikipedia.org/wiki/Süperiletken.
- [4] Lawal, O. K., Umar, I., Abubakar, B., Mahmood, M. K., "Performance Analysis of Surge Current Protection Using Superconductors", *European Scientific Journal*, Edition vol.10, No.19., 2014.
- [5] Mehairjan, V. S., Popov, M., Geschiere, A., Kling, W. L., "Transient Analysis of a 150 kV Fault Current Limiting High Temperature Superconducting Cable", *International Conference on Power Systems Transients (IPST2011)*, 2011.
- [6] Mohana, U. M., Suganthi, S.T., "Performance Analysis of Superconducting Fault Current Limiter (SFCL) in Single Phase and Three Phase Systems", *International Journal of Communications and Engineering*, Vol. 1(1), 56-61. 2012.
- [7] Firouzi, M., Aslani, S., Gharehpetian, G. B., Jalilvand, A., "Effect of Superconducting Fault Current Limiters on Successful Interruption of Circuit Breakers: European Association for the Development of Renewable Energies, Environment and Power Quality" *International Conference on Renewable Energies and Power Quality*, 2012.
- [8] Janowski, T., Stryczewska H. D., Kozak, S., Surdacki, P., Kucewicz, B. K., Wojtasiewicz, G., Kozak, J., Malinowski, H., "Bi-2223 and Bi-2212 Tubes for Small Fault Current Limiters", 2013.
- [9] Wu, X., Mutale, J., Jenkins, N., Strbac, G., "An Investigation of Network Splitting for Fault Level Reduction" *Tyndall Centre for Climate Change Research Project*, 2003.
- [10] Heydari H., Abrishami A., "Comprehensive Analysis for Magnetic Shield Superconducting Fault Current Limiters", *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, 2013.
- [11] Janowski, T., Kozak, S., Malinowski, H., Wojtasiewicz, G., Kucewicz, B. K., Kozak, J., "Properties Comparison of Superconducting Fault Current Limiters with Closed and Open Core", 2002.
- [12] Mohamed E. A., "Comparison Between Resistive and Inductive Superconducting Fault Current Limiter for Fault Current Limiting", *IEEE International Conference on Computer Vision*, 2012.
- [13] Bock J., Hobl A., "Superconducting Fault Current Limiters-A New Device for Future Smartgrids", *International Conference on Electricity Distribution*, 2012.