

ORTA GERİLİM ŞEBEKELERİNDE KISA SÜRELİ GERİLİM DEĞİŞİMLERİNİN TOPRAKLAMA METODLARINA BAĞLI İNCELENMESİ

Özgür KARACASU¹

M. Hakan HOCAOĞLU²

Elektronik Mühendisliği Bölümü

Mühendislik Fakültesi

Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, 41400, Gebze, Kocaeli

¹ karacasu@gyte.edu.tr

² hocaoglu@gyte.edu.tr

Anahtar sözcükler: Güç kalitesi, Gerilim şişmesi, Topraklama

ABSTRACT

Short duration variations (SDVs) are regarded as having a voltage change between 0-0.9pu and 1.1-1.8pu, with a time scale of half a cycle to a minute. SDVs are divided according to their duration as; sag, swell and interruptions. Faults or switching on/off large loads are the main cause of the SDVs.

This paper presents a study regarding the effect of neutral grounding methods of the MV network on SDVs which are simulated by creating single line to ground faults (SLGF) at the end of the 11kV overhead line in a medium voltage radial network. The simulations are carried out by using ATP version of EMTP and results are compared with analytical solutions. The results demonstrate that SDVs are heavily under influence of neutral grounding methods.

1. GİRİŞ

Kısa süreli değişimler (short duration variations), IEEE 1159:1995 tarafından gerilimin genliğinin efektif değerinin, 0.5 periyot ile 1 dakika arasında, 0-0.9p.u. ile 1.1-1.8p.u. aralığında değişimi olarak tanımlanmaktadır [1]. Gerilim çökmesi (*voltage sag/dip*), gerilim şişmesi (*voltage swell*) ve kesilmeler (*interruptions*) alt başlıklarına sahip bu gruptaki olayların kaynağı kısa devreler, büyük güçlü yük veya transformatörlerin devreye alınması ve çıkartılması olarak gösterilebilir. Kısa devreler dışındaki nedenler dengeli ve genellikle planlı olaylardır [2]. Kısa devreler ise istatistiksel olarak %95'e varan oranda dengesiz [3] ve plansız olarak gerçekleşmektedirler.

Kısa devreler sonucu meydana gelen değişimler devre koruma elemanlarının karakteristiklerine göre farklılaşmaktadır. Faz toprak kısa devresi sırasında hata mahalli ve arızanın altında kalan şebeke için, kısa devre olan fazda *kesilme* diğer fazlarda ise *gerilim şişmesi* görülürken hata mahallinden kaynağa doğru ilerledikçe, hatalı fazda *gerilim çökmesi* ortaya çıkmaktadır.

Bu olayların hepsi sürekli halde görülmektedir. Kısa devre sırasında IEEE 1159:1995 tarafından geçici hal (transient) sınıfında, *düşük frekanslı salınım* olarak tanımlanan gerilim genliğinin, 0.3-50ms arasında, 0-4 p.u. aralığında değiştiği 5kHz'den daha az frekansa sahip salınımlar gözlenmektedir.

EN 50160:2000'in 9kHz'den az frekanslı olayları tanımladığı düşük frekanslı olaylar sınıfı kısa süreli gerilim değişimlerini bir çatı altında toplasa da gerilimin %110'nun üzerine çıktığı durumlar zaman ve genlik bakımından detaylı olarak sınıflandırılmamıştır [4]. Dolayısıyla literatürde ve standartlarda bu konuda görülen boşluk bu çalışmanın temel motivasyonunu oluşturmaktadır.

Yapılan çalışmalarda, gerilim çökmelerinin transformatör bağlantı şekillerinden, kısa devre tipinden ve yük karakteristiklerinden etkilendiği belirlenmiştir [2,5]. Bu çalışmada ise kısa süreli gerilim değişimlerinin topraklama metodlarına bağlı değişimi incelenmiştir. 11kV'luk test şebekesinde meydana gelen tek faz toprak kısa devresi sırasında sağlıklı fazların gerilimlerin topraklama metodları ile değişimi incelenmiştir. Her bir topraklama metodu için sürekli hal ve geçici hal analizi yapılmıştır. Geçici hal analizi için EMTP (*ElectroMagnetic Transient Program*)'nin ATP (*Alternative Transient Program*) versiyonu kullanılmıştır [6]. Sürekli hal analizi için ise hem ATP hem de analitik metodlardan yararlanılmıştır.

2. GÜÇ SİSTEMLERİNDE TOPRAKLAMA

Güç sistemlerinde nötr noktasının toprakla olan bağlantısı topraktan yalıtılarak, doğrudan doğruya topraklanarak, empedans üzerinden topraklanarak veya sıfır sıra devresini rezonansa getirecek şekilde topraklanarak yapılabilir.

2.1 Yıldız noktası yalıtılmış şebekeler

Transformatörlerin ve generatörlerin yıldız noktaları ile yıldız noktası oluşturan öteki tesis bölümleri, işletmenin topraklama tesisine bağlanmamış olan şebekelerdir [7]. Ancak sistem, hat kapasitesi üzerinden tabii olarak topraklanmıştır. Hattın mükemmel olarak transpoze edildiği kabul edilirse dengeli durumda, iletim hattının toprakla olan kapasitesi her faz için aynıdır. Bu durumda kapasiteler üzerinden akacak olan şarj akımları da birbirine eşittir. Dengeli durumda nötr potansiyeli toprak potansiyelindedir.

Meydana gelebilecek bir toprak arızası sırasında kısa devre akımı devresini hat kapasiteleri üzerinden

tamamlayacaktır. Tek faz toprak kısa devresi sonucunda kısa devre olan fazın potansiyeli toprak potansiyeline eşit olur. Toprak arızaları nötr kaymasına ve aşırı gerilimlere sebep olmaktadır.

Yıldız noktası yalıtılmış şebekede faz toprak arasındaki kapasite önem kazanmakta ve faz-toprak kısa devresi esnasında kapasitif bir akımın sistemden akmasına neden olmaktadır. Bu geçici arıza sebebiyle faz-toprak arasındaki gerilim anma geriliminin bir kaç katına kadar çıkabilmektedir. Yıldız noktası yalıtılmış şebekede toprak kısa devresi akımının genliği sistemin faz toprak kapasitesi ile orantılıdır. Hat uzunluğunun artması ve/veya yer altı kablosu kullanılması toprak kısa devresi akımının artmasına neden olacaktır. Toprak kısa devre akımının artması ve kısa devrenin süresiz olması koşulunda süresiz ark hatası meydana gelmektedir. Toprak arızası arkın periyodik olarak tutuşması ve sönmesi şeklinde kendini göstermektedir. Kısa devre akımının boyutu süresiz arkın tekrarlanma sayısının arttırmaktadır. 5A'lık toprak kısa devresi akımı, süresiz arkın tutuşması için gerekli eşik geriliminin aşılması için yeterlidir [8,9]. Süresiz ark istenmeyen bir durumdur. Ekipmanların zarar görmesine ve kısa devre mahallinde yangına neden olur. Dolayısıyla hata yerinin hızlı bir şekilde bulunması ve bu kısım sistemden ayrılması gerekir. Ancak yıldız noktası yalıtılmış şebekede tek faz toprak kısa devresi sonucunda ortaya çıkan kapasitif akım, koruma cihazlarını devreye sokmaya yeterli değildir.

Bu problemlere rağmen şebekenin ufak olması ve oluşacak toprak kısa devresi akımının süresiz arkın tutuşmasına yetmeyecek kadar az olması nedeniyle günümüzde bazı orta gerilim şebekelerinde kullanılmaktadır [10]. Uygun koşulların sağlanması ile sistemin topraklanması için gerekli olan maliyette ortadan kalkmaktadır.

2.2 Yıldız noktası doğrudan doğruya topraklanmış şebekeler

Bir yada birden fazla transformatörün veya yıldız noktasını oluşturan öteki tesis bölümlerinin yada generatörlerin yıldız noktası, doğrudan doğruya topraklanmış olan ve şebekedeki koruma düzeni, herhangi bir noktadaki toprak hatasında otomatik açmayı sağlayacak biçimde yapılmış olan şebekelerdir [7]. Bu şebekelerde arıza akımı çok yüksek değerlere ulaştığı için toprak kapasitesi ve şarj akımları ihmal edilebilecek seviyededir.

Yüksek genlikli kısa devre akımı hata mahallinde yangına veya erimeye neden olabilir. Bu nedenle hatanın hızlı bir şekilde yakalanması ve izole edilmesi gerekmektedir. Büyük olan toprak kısa devre akımı, aşırı akım ve toprak kısa devresi röleleri tarafından algılanır ve hatalı fazın veya hattın tümünün sistemden ayrılmasını sağlar. Yıldız noktası yalıtılmış şebekeye oranla arızanın duyulması ve sistemden izole edilmesi kolaydır. Ayrıca yıldız noktası yalıtılmış şebekenin en önemli iki sakıncası

olan ark ve aşırı gerilimlerin önüne büyük oranda geçilmiş olunur.

2.3 Yıldız noktası empedans üzerinden topraklanmış şebekeler

Bir yada birden fazla transformatörün veya yıldız noktasını oluşturan öteki tesis bölümlerinin yada generatörlerin yıldız noktası, akım sınırlayan ohmik direnç yada reaktans bobini üzerinden topraklanmış olan ve şebekedeki koruma düzeni, herhangi bir noktadaki toprak hatasında otomatik açmayı sağlayacak biçimde yapılmış olan şebekelerdir [7]. Direnç üzerinden ve reaktans üzerinden topraklanmış şebekeler olmak üzere iki grupta incelenebilir.

Direnç üzerinden topraklanmış şebekelerde nötr noktası ile toprak arasına direnç yerleştirilir. Bu direncin amacı yıldız noktası doğrudan doğruya topraklı şebekede karşılaşılan, yüksek genlikli arıza akımını sınırlamaktır. Bu sayede hata mahallinde yangın ve erime riski, devre ve hata akımı taşıyan cihazlardaki mekanik zorlanma, insan ve çiftlik hayvanlarında adım geriliminin aşılması sonucu görülen elektrik şoku tehlikesi azalmış olur.

Topraklama direnci, nötr toprak arasına direk yerleştirilebileceği gibi, primeri nötr toprak arasına yerleştirilmiş transformatörün sekonderine veya yıldız üçgen topraklama transformatörünün üçgen sargıları arasına yerleştirilmek suretiyle endirek olarak bağlanabilir [11].

Reaktans üzerinden topraklanmış şebekelerde nötr noktası ile toprak arasına reaktör yerleştirilir. Direnç üzerinden topraklama ile aynı avantajlara sahiptir.

2.4 Toprak teması kompanze edilmiş şebekeler

Reaktans üzerinden yapılan topraklamada reaktans değeri sistemin toprakla olan kapasitesine eşit olursa tek faz toprak kısa devresi için sıfır sıra devresi rezonansa girer ve sıfır sıra empedansı çok yükselir. Özel değerdeki bu reaktör Peterson bobini olarak anılmaktadır [8,12].

Peterson bobini basit demir nüveli bir reaktördür. Rezonans topraklama, yıldırım, hayvan veya ağaçtan kaynaklanan geçici kısa devrelerin etkisini elimine eder ve sistemin tek faz toprak kısa devresine karşı olan mukavemetini artırır. Tek faz toprak kısa devresinin neden olduğu gerilim düşmelerini azaltması ve oluşabilecek arkı engellemesi diğer avantajlarıdır.

Peterson bobininin bir dezavantajı hat kapasitesinin her fazda eşit olabilmesi için hatların çaprazlanması gerekliliğidir. Peterson bobininin en önemli dezavantajı ise şebekede yapılan her değişiklikten sonra, örneğin hat devreye alınması ve devreden çıkartılması gibi, bobin değerinin tekrar ayarlanmasıdır. Yarı iletken teknolojisindeki son gelişmelerin ışığında kendi reaktans değerini yaptığı ölçümler ile ayarlayabilen bobinler geliştirilmiştir. Bu da toprak teması kompanze edilmiş şebekeleri tekrar gündeme getirmektedir [13].

3. AŞIRI GERİLİMLERİN ANALİZİ

Bu bölümde, Ek kısmında detayları verilmiş olan 11kV'luk test şebekesi üzerinde nümerik olarak inceleme yapılmıştır. Topraklama metodlarının dolayısıyla topraklama empedansının, tek faz toprak kısa devresi (TFTKD) sırasında, sağlıklı faz gerilimlerine olan etkisi incelenmiştir. Ayrıca nötr toprak gerilimi ve kısa devre akımının değişimi de incelenmiştir.

Analizler sırasında kısa devre direnci, toprak direnci ve ark hesaba katılmamıştır. Tüm simülasyonlar $t=0\text{ms}$ 'de başlatılmış ve $t=80\text{ms}$ 'de bitirilmiştir. Kısa devre senaryosu, hat sonunda $t=20\text{ms}$ 'de A fazında meydana gelecek sürekli tek faz toprak kısa devresi şeklindedir.

Tüm analiz sonuçlarında şebekeye kısa devre olan noktadan bakılmaktadır. Bu nedenle tüm analizlerde sağlıklı fazlardaki gerilim çökmeleri ve şişmeleri ile geçicilikler incelenmiştir. Sürekli hal analizlerinin sonuçları per unit cinsinden, geçici hal analizlerinin sonuçları ise per unit'in tepe değeri (Per Unit of the Peak) cinsinden sunulmaktadır.

ATP ile yapılan analizler sonucunda normal işletme koşullarında şarj akımlarının her faz için aynı genlikte ve değerinin 0.192A olduğu görülmüştür. Her fazın gerilimleri ve şarj akımları arasında hattın kapasitesine bağlı olarak 63° 'lik faz farkı bulunmaktadır.

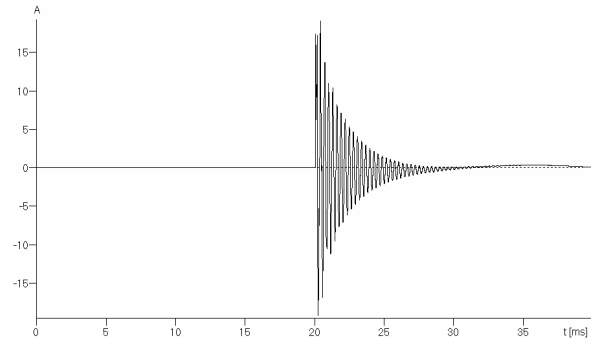
3.1 Yıldız noktası yalıtılmış şebeke

Yıldız noktası yalıtılmış şebekede TFTKD esnasında akmakta olan kısa devre akımı Şekil 1'de görülmektedir. Akımın tepe değeri 19.2A değerine ulaşmakta ve literatürde belirtildiği gibi 3kHz civarında bir salınım ile hızla azalmaktadır. 10ms'de 0.236A seviyesine inen akım bu andan itibaren 50Hz'lik güç frekansında salınmaya devam etmektedir [14]. Akımda görülen bu ani ve hızlı değişim sağlıklı fazlarda ve nötr-toprak arasında istenmedik geçici gerilim yükselmelerine sebep olmaktadır.

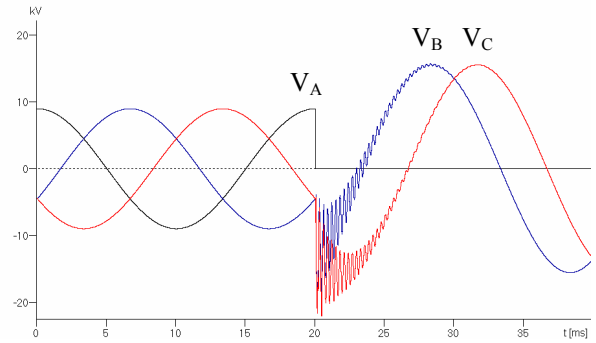
TFTKD sırasında faz nötr gerilimlerinin değişimlerin Şekil 2'de, nötr-toprak gerilimlerinin değişimi Şekil 3'te ve faz faz gerilimlerinin değişimi Şekil 4'te verilmiştir.

Şekil 2 ve Şekil 3 incelendiğinde faz ve nötr gerilimleri 10ms sonunda geçici halden sürekli hale geçmektedir. Sürekli halde faz nötr gerilimlerinin faz faz gerilimi olan 11kV'a, nötr toprak geriliminin ise faz nötr gerilimi olan 6.35kV'a ulaştığı ölçülmektedir. Ancak geçici hal sırasında B fazı gerilimi 20.96kV'a (2.33pu), C fazı gerilimi 22.084kV'a (2.45pu) ve nötr toprak gerilimi ise 18.80kV'a (2.09pu) çıkmaktadır.

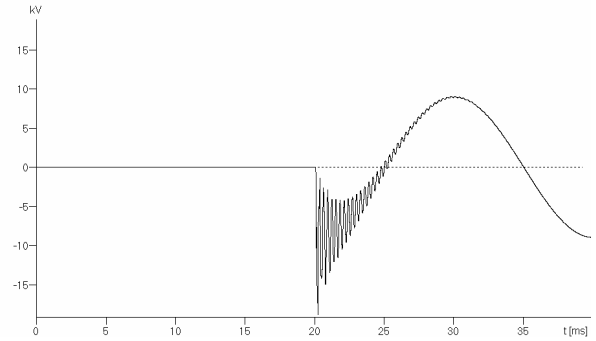
Şekil 4 incelendiğinde yıldız noktası yalıtılmış şebekede meydana gelen tek faz kısa devresi esnasında oluşan faz faz gerilim çökmelerinin sistemden beslenen cihazları etkilemediği ve şebekenin sürekli kısa devre altında dahi çalışabildiği görülmektedir.



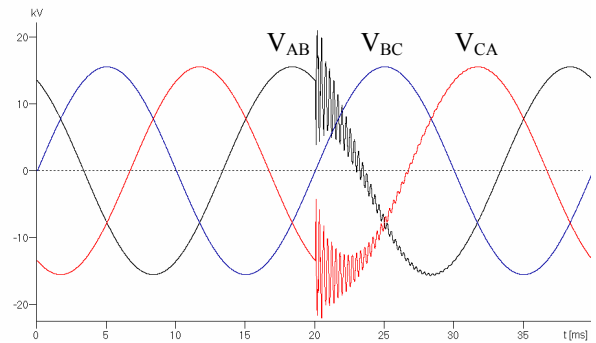
Şekil 1 : Yıldız noktası yalıtılmış test şebekesinde TFTKD akımı



Şekil 2 : Yıldız noktası yalıtılmış test şebekesinde TFTKD sırasında faz nötr gerilimleri



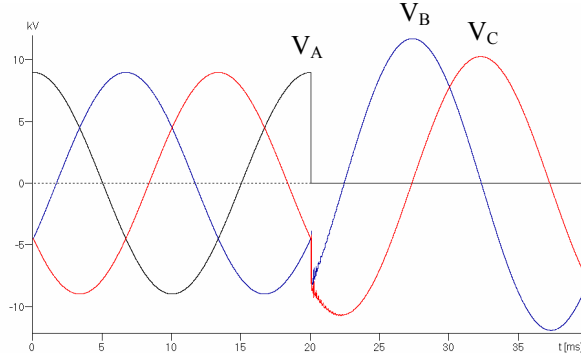
Şekil 3 : Yıldız noktası yalıtılmış test şebekesinde TFTKD sırasında nötr toprak gerilimi



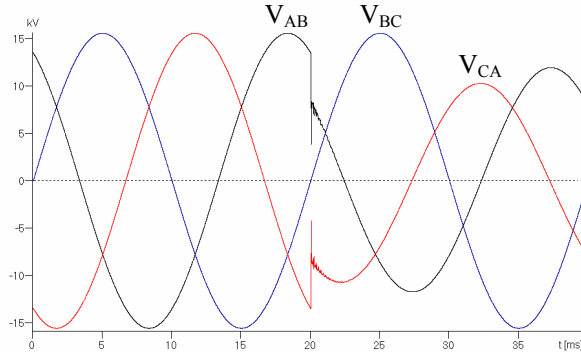
Şekil 4 : Yıldız noktası yalıtılmış test şebekesinde TFTKD sırasında faz faz gerilimleri

3.2 Yıldız noktası doğrudan doğruya topraklanmış şebekeler

TFTKD'ne maruz kalan yıldız noktası doğrudan doğruya topraklanmış şebekede faz nötr ve faz faz gerilimlerinin değişimi Şekil 5 ve Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 5 : Yıldız noktası doğrudan doğruya topraklanmış test şebekesinde TFTKD sırasında faz nötr gerilimleri



Şekil 6 : Yıldız noktası doğrudan doğruya topraklanmış test şebekesinde TFTKD sırasında faz faz gerilimleri

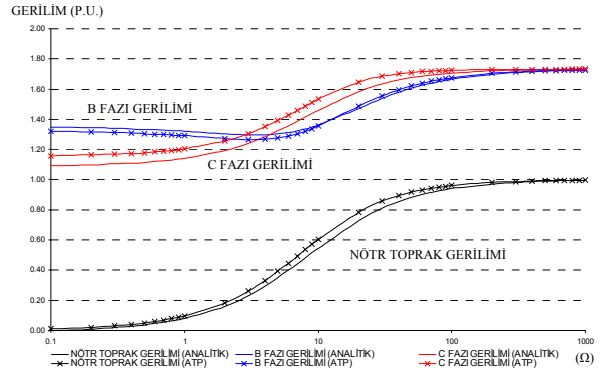
Sürekli halde B fazı gerilimi 8.550kV (1.34pu), C fazı gerilimi ise 6.944kV (1.09pu) hesaplanmıştır. Ancak geçici hal sırasında B fazı gerilimi 11.86kV (1.32pu) ve C fazı gerilimi ise 10.351kV (1.15pu) tepe değerlerine çıkmaktadır. Şekil 6 incelendiğinde yıldız noktası doğrudan doğruya topraklanmış şebekede meydana gelen TFTKD esnasında oluşan faz faz gerilim çökmelerinin sistemden beslenen cihazları etkileyecek büyüklükte olduğu görülmektedir.

3.3 Yıldız noktası empedans üzerinden topraklanmış şebekeler

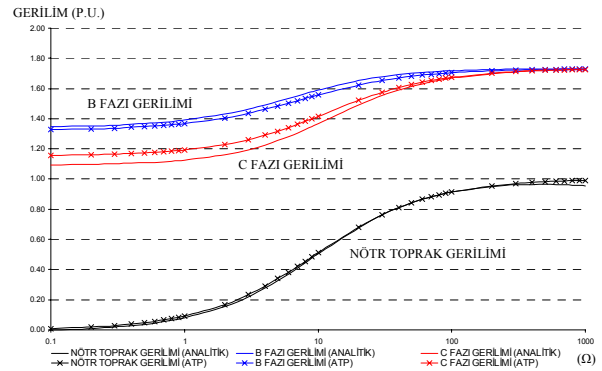
Yıldız noktası direnç veya reaktans üzerinden topraklanmış şebekelerde sağlıklı fazların gerilimleri topraklama empedansının değerine bağlı olarak değişmektedir. Analitik metodlar ve ATP ile yapılan analizler sonucunda, sürekli halde, 1000Ω empedans değerine yaklaşıldıkça şebeke yıldız noktası yalıtılmış şebeke gibi davranmaktadır. Şekil 7 ve Şekil 8 incelendiğinde sağlıklı faz gerilimleri 1000Ω empedans değerine doğru faz faz gerilimi olan 11kV'a, nötr toprak gerilimi ise faz nötr gerilimi olan 6.350kV'a ulaştığı ölçülmektedir. Aynı empedans

değeri için kısa devre akımının 10A'in altına indiği Şekil 9'da görülebilmektedir.

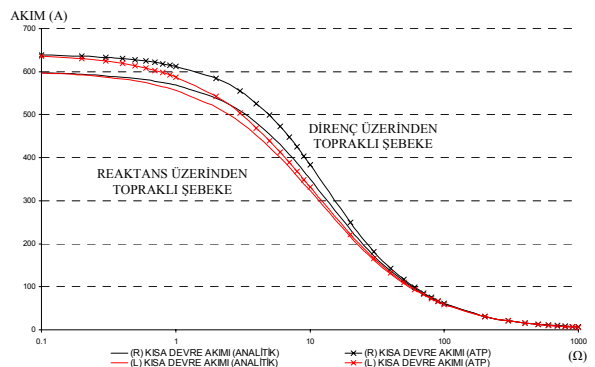
0.1Ω empedans değerinde ise sistemin yıldız noktası doğrudan doğruya topraklı şebeke gibi davrandığı ve B fazı geriliminin 8.550kV (1.34pu)'a, C fazı geriliminin ise 6.944kV (1.09pu)'a çıktığı Şekil 7 ve Şekil 8'den görülebilmektedir. Aynı empedans değeri için kısa devre akımının 596A olduğu Şekil 9'dan görülebilmektedir.



Şekil 7 : TFTKD sırasında B, C fazları ve nötr toprak geriliminin topraklama direnci (R) ile değişimi



Şekil 8 : TFTKD sırasında B, C fazları ve nötr toprak geriliminin topraklama reaktansı (L) ile değişimi

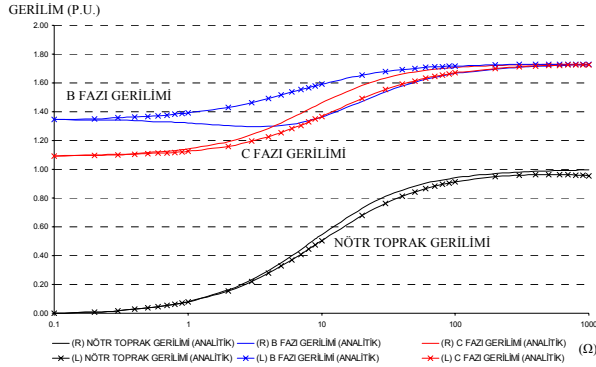


Şekil 9 : TFTKD akımının topraklama direnci (R) ve reaktansına (L) göre değişimi

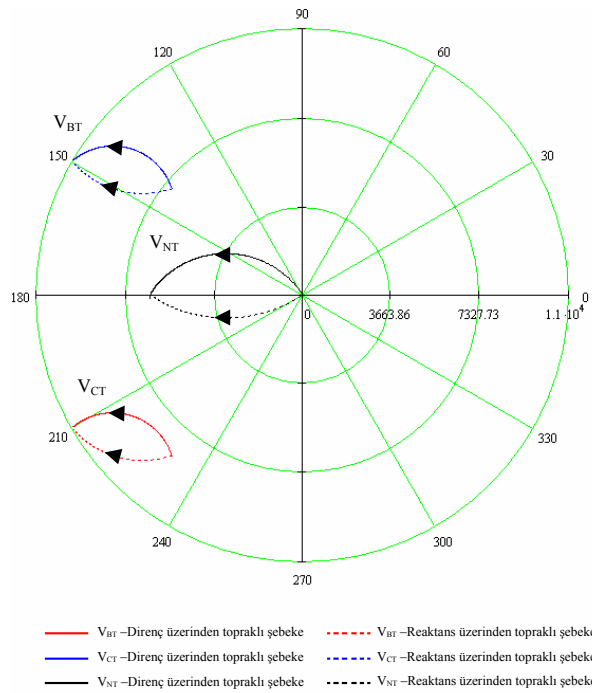
Yapılan analizler sonucunda analitik metodlar ile ATP sonuçlarının birbirine yakın olduğu söylenebilir. Analitik yöntemle ATP sonuçları arasındaki fark kullanılan hat modellerindeki farklılıktan kaynaklanmaktadır. ATP programında yüksek frekanslı değişikliklerin detaylı olarak incelenebilmesi

için frekansa bağlı hat modeli kullanılmıştır. Ancak analitik metod ile yapılan çözümde π eşdeğer devre modeli kullanılmıştır.

Analitik olarak hesaplanan, TFTKD sırasında B, C fazları ve nötr toprak geriliminin topraklama direnci (R) ve reaktansına (L) göre değişimi Şekil 10 ve Şekil 11’de verilmiştir.



Şekil 10 : TFTKD sırasında B, C fazları ve nötr toprak geriliminin topraklama direnci (R) ve reaktansına (L) göre değişimi

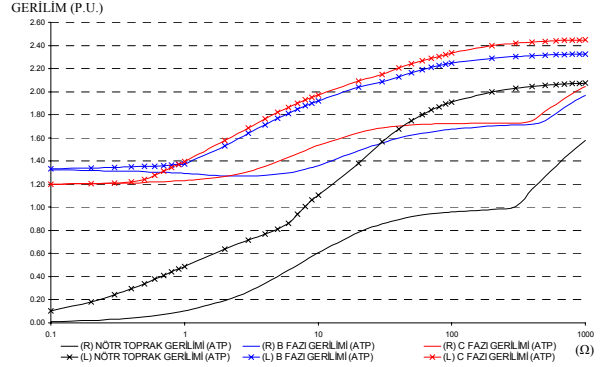


Şekil 11 : TFTKD sırasında B, C fazları ve nötr toprak geriliminin acı ve genliklerinin topraklama direnci (R) ve reaktansına (L) göre değişimi,

ATP ile yapılan geçici hal analizleri sonucunda elde edilen maksimum değerler Şekil 12’de verilmiştir.

Şekil 12 incelendiğinde topraklama empedansı değerinin artması ile şebekede gözlenen maksimum değerlerin arttığı görülmüştür. 1Ω empedans değerine kadar şebeke yıldız noktası yalıtılmış şebeke gibi davranmaktadır. 1Ω direnç değerinde B fazı gerilimi 11.606kV (1.29pu), C fazı gerilimi ise 11.066kV (1.23pu) tepe değerine ulaşmaktadır. Aynı empedans

değeri için nötr toprak gerilimi 914V (0.10pu), kısa devre akımı ise 914A tepe değerine ulaşmaktadır. 1Ω reaktans değerinde B fazı gerilimi 12.531kV (1.40pu), C fazı gerilimi ise 12.336kV (1.37pu) tepe değerine ulaşmaktadır. Aynı empedans değeri için nötr toprak gerilimi 4.374kV (0.49pu), kısa devre akımı ise 882A tepe değerine ulaşmaktadır.



Şekil 12 : TFTKD sırasında B, C fazları ve nötr toprak geriliminin maksimum değerlerinin topraklama direnci (R) ve reaktansı (L) ile değişimi

1000Ω direnç değerinde B fazı gerilimi 17.681kV (1.97pu), C fazı gerilimi ise 18.383kV (2.05pu) tepe değerine ulaşmaktadır. Aynı empedans değeri için nötr toprak gerilimi 14.164kV (1.58pu), kısa devre akımı ise 234A tepe değerine ulaşmaktadır. 1000Ω reaktans değerinde B fazı gerilimi 21.997kV (2.45pu), C fazı gerilimi ise 20.878kV (2.32pu) tepe değerine ulaşmaktadır. Aynı empedans değeri için nötr toprak gerilimi 18.632kV (2.07pu), kısa devre akımı ise 20A tepe değerine ulaşmaktadır.

Aynı empedans değeri için sürekli hal sonuçlarına bakıldığında reaktans üzerinden topraklı şebekenin kısa devre akımını dolayısıyla gerilimleri direnç üzerinden topraklı şebekeye oranla daha iyi sınırladığı görülmüştür. Ancak geçici hal sonuçlarına incelendiğinde reaktans üzerinden topraklı şebekede ortaya çıkan salınımların direnç üzerinden topraklı şebekeye oranla daha fazla olduğu görülmektedir. Salınım genlikleri yüksek empedans değerlerinde daha da artmaktadır.

3.4 Toprak teması kompanze edilmiş şebekeler

Yapılan sürekli hal analizlerinden Peterson Bobini değerinin 26485Ω olduğu bulunmuştur. Bu reaktans değeri kullanılarak yapılan analizler sonucunda elde edilen kısa devre akımının geçici hal sırasında 19.12A tepe değerine çıkmakta, sürekli halde ise 0.083A değerine düşmektedir. Analitik metodlar ile yapılan sürekli hal çözümünde kısa devre akımının 5.4E-6A’ e kadar inmiştir.

Sürekli halde faz nötr gerilimlerinin faz faz gerilimi olan 11kV’a, nötr toprak geriliminin ise faz nötr gerilimi olan 6.35kV’a çıkmaktadır. Ancak geçici hal sırasında B fazı gerilimi 21.69kV (2.41pu)’a, C fazı gerilimi 22.08kV (2.45pu)’a ve nötr toprak gerilimi 19.12kV (2.12pu)’a tepe değerine çıkmaktadır. Faz ve

nötr gerilimleri 10ms sonunda geçici halden sürekli hale geçmektedir.

4. SONUÇ

Test sistemi üzerinde yapılan analizler sonucunda topraklamanın ana amacının kısa devre esnasında değerleri değişen kısa devre akımının dolayısıyla gerilimlerin sınırlanması olduğu görülmüştür. Yıldız noktası yalıtılmış veya doğrudan doğruya topraklanmış şebekeler özel durumlardır. Yıldız noktası doğrudan doğruya topraklanmış şebekelerde kısa devre akımı çok yüksek değerlere ulaşırken faz gerilimleri kısa süreli salınımlar ile 1.35pu'nin üzerine çıkmamaktadır. Yıldız noktası yalıtılmış şebekelerde ise kısa devre akımı koruma cihazlarının algılayamayacağı kadar az olmasına rağmen faz gerilimleri uzun süreli ve yüksek genlikli salınımlar ile 1.73pu sürekli hal ve 2.45pu geçici hal değerlerine ulaşmaktadır ki nötr gerilimi de benzer yapıdadır.

Yıldız noktası empedans üzerinden topraklanmış şebekelerde kullanılacak empedans değerine göre kısa devre akımı dolayısıyla gerilimler istenilen sınırlar içinde tutulabilmektedir ancak bu yönteminde maliyet ve yüksek genlikli salınımlar gibi problemleri vardır.

Toprak teması kompanze edilmiş şebekeler diğer sistemlerin bir arada yapamadığı sifıra yakın kısa devre akımı ve 1.2pu altına düşürülebilen faz gerilimleri ile geleneksel topraklama metodları için yeniden ciddi bir alternatif olmaktadır. Kısa devre altında çalışabilmesi de artı bir avantajdır. Yarı iletkenlerdeki gelişmeler sonucunda eskiye oranla çok daha kullanışlı bir hale gelmektedir.

Analiz sonuçları incelendiğinde topraklama metodlarının gerilim şişmesi üzerindeki etkileri görülmektedir.

Farklı şebeke modelleri ve transformatör bağlantı şekilleri ile geliştirilecek olan test sisteminde tek faz toprak kısa devresinin sebep olduğu gerilim değişimleri sınıflandırılacaktır. Bu sınıflamanın şebeke planlayıcıları ve işletmeciler için güç kalitesi ile ilgili standartlara uyum sağlamada faydalı bir rehber olması beklenmektedir. Şebeke planlanırken oluşabilecek kısa süreli gerilim değişmelerinin tipi ve etki alanı belirlenebilecektir.

TEŞEKKÜR

Bu proje Devlet Planlama Teşkilatı tarafından desteklenmektedir. (Proje no: DPT02-A030201)

KAYNAKLAR

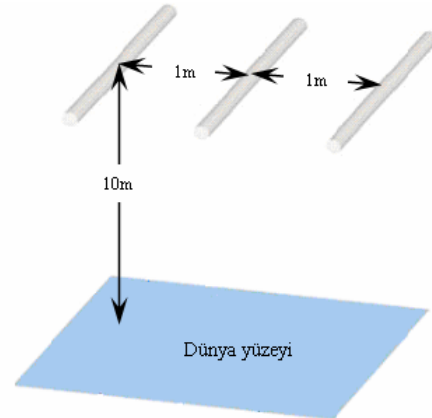
- [1] **IEEE std 1159-1995**: 'IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality'
- [2] **BOLLEN Math H. J.**: 'Understanding Power Quality Problems: Voltage Sags and Interruptions', (IEEE Publication, New York, 2000)
- [3] **WESTINGHOUSE ELECTRIC CORP.**: 'Electrical Transmission and Distribution References Book', (East Pittsburgh, PA., 1950) 4th edn.

- [4] **BS EN 50160:2000**: 'Voltage Characteristics of Electricity Supplied by Public Distribution Systems', BSI Standard
- [5] **YALÇINKAYA G., BOLLEN M. H. J., CROSSLEY P. A.**, 'Characterization of Voltage Sag in Industrial Distribution Systems.' IEEE Transactions on Industry Applications Vol 34, No. 4, July/August 1998, pp. 682-688
- [6] **CAN/AM EMTP USER GROUP**: 'Alternative Transients Program (ATP) Rule Book', (Canadian/American EMTP User Group, 1992)
- [7] **ENERJİ VE TABİİ KAYNAKLAR BAKANLIĞI**: 'Elektrik Tesislerinde Topraklamalar Yönetmeliği', AĞUSTOS 2001
- [8] **GÖNEN T.**: 'Modern Power System Analysis', John Wiley & Sons Inc., New York, 1987
- [9] **MARICAN, A.M.A.**: 'Modern Application of Resonant Earthing', PhD. Thesis, Cardiff 2000
- [10] **LACROIX, B., CALVAS, R.**: 'Earthing Systems Worldwide and Evolutions', (Merlin Gerin Technical Specification n°173, September 1995)
- [11] **IEEE Std C62.92.1-2000**: 'Guide for The Application of Neutral Grounding in Electrical Utility Systems'
- [12] **WILLHEIM, R., WATERS, M.**: 'Neutral Grounding in High-Voltage Transmission' (Elsevier Publishing Company, London 1956)
- [13] **YI, T.**: 'A Complete Set of Automatic Compensation Equipment of a Capacitive Charging Current in the Application of a Medium-Voltage Power System', Electric Power System Research Vol 41, 1997, pp. 35-41

EK-TEST ŞEBEKESİ

Test sistemi, üç fazlı 11kV'luk gerilim kaynağı ve buna bağlı 10km'lik havai hattın oluşmaktadır. Şebeke yüksüz durumdadır.

Hat çaprazlanmıştır. Kanada standardı POPPY sınıfı tam alüminyum iletken kullanılmıştır. Koruma iletkeni bulunmayan yatay dizilimli hattın iletken dizilimi Şekil 13'de verilmiştir.



Şekil 13 : Test şebekesi havai hattı iletken dizilimi

Hesaplamalarda toprak öz direnci 100Ωm alınmıştır. Şekil 13'de verilen iletken dizilimine göre hesaplanan hat parametreleri aşağıda verilmiştir.

$$R \text{ (Hat direnci)} = 5.912\Omega$$

$$X_L \text{ (Öz hat reaktansı)} = j7.872\Omega$$

$$X_m \text{ (Karşılıklı hat reaktansı)} = j4.15\Omega$$

$$X_{CFT} \text{ (Faz toprak arası hat kapasitesi)} = -j158914.48\Omega$$

$$X_{CFF} \text{ (Faz faz arası hat kapasitesi)} = -j63626.64\Omega$$