

UDK 621.314

KABLO YOĞUN RADYAL DAĞITIM ŞEBEKELERİNDE KAPASİTİF AKIM TEMELLİ HATALI AÇMALARIN İNCELENMESİ

Mert Bekir ATSEVER, Mehmet Hakan HOCAOĞLU

Hızla artan enerji talebinin karşılanması ve arz güvenliğinin sağlanması için özellikle metropol şehirlerde havai hatlar yerine sıklıkla ve yoğunlukla yeraltı kablosu kullanılmaktadır. Bu durum getirdiği yararların yanı sıra koruma felsefesinin güncellenmesini gerekli kılmaktadır. Bu çalışmada kablo yoğun radyal şebekelerdeki kapasitif akım temelli hatalı açma problemi 62-baralı dağıtım şebekesinde yönlü ve yönsüz koruma pratiği için incelenmiş sonuçlar havai hat kullanılması durumu ile kıyaslanmıştır.

Для удовлетворения быстро растущего спроса на электроэнергию и обеспечения безопасности её поставок, особенно в столичных городах, вместо воздушных линий часто и интенсивно используются подземные кабели. Это требует обновления философии защиты сетей, а также преимуществ, которые она приносит. В этой статье приведены результаты исследований проблем аварийного отключения из-за емкостного тока в кабельных радиальных сетях, которая была изучена для применения направленной и неориентированной защиты в распределительной сети с 62 шинами. Результаты исследований сравнивались с состоянием использования воздушных линий.

In this study, a 62-bus sample distribution system is modelled in accordance with its parameters with the help of EMTP (Electro Magnetic Transient Program). The performances of non-directional and directional earth fault relays during SPEF were investigated in the time domain. Two different scenarios are determined for the 62-bus system. In the first scenario, the system is fully equipped with overhead lines. In the second scenario, the system is fully equipped with underground cables. Thus, the protection settings for the sample network are detailed according to the non-directional and directional earth fault relays situation of the sympathetic tripping problem, which is inevitable in the cable-dense network.

GİRİŞ

Radyal dağıtım şebeke topolojisi; işletme, bakım ve koruma açısından ring şebeke yapılarına göre daha avantajlıdır. Bu nedenle dağıtım şebeke operatörleri sistemlerini mümkün mertebe radyal olarak işletmeyi tercih etmektedir. Dağıtım şebekesinin etkin bir şekilde korunması ve arz güvenliğinin en üst seviyede tutulması için dağıtım şebeke operatörlerinin bazı kriterleri sağlaması elzemdir. Bunlar; seçicilik, güvenlik, güvenilirlik ve hız şeklinde sıralanabilir. Bununla birlikte dağıtım şebekesinin işletilmesi sırasında tahmin edilemeyen ve oluşumu önlenemeyen arızalar gerçekleşmektedir. Tek Faz Toprak (TFT) arızası diğer arıza tipleri ile kıyaslandığında en çok gerçekleşen arıza tipidir.

TFT arızası toprakla direkt temaslı olduğundan dolayı; nötr topraklama tipi toprak arızasına karşı korumada oldukça önem taşımaktadır. Dünya genelinde pek çok

farklı nötr topraklama uygulaması bulunmaktadır. Bu durum, üniversal bir koruma yönteminin geliştirilmesini veya bir röle ayarının tüm durumlarda koruma yapabilmesini imkânsız kılmaktadır. Yaygın olarak kullanılan nötr topraklama tipleri; nötr noktası izole sistemler, Peterson bobini üzerinden topraklı sistemler, nötr noktası direnç veya reaktör üzerinde topraklı sistemler ve nötr noktası direkt topraklı sistemler olarak sıralanabilir [1]. Nötr noktası izole sistemler ve Peterson bobini üzerinden topraklı sistemler TFT arızası sırasında oldukça düşük akıma neden olması ve arıza altında çalışmaya devam etmesinden dolayı Kıta Avrupası'nda tercih edilmektedir [2]. Bununla birlikte arıza esnasında sağlıklı fazlarda aşırı gerilimler görülmektedir. Bu durum sistemin izolasyon seviyesinin zayıf olduğu bir noktada ikinci bir TFT arızasını tetikleyebilir. Bu sebeple arıza sistemden hızlı ve seçici bir şekilde temizlenmelidir. Arıza anında TFT akımı oldukça düşük olduğundan dolayı bu topraklama tipleri için geçici rejim temelli (İng: Transient-Based) algoritmalar geliştirilmiştir [3]. Geçici rejim temelli algoritmaların haberleşmeye ihtiyaç duyması, yüksek örnekleme gerektirmesi, arıza oluş anına bağlı olması ve gerçek şebekede uygulama zorluğu gibi dezavantajları bulunmaktadır.

Enerji talebinin hızla artması ve şehirleşme ile birlikte özellikle metropol şehirlerde havai hat yerine yeraltı kablosu kullanılmasını zorunlu kılmıştır. Bu durum sistemin sahip olduğu kapasitif akım seviyesinin artmasına neden olmaktadır. Her ne kadar kapasitif akımlar gerilim düşümüne pozitif etki yapsa da sistemin korunmasını zorlaştırmaktadır. Kapasitif akımların arıza noktası algoritmalarına etkisi [4] numaralı çalışmada, aşırı akım röle koordinasyonu çalışmalarına etkisi [5] numaralı çalışmada incelenmiştir. TFT arızası sırasında sistemde dolaşan kapasitif akımlar, arızanın olmadığı bölgede bulunan toprak rölesinin arıza algılamasına ve ilgili kesicinin açma yapmasına neden olmaktadır. Bu olgu litaretürde hatalı açma (İng: Sympathetic trip) olarak isimlendirilmiştir [6] Hatalı açma ile arızanın olmadığı bölge sistemden izole edilmekte ve bazı durumlarda arıza sistemde kalabilmektedir. Böylece şebeke işletmecisinin Satılmayan Enerji (İng: Energy Not Sold, ENS), Sistem Ortalama Kesinti Frekansı (İng: System Average Interruption Frequency, SAIFI), Sistem Ortalama Kesinti Süresi (İng: System Average Interruption Duration, SAIDI) gibi kalite endekslerini olumsuz etkilemektedir.

Sistemin seçici şekilde korunabilmesi noktasında, havai hatların yoğun kullanıldığı dönemlerden gelen bir alışkanlık olarak, yönsüz aşırı akım röleleri kullanılması seçici koruma sağlayamamaktadır. Sağlıklı fiderlerde yaşanan hatalı açma problemin ana kaynağının kaynağa doğru akmakta olan kapasitif akımlar olması yönlü toprak aşırı akım koruma rölesi kullanımının bir çözüm önerisi olarak yaygınlaşmasını sağlamıştır. Konvansiyonel yönlü toprak aşırı akım koruma röleleri arızanın yönünü tayin edebilmek için gerilimin açısına, dolayısıyla gerilim trafosuna ihtiyaç duymaktadırlar [7]. Bu durum yönlü koruma pratiğini pahalı hale getirmektedir. Son zamanlarda akım temelli koruma algoritmalarının da geliştirildiği bilinmektedir [8]. Ancak hangi algoritma kullanılırsa kullanılsın uygun açma ayarının belirlenmesi ve röleye tanıtılması gerekmektedir. Kullanılan koruma algoritmalarının ve röle açma ayarlarının dağıtım şebekesinin topolojik yapısına uygunluğu senaryo bazlı değerlendirilmelidir.

Bu çalışmada 62-baralı örnek dağıtım sistemi EMTP (Electro Magnetic Transient Program) yardımıyla parametrelerine uygun olarak modellenmiştir. TFT arızası sırasında yönsüz ve yönlü aşırı akım rölelerin performansları zaman

domeyninde incelenmiştir. 62-baralı sistem için iki farklı senaryo belirlenmiştir. Birinci senaryoda sistem tamamen havai hatlarla donatılmıştır. İkinci senaryoda ise sistem tamamen yeraltı kablolarıyla donatılmıştır. Böylece kablo yoğun şebekede kaçınılmaz olan hatalı açma probleminin yönsüz ve yönlü aşırı akım röle durumuna göre koruma ayarları örnek şebeke için detaylandırılmıştır. Makale şu sıra ile kurgulanmıştır. İkinci kısımda kapasitif akım temelli hatalı açmalar detaylı olarak incelenmiştir. Üçüncü kısımda 62-baralı örnek dağıtım sisteminin TFT arıza durumu incelenmiştir. Sonuçlar ise en son kısımda tartışılmıştır.

KAPASITIF AKIM TEMELLI HATALI AÇMA PROBLEMİ

Radyal dağıtım en basit sistem olmasının yanı sıra Türkiye'de ve dünyanın pek çok ülkesinde en yaygın kullanılan dağıtım sistemidir. Yük akışı kaynaktan yüke olmak üzere tek yönlüdür. Tek yönlülük sayesinde radyal dağıtım sistemleri uzun süre yönsüz aşırı akım röleleri ile seçici bir şekilde korunabilmiştir [7]. Dağıtım sistemlerine dağıtık üretim eklenmesi, havai hat yerine yeraltı kablolarının kullanılması, sistemde beslenen büyük güçlü motorların artması radyal dağıtım sistemlerinde kullanılan rölelerin tiplerinin ve/veya ayarlarının güncellenmesini zorunluluk haline getirmektedir [9]-[11]. Radyal dağıtım sistemlerinde arıza olmayan bölgede bulunan rölelerin de arıza sinyali üretmesi ve ilgili kesicinin açma yapmasına neden olmaktadır. Taranan literatürde hatalı açma probleminin üç farklı tanımı bulunmaktadır.

Tanım 1: Destek koruma rölesinin primer röleden önce açma sinyali üretmesi [12].

Tanım 2: Herhangi bir rölenin destek koruma rölesinden önce açma sinyali üretmesi [12].

Tanım 3: Sağlıklı fiderde bulunan rölenin arızalı fiderde bulunan röle ile aynı anda veya daha önce açma sinyali üretmesi [13].

Tanımlardan ilk ikisi faz arızalarını kapsarken üçüncü tanım toprak kısa devresini kapsamaktadır. İki fiderli örnek bir kablo sisteminin faz toprak kapasiteleri ile birlikte eş değer devresi Şekil 1'de verilmiştir. Hat başında iki adet toprak aşırı akım rölesi kullanılan örnek sistemde seçici korumanın sağlanması durumunda birinci fiderde meydana gelecek herhangi bir TFT arızası durumunda sadece birinci fiderde bulunan toprak aşırı akım rölesinin çalışması beklenmektedir.

Fakat bazı durumlarda birinci fidere ek olarak ikinci fiderde bulunan toprak aşırı akım rölesi de arızayı algılayabilmekte ve hatalı olarak açma sinyali üretebilmektedir. Dağıtım şebekesinde hatalı açmaların sebepleri; kesici anahtarlaması, gerilim yükselmeleri, yüksek oranda dağıtık üretim kullanılması, motorların başlatma akımları, aynı trenşadan giden kabloların ortak kublaj etkisi ve kabloların kapasitif akımları şeklinde sıralanabilir. Bu sebeplerin ayrı ayrı analiz edildiği çalışmalar literatürde bulunabilmektedir [11].

Bu çalışma kapsamında yeraltı kablolarının kapasitif akımı kaynaklı hatalı açmalar üzerine odaklanılmış olup diğer parametreler incelenmemiştir. Dengeli bir sistemde; faz akımlarının vektörel toplamı sıfırdır. TFT arızası sırasında fazlarda dengesizlik oluştuğu için toprak röleleri tarafından sıfır bileşen akım I_0 ölçülür [14]. Ölçülen akım değeri rölenin eşik değerinden yüksek ise röle başlatma sinyalini alır ve ayarlandığı zaman sonrasında açma sinyalini üretir. Kapasitif akım temelli açma probleminin denklemleri Denklem (1)-Denklem (4) ile ifade edilebilir [15].

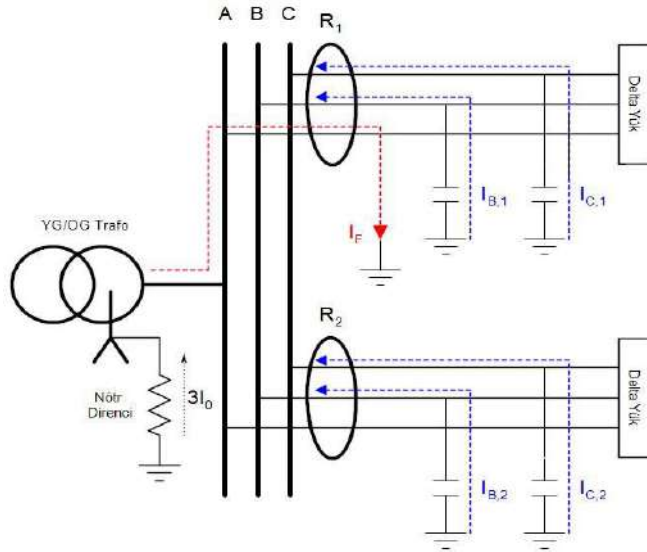
$$\bar{I}_F = 3\bar{I}_0 + \bar{I}_{B,1} + \bar{I}_{B,2} + \bar{I}_{C,1} + \bar{I}_{C,2} \quad (1)$$

$$3\bar{I}_{0,R_1} = \bar{I}_F - \bar{I}_{B,1} - \bar{I}_{C,1} \quad (2)$$

$$3\bar{I}_{0,R_2} = -(\bar{I}_{B,2} + \bar{I}_{C,2}) \quad (3)$$

$$3\bar{I}_0 = 3\bar{I}_{0,R_1} + 3\bar{I}_{0,R_2} \quad (4)$$

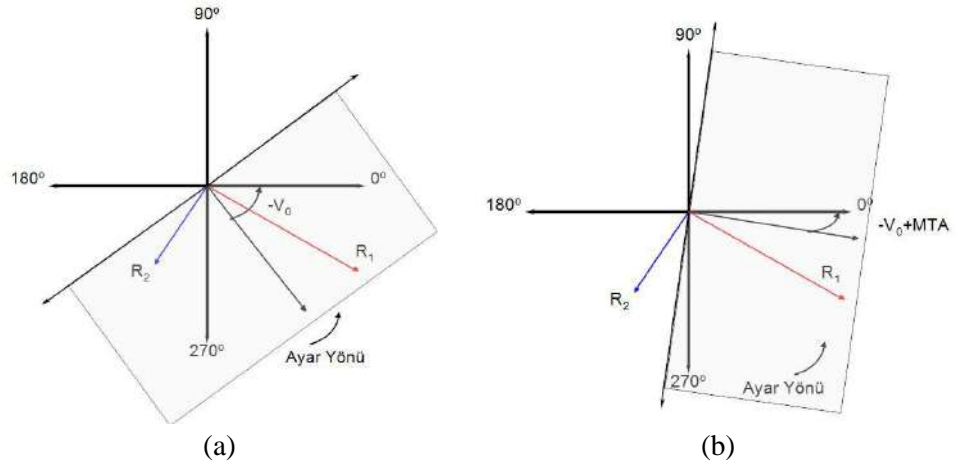
Şekil 1'de arıza akımının genliği \bar{I}_F ; $3\bar{I}_0$ nötr akımı, $I_{B,n}$ ve $I_{C,n}$ n. fiderdeki kapasitif akımlar olmak üzere Denklem (1) ile hesaplanabilmektedir. Arıza fider başında bulunan rölenin gördüğü akım genliği $3\bar{I}_{0,R_1}$ Denklem (2) ile, sağlıklı fiderde görülen akımın genliği $3\bar{I}_{0,R_2}$, Denklem (3) ile hesaplanmaktadır. Arızalı fider, sağlıklı fider ve nötr noktası ilişkisi Denklem (4) ile gösterilmiştir.



Şekil 1. TFT arızası sırasında akım dağılımları ve rölelerde okunan akımlar

Sistemin nötr topraklama direnci, kullanılan kablonun tipi ve metrajı ikinci fiderde görülen $3\bar{I}_{0,R_2}$ akımının genliğinin artmasına, buna bağlı olarak toprak aşırı akım rölesinin eşik değerini aşılmasına ve R_2 rölesinin açma sinyali üretmesine sebep olabilir. Problemin giderilmesi için uygulanan ilk yöntemlerden birisi hatalı açmaya sebebiyet veren rölelerin eşik değerlerinin artırılmasıdır. Bu yöntem basitliğine rağmen sistemi körleştirdiği için efektif değildir. Diğer yöntem ise yönlü toprak aşırı akım rölesi kullanılmasıdır. Bu yöntem ile akım genlik bilgisinin yanı sıra açılı bilgisi de kontrol edilerek hatalı açmalar engellenmektedir.

Konvansiyonel olarak kullanılan yönlü koruma algoritması bir akım-gerilim kıyaslaması olan ortak baranın sıfır sıra gerilimi V_0 ile her bir fidere ait I_0 akımlarının vektörel kıyaslamasıdır. Bu yöntem literatürde Gerilim Polarizasyonlu Yönlü Eleman (GPYE) yöntemi olarak bilinmektedir. Ayar değerlerinin doğru hesaplanması durumunda GPYE başarılı olarak sahada uygulanmakla birlikte gerilim trafosuna ihtiyaç duyması hem fiziksel yerleşim hem de maliyet yönünden dezavantajdır. Bu dezavantaj dağıtım şebeke işletmecilerini mümkün oldukça yönsüz koruma pratiğinde kalmaya zorlamaktadır. Dağıtım şebekeleri için belli kablo mesafesi ve nötr topraklama direnci için yönsüz korumanın etkili bir şekilde kullanabileceği aralıklar mevcuttur [16].

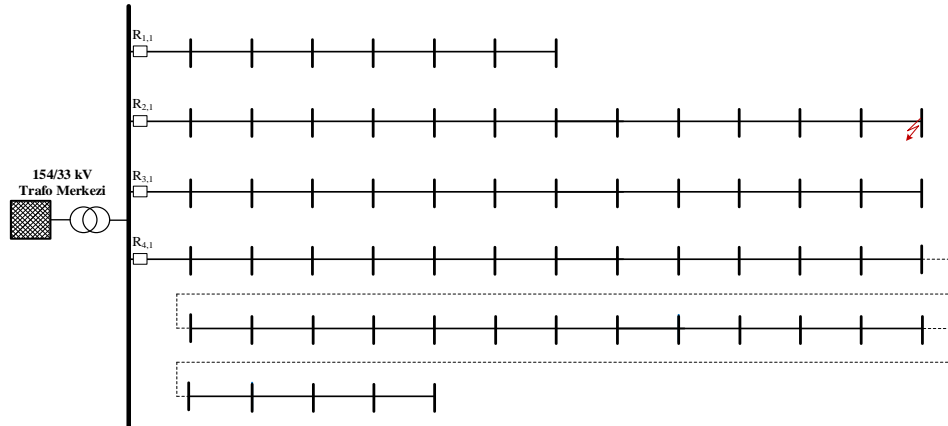


Şekil 2: GPYE yönteminin açılı diyagramı a) MTA'sız b) MTA'lı

GPYE yönteminin uygulanması Şekil 2 ile gösterilmiştir. Ortak baradan okunan V_0 geriliminin açısı $+90^\circ$ ile -90° eklenerek kanatları oluşturmaktadır. Rölenin çalışma $\angle -V_0 + 90^\circ$ ile $\angle -V_0 - 90^\circ$ arasındadır. Bu sınırlar MTA (Maximum Torque Angle, Azami Tork açısı) ayarı yapılmadan elde edilen sınırlardır. MTA tabiri mekanik rölelerden kalma isimlendirmedir. Dijital rölelerde MTA'ya Röle Karakteristik Açısı (RKA) da denilmektedir. MTA ayarı yapılmadan elde edilen çalışma bölgesinde hem arızalı fiderin I_0 vektörü hem de sağlıklı fiderin I_0 vektörü bulunduğu Şekil 2.a'dan görülebilmektedir. Bu durumda yönlü rölenin yön ayırt ediciliği ortadan kalkmış ve seçici koruma sağlanamamıştır.

MTA ayarı sonrasında yeni çalışma bölgesinin $\angle -V_0 + 90^\circ + MTA^\circ$ ile $\angle -V_0 - 90^\circ + MTA^\circ$ arasında değiştiği ve bu durumda arızalı fiderin I_0 vektörünün çalışma bölgesi içerisinde, sağlıklı fiderin I_0 vektörünün ise çalışma bölgesi dışında kaldığı Şekil 2.b'den görülebilmektedir. Seçici koruma noktasında uygun MTA ayarının önemi Şekil 2'den net olarak görülebilmektedir. Örnek bir test şebekesi için eğri temelli açı ayar önerisi [17] numaralı çalışmada yayınlanmıştır. Ayrıca son zamanlarda MTA ayarının optimize edilerek minimum açı değerinin bulunması çalışmaları literatürde bulunmaktadır [18].

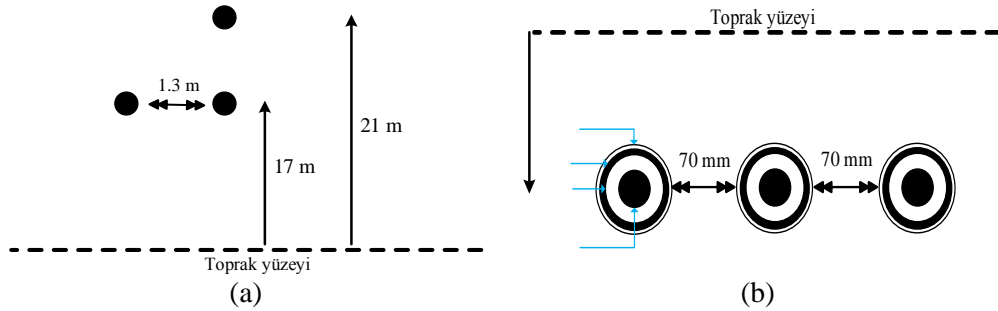
TRAF0 MERKEZİ UYGULAMASI



Şekil 3: 62 baralı radyal dağıtım şebekesi

Bu bölümde 62-baralı örnek trafo merkezinin yönlü ve yönsüz toprak koruma performansı incelenecektir. Örnek TM'de 154/33 kV gerilim seviyesinde Yn/Yn bağlantı grubuna sahip, yüksek gerilim tarafı direkt topraklı orta gerilim tarafı ise 20 Ω direnç üzerinden topraklanmıştır. Trafo merkezinin 4 adet fider çıkışı bulunmaktadır. Fider çıkışlarında 240 mm² tek damarlı XLPE yeraltı kablosu kullanılmıştır.

Kapasitif açma probleminin daha da anlaşılır olması adına trafo merkezi öncelikli olarak tamamen havai hat şeklinde modellenmiştir. Kullanılan hat yapılarının geometrik verisi Şekil 4 ile gösterilmiştir. Şekil 4'de görüldüğü gibi kablolar yerden bir metre derine aralında 70 mm mesafe olacak şekilde gömülmüştür.

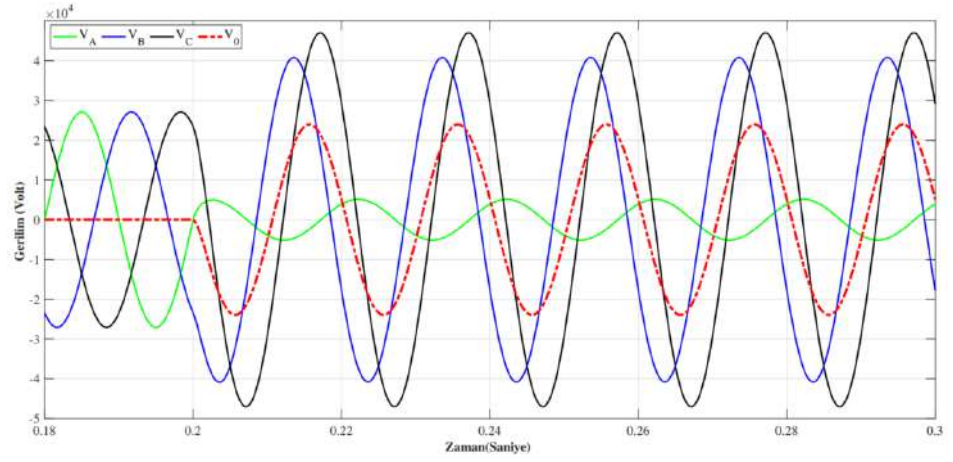


Şekil 4: Hat yapısının geometrik verisi a) havai hat b) yeraltı kablosu.

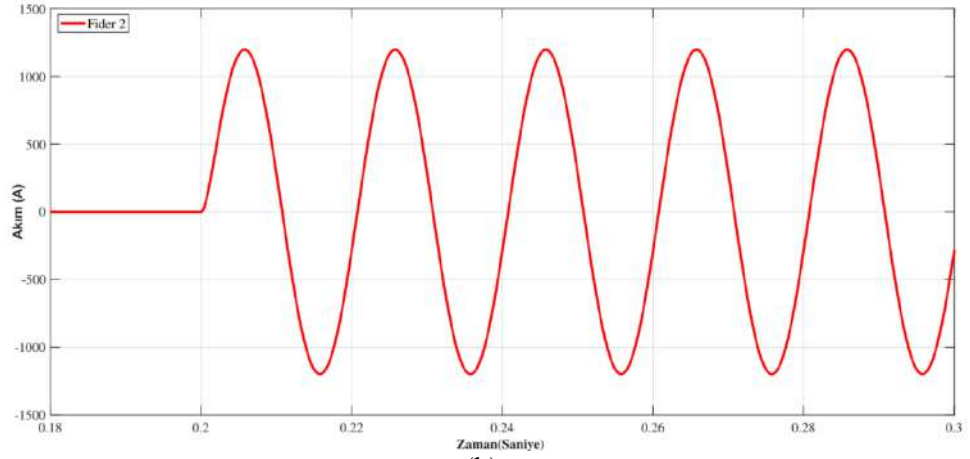
İkinci fiderin sonunda TFT arızası oluşturulmuş ve tüm röle noktalarından akım ve gerilim değerleri okunmuştur. Şebekenin tamamen havai hattan oluştuğu senaryo için hat başlarında bulunan dört röleye ait ortak baradaki gerilim değişimleri ve fider başlarında görülen sıfır sıra akımların değişimleri zaman domeyninde gösterilmiştir. Şekil 5'de görüldüğü gibi $t=0.2$ saniyede TFT arızası gerçekleşmiştir. TFT arızası ile birlikte arızalı fazın gerilimi düşerken sağlıklı fazların gerilim değerleri artmaktadır. Bu durum TFT arızasının en önemli tehlikelerinden birini oluşturmaktadır. Sağlıklı fazlarda artan bu gerilim sistemin izolasyon seviyesine bağlı olarak, izolasyonun yıprandığı bir noktada ikinci bir fazda TFT arızası oluşmasına sebebiyet verebilir. TFT arızasının gerçekleşmesi ile birlikte ortak barada V_0 gerilimi oluştuğu açıkça görülmektedir. V_0 gerilimi sistemde TFT arızası oluştuğu yönünde oldukça faydalı bir indikatör olmak ile birlikte arızanın hangi fiderde olduğu bilgisini vermemektedir. Sadece V_0 gerilim temelli bir koruma felsefesi uygulandığında tüm fiderlerde arıza tespit edilerek selektif olmadan tüm fiderler sistemden izole edilecektir.

Selektif koruma sağlamak için her bir fider başından I_0 akım bilgisi gerekmektedir. İkinci fiderde görülen I_0 akımının zamana göre değişimi Şekil 5.b ile gösterilmiştir. Yaklaşık 1000A peak değerinden yüksek genlikli I_0 akımı görülmüştür. Bu durumda arızalı fider kolayca tespit edilebilmektedir. Bununla birlikte, sağlıklı fiderlerde (Fider 1, Fider 3 ve Fider 4) TFT sırasında sistemde dolaşan kapasitif akımlardan dolayı I_0 akımı görüldüğü Şekil 5.c'den anlaşılmaktadır.

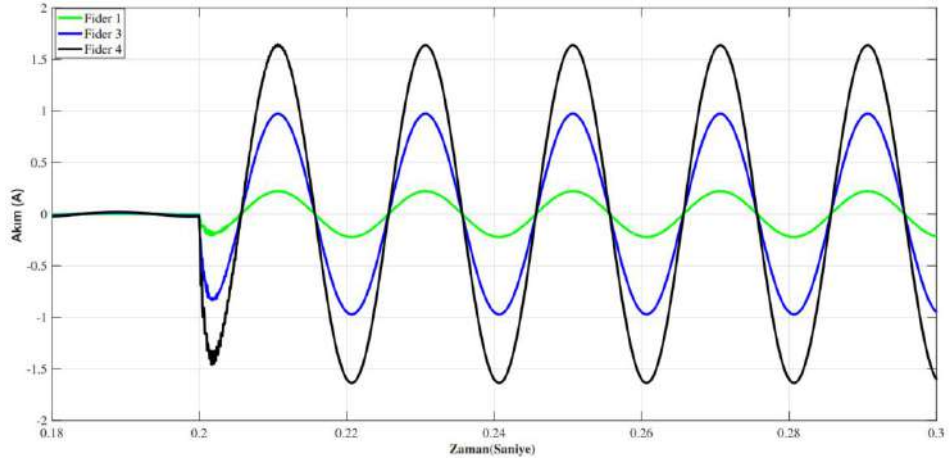
Şekil 5.c incelendiğinde, TFT arızasının oluşmasıyla birlikte tüm fiderlerde I_0 akımı oluşmaktadır. Oluşan I_0 akım değeri yaklaşık olarak 1.5 A-peak olarak elde edilmektedir. Toprak eşik akım değerinin yaklaşık olarak nominal yük akımının %20'sine set edildiği düşünüldüğünde; sağlıklı fiderde hatalı açmaya sebebiyet verecek genlik değeri havai hat senaryosu gözlemlenmemektedir.



(a)

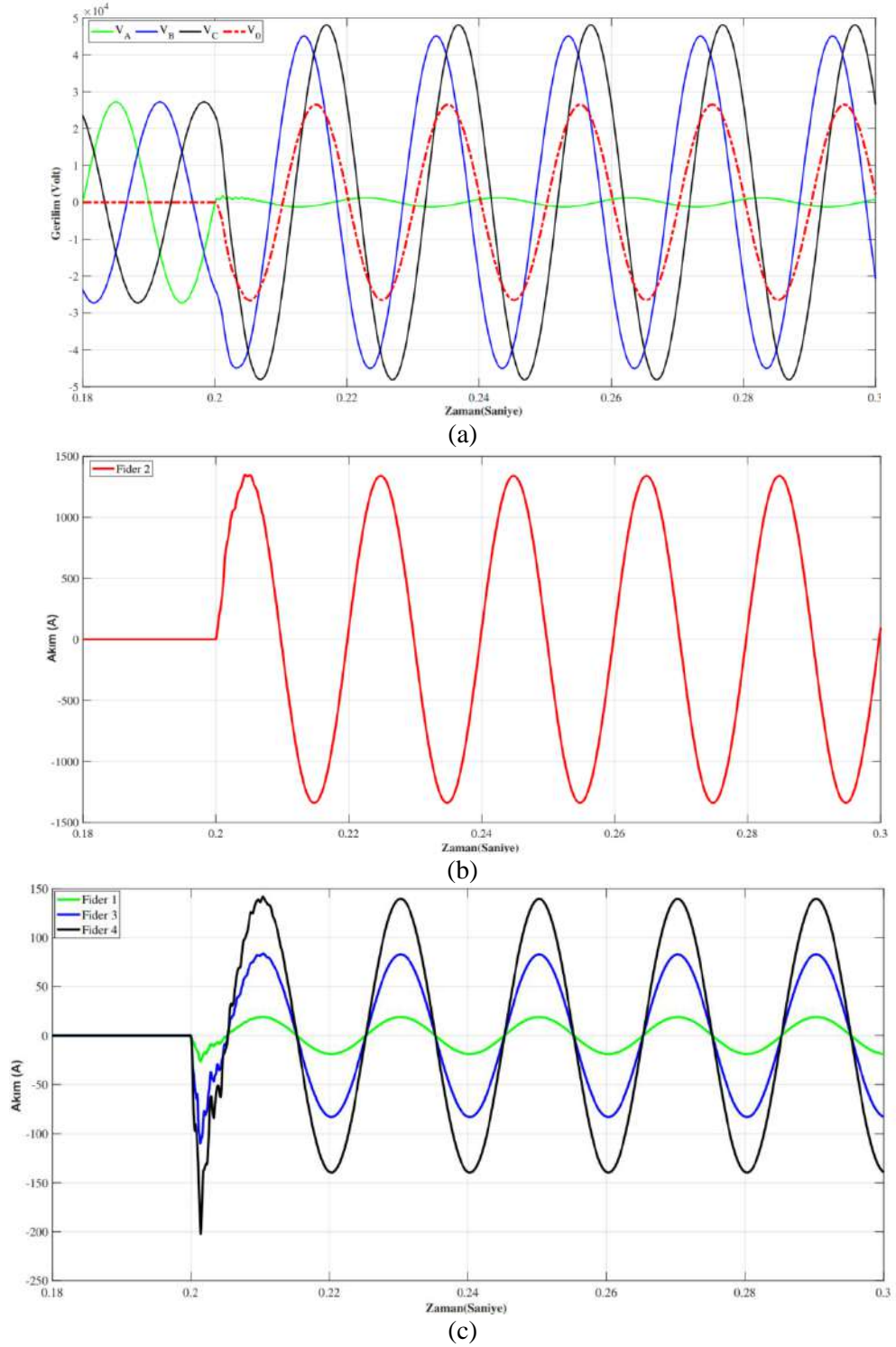


(b)



(c)

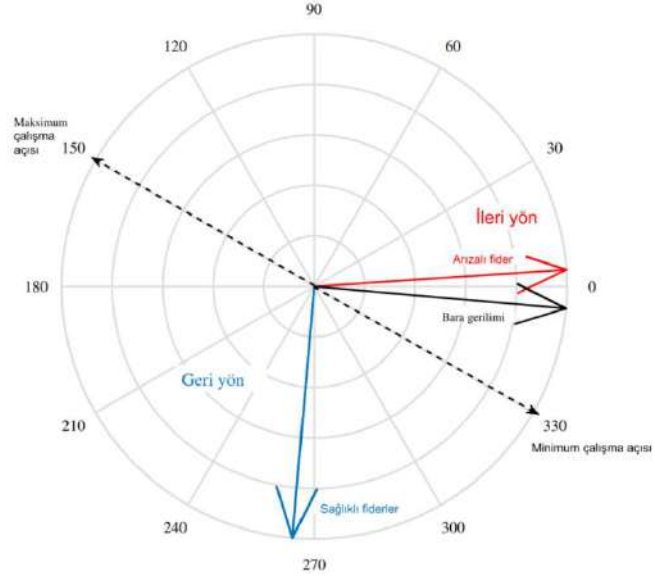
Şekil 5: Tamamen havai hat ile donatılmış şebekede TFT arızası sırasında akım ve gerilim değişimleri a) faz gerilimleri ve sıfır sıra bileşen b) arızalı fiderde görülen sıfır sıra akım c) sağlıklı fiderlerde görülen sıfır sıra akımlar



Şekil 6: Tamamen kablo ile donatılmış şebekede TFT arızası sırasında akım ve gerilim değişimleri a) faz gerilimleri ve sıfır sıra bileşen b) arızalı fiderde görülen sıfır sıra akım c) sağlıklı fiderlerde görülen sıfır sıra akımlar

62-baralı sisteminin tamamen 240 mm² tek damarlı XLPE yeraltı kablosu ile donatıldığı durumda TFT arızası sırasında ortak baradaki gerilim değişimleri ve fider başlarında görülen sıfır sıra akımların değişimleri zaman domeyninde Şekil 6 ile gösterilmiştir. Havai hat senaryosuna benzer olarak arızanın gerçekleştiği fiderde yüksek genlikli sıfır sıra akımı elde edilmiştir. Böylece arızalı fider kolayca tespit edilebilmektedir. Arızanın kolayca tespit edilmesine rağmen, sağlıklı fiderlerde sıfır sıra akım değişimleri incelendiğinde yüksek genlikli I₀ akım değerleri görülmektedir.

Bu durumda Fider 3 ve Fider 4; Fider 2 ile eş zamanlı olarak açma yapacaktır. Sonuç olarak arızalı bölgede olmamasına rağmen Fider 3 ve Fider 4 sistemden izole edilecektir. Kapasitif temelli hatalı açma probleminin çözümü olarak sunulan GPYE yönteminin 62-baralı radyal şebekeye uygulaması Şekil 7 ile gösterilmiştir. Şekil 7'de ikinci fiderde bulunan toprak rölesi çalışma bölgesinin içinde yer almaktadır. Bununla birlikte diğer röleler çalışma bölgesi dışında yer almaktadır. Böylece sağlıklı fiderlerde genlik değeri aşılsa dahi açma ile ikinci bir kontrol sağlanmıştır. Bu durumda sistemde sadece ikinci fider izole edilerek seçici koruma sağlanmıştır. Ayrıca yönlü koruma ile toprak eşik akım değerleri düşürülerek daha hassas koruma sağlanabilir. Fakat unutulmamalıdır ki bu yöntem oldukça maliyetli bir yöntemdir. Maliyetinin yanı sıra uygulamada uzmanlık isteyen bir koruma yöntemidir. Uygun olmayan MTA ayarı ile yönlü koruma yönsüz koruma gibi çalışabilir. Örneğin Şekil 7'de MTA ayarı ile birlikte çalışma bölgesi + 60° ile + 240° arasında olduğu durumda toprak eşik akım değerini aşan tüm röleler açma sinyali gönderecektir. Hat başında bulunan kesiciler aynı anda açma yaparak sistemin seçici korunmamasına neden olacaktır.



Şekil 7: 62-baralı radyal şebekede ikinci fiderde gerçekleşen TFT sonucu GPYE yönteminin sonuçları

SONUÇLAR: Bu çalışmada kabloların yoğun olarak kullanıldığı radyal dağıtım sistemlerinde kapasitif akım temelli hatalı açma problemi incelenmiştir. Problemin daha iyi kavranabilmesi adına 62-baralı radyal dağıtım sistemi tamamen kablolu sistem ve tamamen havai hatlı sistem olarak iki ayrı senaryoda modellenmiştir. TFT arızası sonucunda, açık bir şekilde kablo yoğun şebekede hatalı açma

problemi yaşanmıştır. Havai hat senaryosunda ise oldukça düşük şarj akımları ortaya çıktığı için herhangi bir hatalı açma problemi gözlenmemiştir. Dört fiderli radyal dağıtım sisteminde TFT arızası altında arızalı ve sağlıklı fiderlerlerin vektörel davranışları incelenmiştir. Hatalı açma probleminin giderilmesi noktasında bir çözüm yöntemi olan GPYE yöntemi kablolu sisteme uygulanmıştır. Böylece 62-baralı radyal dağıtım sistemi seçici bir şekilde korunmuştur. Ayrıca yönlü toprak aşırı akım rölelerinin uygun MTA ayarı yapılmaz ise yönsüz toprak aşırı akım rölesi şekilde çalıştığı gösterilmiştir.

Bu çalışma, modern dağıtım sistemlerindeki hatalı açma problemlerinin diğer sebeplerini de göz önüne alacak şekilde genişletilecektir. Özellikle dağıtıma gömülü üretim kaynakları ve paralel besleme hatlarının etkisi ileriki çalışmalarda incelenecektir. Farklı nötür topraklama pratiklerinin etkisi de ayrıca incelenecektir.

KAYNAKLAR

1. N. El-Sherif, "Ground-Fault Protection: All You Need To Know," in IEEE Transactions on Industry Applications, cilt. 53, no. 6, pp. 6047-6056, Nov.-Dec. 2017, doi: 10.1109/TIA.2017.2746558.
2. M. Loos, S. Werben, M. Kereit and J. Maun, "Fault direction method in compensated network using the zero sequence active energy signal," Eurocon 2013, 2013, pp. 717-723, doi: 10.1109/EUROCON.2013.6625062.
3. S.M. Tayebi and A. Kazemi, "A transient based protection scheme for fault direction discrimination in distribution networks," 2011 International Conference on Applied Superconductivity and Electromagnetic Devices, 2011, pp. 69-73, doi: 10.1109/ASEMD.2011.6145070.
4. Li, M. Gao, B. Liu, F. Gao and J. Chen, "Fault Location Algorithm in Distribution Networks Considering Distributed Capacitive Current," in IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 36, no. 5, pp. 2785-2793, Oct. 2021, doi: 10.1109/TPWRD.2020.3026835.
5. M.B. Atsever, O. Karacasu and M. H. Hocaoglu, "Optimal Overcurrent Relay Coordination in Distribution Networks," 2021 56th International Universities Power Eng. Conf.: (UPEC), 2021, pp. 1-6, doi: 10.1109/UPEC50034.2021.9548185
6. W.M. Strang et al., "Distribution line protection practices industry survey results," in IEEE Transactions on Power Delivery, cilt. 10, no. 1, pp. 176-186, Jan. 1995, doi: 10.1109/61.368400
7. IEEE Std C37.90-2005 (Revision of IEEE Std C37.90-1989): IEEE Standard for Relays and Relay Systems Associated with Electric Power Apparatus
8. Hosseini HS, Koochaki A, Hosseinian SH (2019) A novel scheme for current only directional overcurrent protection based on post-fault current phasor estimation. J Electr Eng Tech cilt 14(4):1517–1527.
9. S.M. Brahma and A.A. Girgis, "Development of adaptive protection scheme for distribution systems with high penetration of distributed generation," in IEEE Transactions on Power Delivery, cilt. 19, no. 1, pp. 56-63, Jan. 2004
10. A.N. Stefanidi, I.A. Panos, A.N. Milioudis and G.T. Andreou, "Sympathetic Tripping in a Field Case Study," 2018 53rd International Universities Power Engineering Conference (UPEC), Glasgow, 2018, pp. 1-5
11. H. Sabra, D.K. Ibrahim and M. Gilany, "Field experience with sympathetic tripping in distribution networks: problems and solutions," in The Journal of

Engineering, cilt. 2018, no.15, pp. 1181-1185, 10 2018.

12. D. Birla, R. P. Maheshwari and H. O. Gupta, "An Approach to Tackle the Threat of Sympathy Trips in Directional Overcurrent Relay Coordination," in IEEE Transactions on Power Delivery, cilt. 22, no. 2, pp. 851-858, April 2007, doi: 10.1109/TPWRD.2007.893587

13. Roberts, T. L. Stulo, A. Reyes, Sympathetic tripping problem analysis and solutions, SEL Technical Papers, 2002

14. L. P. S. Working Group D-3: Considerations in Choosing Directional Polarizing Methods for Ground Overcurrent Elements in Line Protection Applications. IEEE, College Station, TX (2014)

15. Atsever MB, Karacasu Ö, Hocaoglu MH. Determination of Proper Angle Settings in Resistance Grounded Distribution Systems for Directional Earth Fault Relays. Turk J Electr Power Energy Syst, 2021; 1(1): 26-32.

16. Atsever M.B., Karacasu Ö., Hocaoglu M.H., (2018), ‘‘Radyal Dağıtım Sistemlerinde Yönlü ve Yönsüz Koruma Performanslarının Tek Faz Toprak Arızası için Karşılaştırılması’’, ELOCO 2018, 20-24, Bursa, Türkiye, 30 Kasım-1 Aralık.

17. M.B. Atsever, Ö. Karacasu and M.H. Hocaoglu, "Determination of Proper Angle Settings for Resistance Grounded Distribution Systems for Directional Earth Fault Relays," 2020 12th International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ELECO), 2020, pp. 113-118, doi: 10.1109/ELECO51834.2020.00034.

18. Vaca, S., Fonseca, A., Chapi, F., Pérez-Yauli, F.: A new methodology for the analysis and optimal setting of directional polarisation methods for overcurrent elements in line protection applications. IET Gener. Transm. Distrib. 1–15 (2021). <https://doi.org/10.1049/gtd2.12334>

*Gebze Teknik Üniversitesi Kocaeli ve
İstanbul Ticaret Üniversitesi tomonidan taqdim etilgan.*