

## BİLEŞENLER FARKI YÖNTEMİ İLE ORTA GERİLİM (OG) ENERJİ DAĞITIM HATLARINDA ARIZA AKIMLARI ANALİZİ

Y. Aslan\*

Özet

Bu çalışmada, Bileşenler Farkı Yöntemi kullanılarak Orta Gerilim (OG) havai enerji dağıtım hatlarında oluşabilecek şönt arızaların analizi yapılmıştır. Dijital röle akım ve gerilim verileri kullanılarak arıza oluş zamanı, arıza tipi ve arıza noktasındaki arıza yol akımlarının hesaplanması gösterilmiştir. Arıza akımlarının hesaplanmasında, enerji dağıtım hattı sonuna bağlanabilecek başka bir kaynak, çeşitli yükler, bunların karakteristiklerinde meydana gelebilecek değişimler dikkate alınmıştır. Hesaplamalardan elde edilen sonuçlar, Electromagnetic Transients Simülasyon Programı (EMTP) kullanılarak gerçekleştirilen enerji dağıtım hattından okunan değerlerle karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar yöntemin enerji dağıtım hatlarında etkili bir şekilde kullanılabilirliğini göstermektedir.

### 1. Giriş

Orta gerilim (OG) havai enerji dağıtım hatları, elektrik enerjisinin üretim merkezlerinden tüketicilere ulaştırılmasında önemli bir işleve sahiptirler. OG hatları, ana hat ve bu hatta bağlı tali hatlardan meydana geldikleri için enerji iletim hatlarına göre daha çok karmaşık bir yapıya sahiptir. Dağıtım hatlarının sonunda kojenerasyon bulunması, hattan çekilen enerjinin günün belli saatlerine göre değişiklik göstermesi, hat konfigürasyonunun ana ve tali hatlar için farklı olması arıza akımlarının hesaplanmasını daha da karmaşık hale getirmektedir [1].

Dağıtım hatlarında meydana gelen arızalar şönt ve açık devre olmak üzere ikiye ayrılmaktadırlar. Açık devre arızalar, hattın kopması sonucunda meydana gelirler. Şönt arızalar ise faz-toprak, faz-faz ve faz-faz-toprak kısa devre sonucu oluşurlar. Bu hatlarda yapılan ölçümler şönt arızaların 2-3 günde bir meydana geldiğini göstermektedir. Şönt arızaların yaklaşık olarak %75'ini faz-toprak arızaları oluşturmaktadır [2].

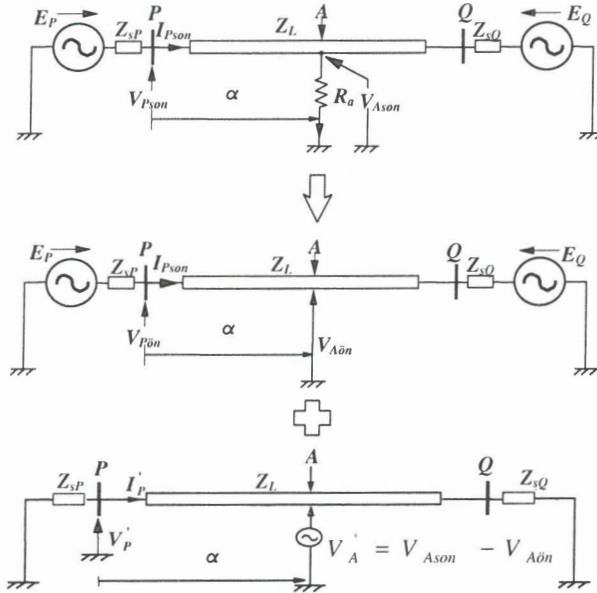
Bir arıza meydana geldiğinde, hatlarda kesici devreyi açar ve zaman gecikmesi ile kapatır. Eğer arıza bu işlemle temizlenirse sistem normal çalışmasına devam eder. Arızanın sürmesi durumunda birkaç kez yapılan açma-kapama işleminden sonra kesici devreyi açar ve arıza giderilene kadar kilitler. Meydana gelen arızalar 30-50 milisaniyeden kısa süreli ise herhangi bir devre kesici operasyonuna yol açmazlar [3].

Anahtar Kelimeler: Enerji Dağıtım Hatları, Arıza Akımları, Arıza Tipi, Bileşenler Farkı

OG dağıtım hatlarında, gerilim regülasyonu ve güç kompanzasyonu için kapasitörlerin kullanımı ve harmonik üreten doğrusal olmayan yüklerin varlığı rezonansa sebep olabilir. Buna bağlı olarak akım ve gerilim dalga şekilleri bozulabilir. Dağıtım sisteminin otomasyonunda bu faktörlerin göz önünde tutulması gerekir [3,4]. Bu çalışmada, bu faktörler dikkate alınarak şönt arıza tipleri ve akımları analiz edilmektedir.

## 2. Bileşenler Farkı Yöntemi

Arıza akımlarının hesaplanmasında kullanılan yöntemi daha iyi açıklayabilmek için Şekil 1'deki tek hat dağıtım hattı modeli çizilmiştir. Bu modelde hat sonunda bulunması olası kojenerasyon kaynak da dikkate alınmıştır. Dağıtım sistemini sadeleştirmek için modelde tali hatlar ve yükler ihmal edilmiştir. Arızalı dağıtım sistemine süperpozisyon prensibi uygulanmış ve *arıza öncesi bileşenler* ile kaynakların kısa devre edildiği *bileşenler farkı* devresi olmak üzere iki devreye ayrıştırılmıştır. Şekilde,  $A$  arıza noktasını,  $\alpha$  arıza noktasının  $P$  ucuna uzaklığını,  $Z_L$  hat empedansını,  $R_a$  omik arıza direncini,  $Z_{sP}$   $P$  ucu;  $Z_{sQ}$  ise  $Q$  ucu kaynak empedanslarını göstermektedir. Arıza akımları hesabında, bileşenler farkı kullanılarak, arıza öncesi yük akımlarından kaynaklanan hatalar yok edilmiştir [5,6,7,8].



Şekil 1 Arızalı sistem modelinin arıza öncesi ve bileşenler farkı devrelerine ayrıştırılması

Ölçümler tek noktadan ( $P$  ucundan) yapılarak akım ve gerilim fazörleri elde edilmektedir. Burada  $V_{Pön}$  ve  $I_{Pön}$   $P$  ucundan kaydedilen arıza öncesi gerilim ve akım

fazörleri,  $V_{Pson}$  ve  $I_{Pson}$  ise arıza sırasında kaydedilen (kesici operasyonundan hemen önce) gerilim ve akım fazörleridir.  $P$  ucundaki gerilim ve akım farkı  $V_p'$  ve  $I_p'$  ise;

$$V_p' = V_{Pson} - V_{Pön} \quad (1)$$

ve

$$I_p' = I_{Pson} - I_{Pön} \quad (2)$$

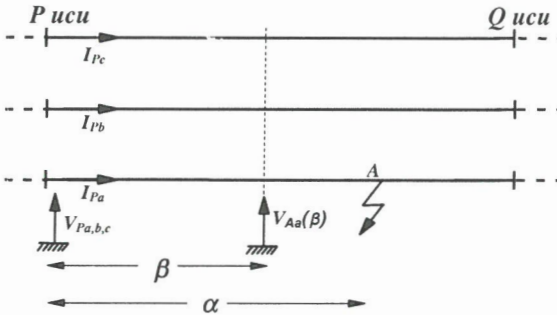
olarak hesaplanabilir. Şekil 1.deki bileşenler farkı modelinde arıza noktası  $A'$  da, gerilimler farkı  $V_A'$  ;

$$V_A' = V_{Ason} - V_{Aön} \quad (3)$$

şeklinde hesaplanabilir. Burada,  $V_{Ason}$  ; arıza noktasındaki arıza sonrası,  $V_{Aön}$  ise; arıza öncesi gerilim fazörlerini göstermektedir. Bulunan  $V_A'$  gerilimi bileşen farkı modeline arıza noktası  $A'$ ya uygulandığında örneğin faz 'a'-toprak arızası için,  $I_{A(b,c)}$  değerleri sıfır veya sıfıra yakın değer alırken, arızalı 'a' fazına ait  $I_{A(a)}$  değeri arıza akımını göstermektedir. Bu bölümde yöntemin arıza öncesi ve sonrası elde edilen akım ve gerilim fazörleri kullanılarak üç fazlı hat modeline uygulanması, yük ve kaynağın modellenmesi, akım ve gerilim fazörlerinin elde edilmiş biçimleri ayrı ayrı açıklanmaktadır.

## 2.1 Yöntemin 3 Fazlı Dağıtım Hattına Uygulanması

Şekil 2'de tali hat ve yüklerin ihmal edildiği bir dağıtım hattının modeli verilmiştir. Burada  $A$  arıza noktasını,  $\alpha$  arıza noktasının  $P$  ucuna uzaklığı,  $\beta$  varsayılan arıza noktasının  $P$  ucuna mesafesini (kilometre)  $I_{Pa,b,c}$  ve  $V_{Pa,b,c}$  sırasıyla  $P$  ucundan kaydedilen akım ve gerilim fazörlerini göstermektedir.



Şekil 2 Üç fazlı arızalı (faz 'a'-toprak) dağıtım hattı modeli

Arıza anında,  $P$  ucunda kaydedilen akım ve gerilim örnekleri kullanılarak  $\beta$  'daki arıza öncesi gerilim;

$$V_{Aa,b,c(\text{ön})}(\beta) = -\beta[Z_{abc}]I_{Pa,b,c(\text{ön})} + V_{Pa,b,c(\text{ön})} \quad (4)$$

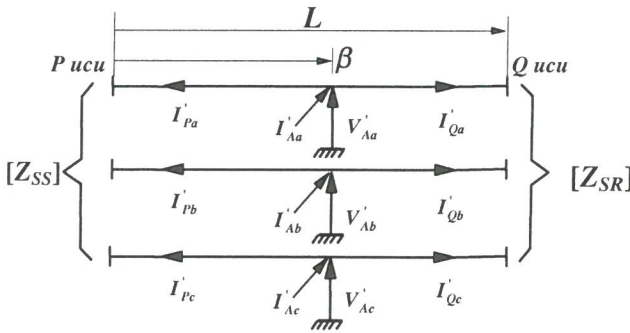
şeklinde bulunabilir. Burada  $V_{Aa,b,c(\text{ön})}(\beta)$ ;  $\beta$  noktasındaki arıza öncesi gerilim fazörlerini,  $[Z_{abc}]$  hat birim empedans matrisini (ohm/kilometre),  $V_{Pa,b,c(\text{ön})}$  ve  $I_{Pa,b,c(\text{ön})}$ , sırasıyla hat başında kaydedilen arıza öncesi akım ve gerilimin fazörlerini göstermektedir. Benzer şekilde  $\beta$ 'daki arıza anındaki gerilim;

$$V_{Aa,b,c(\text{son})}(\beta) = -\beta[Z_{abc}]I_{Pa,b,c(\text{son})} + V_{Pa,b,c(\text{son})} \quad (5)$$

olarak bulunabilir. Burada  $V_{Aa,b,c(\text{son})}$  ve  $I_{Pa,b,c(\text{son})}$  sırasıyla  $P$  ucunda arıza anında (kesici açmadan hemen önce) kaydedilen gerilim ve akım fazörlerini göstermektedir.  $\beta$  noktasında hatta uygulanacak gerilimler farkı  $V'_{Aa,b,c}$  ;

$$V'_{Aa,b,c}(\beta) = V_{Aa,b,c(\text{son})}(\beta) - V_{Aa,b,c(\text{ön})}(\beta) \quad (6)$$

eşitliği ile bulunabilir. Şekil 3'te arıza noktasına gerilim farklarının uygulanması gösterilmiştir. Burada  $V'_{Aa,b,c}$  varsayılan arıza noktası  $\beta$ 'ya uygulanan gerilim farklarını,  $I'_{Aa,b,c}$  bu noktadaki fark akımlarını,  $I'_{Pa,b,c}$  bu noktadan  $P$  ucuna akan fark akımlarını,  $I'_{Qa,b,c}$  ise bu noktadan  $Q$  ucuna akan fark akımlarını göstermektedir.



Şekil 3 Hatta gerilim farklarının uygulanması

$\beta$  noktasından  $P$  ucuna akan akım farkı  $I'_{Pa,b,c}$  ;

$$I'_{Pa,b,c} = I_{Pa,b,c(\text{son})} - I_{Pa,b,c(\text{ön})} \quad (7)$$

ve  $Q$  ucuna akan akım farkı  $I'_{Qa,b,c}$  ise;

$$I'_{Qa,b,c} = [(L - \beta)[Z_{abc}] + [Z_{SR}]]^{-1} [V'_{Aa,b,c}(\beta)] \quad (8)$$

şeklinde bulunur. Burada,  $L$  kilometre olarak hattın uzunluğunu ve  $[Z_{SR}]$  hat sonu kaynak empedans matrisini göstermektedir.  $\beta$  noktasındaki arıza yol akımları;

$$I'_{Aa,b,c} = I'_{Pa,b,c} + I'_{Qa,b,c} \quad (9)$$

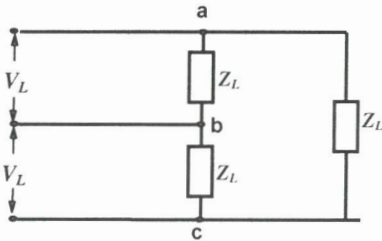
olarak yazılabilir. Geliştirilen yöntemde  $\beta$  arıza noktası sistematik olarak kaydırılarak  $I'_{Aa,b,c}$  değerleri kontrol edilmektedir.

## 2.2. Yükler ve Kaynağın Modellenmesi

Sistemde kullanılan yükler statik olarak modellenmiştir. Şekil 4'te  $M$  gücünde,  $0.95$  geri güç katsayılı üç fazlı bir yükün modellenmesi gösterilmiştir. Şekildeki  $Z_L$ ; yükü  $V_L$  gerilimi ile besleyen üçgen bağlı bir transformatörün primer tarafına göre empedansını göstermektedir.  $Z_L$  empedansı,

$$Z_L = \left( \frac{3|V_L|^2}{M} \right) \angle \cos^{-1} 0.95 \quad (10)$$

olarak yazılabilir.



Şekil 4 Üç fazlı, üçgen bağlı yük modeli

Yük empedansının hesaplanmasında, yük kapasitesinde günün çeşitli saatlerinde meydana gelen değişmelerin dikkate alınması gerekir.  $P$  ucundan yüklere aktarılan aktif güç  $P_p$ ,

$$P_p = \sqrt{3} |V_p| |I_p| \cos \phi \quad (11)$$

olarak bulunabilir. Burada  $|V_P|$  ve  $|I_P|$  sırasıyla  $P$  ucundan ölçülen gerilim ve akımın etkin değerlerini  $\phi$  ise aralarındaki açıyı göstermektedir. Dağıtım hattına bağlı aynı güç katsayısına sahip  $M_1, M_2, \dots, M_n$  yüklerinin toplam güçleri ise;

$$P_{L_{\max}} = (M_1 + M_2 + \dots + M_n) \cos \phi \quad (12)$$

şeklinde hesaplanır. Hat kayıpları ihmal edildiğinde yük seviyesi;

$$L_L = P_P / P_{L_{\max}} \quad (13)$$

olarak bulunabilir.  $M_1$  gücünde bir fazlı bir transformatörün yük seviyesi  $L_L$  dikkate alınarak empedansı  $Z_L$  aşağıdaki eşitlikten bulunabilir.

$$Z_L = (|V_L|^2 / L_L M_1) \angle \cos^{-1} 0.95 \quad (14)$$

Şekil 4'te görülen üç fazlı, üçgen bağlı yüke  $V_{a,b,c}$  gerilimleri uygulandığında çekeceği  $I_{a,b,c}$  akımları yükün fazlar arası admittans matrisi çekilerek aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{ab} + Y_{ca} & -Y_{ab} & -Y_{ca} \\ -Y_{ab} & Y_{ab} + Y_{bc} & -Y_{bc} \\ -Y_{ca} & -Y_{bc} & Y_{bc} + Y_{ca} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} \quad (15)$$

Eşitlik (15)'ten  $[Y_L]$  yük admittans matrisi  $Y_{ab}=Y_{bc}=Y_{ca}=Y_L$  için,

$$[Y_{Labc}] = \frac{1}{Z_L} \begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \\ -1 & -1 & 2 \end{bmatrix} \quad (16)$$

olarak elde edilir.

Bazı ülkelerde sadece iki faz arasına bağlanan dağıtım transformatörleri kullanılmaktadır. Bu durumda örneğin transformatörün 'a' ve 'b' fazları arasına bağlanması durumunda, Şekil 4'teki bağlantıda, 'a'-'c' ve 'b'-'c' fazları arası açık devre olarak değerlendirilir. Burada yük admittans matrisi  $[Y_L]$ ;

$$[Y_{Lab}] = \frac{1}{Z_L} \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 \\ -1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (17)$$

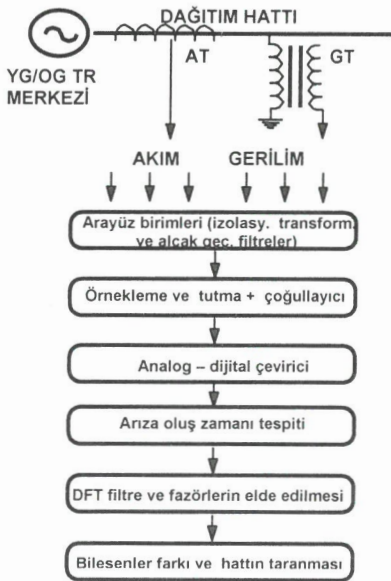
olarak kullanılır. Hat sonuna bir kojenerasyon kaynağın bağlı olması durumunda, hat sonu kaynak admittans matrisi  $[Y_{SR}]$ , simetrik kısa devre seviyesi ve  $Z_{s0}/Z_{s1}$  oranına göre yazılır.

$$[Y_{SR}] = 3 \begin{bmatrix} 2Z_{s1} & -Z_{s0} & Z_{s0} & -Z_{s1} & Z_{s0} & -Z_{s1} \\ Z_{s0} & -Z_{s1} & 2Z_{s1} & -Z_{s0} & Z_{s0} & -Z_{s1} \\ Z_{s0} & -Z_{s1} & Z_{s0} & -Z_{s1} & 2Z_{s1} & -Z_{s0} \end{bmatrix}^{-1} \quad (18)$$

Bu eşitlikte;  $Z_{s0}$  kaynak empedansının pozitif sıra değerini,  $Z_{s1}$  ise negatif sıra değerini göstermektedir.

### 2.3 Akım ve Gerilim Fazörlerinin Elde Edilmesi

Geliştirilen metot, ölçüm yapılan baradan alınan akım ve gerilim işaretlerinden elde edilecek fazörler ile çalışacak şekilde tasarlanmıştır. Şekil 5'te dijital arıza kaydedici (DAK) blok diyagramı verilmektedir. Akım ve gerilim transformatörlerinden (AT ve GT) elde edilen altı analog işaret mikroişlemci tabanlı donanım sayesinde devamlı olarak kaydedilmektedir. Bu aşamada analog-dijital çevirici (ADC) analog işaretleri ayrık zamanlı değerlere dönüştürülmektedir. Arıza anında, DAK tarafından kaydedilen (3 periyotluk arıza öncesi ve 3 periyotluk arıza sonrası) akım ve gerilim bilgileri kullanılarak arıza oluş zamanı, arıza tipi ve arıza yol akımları hesaplanmaktadır.



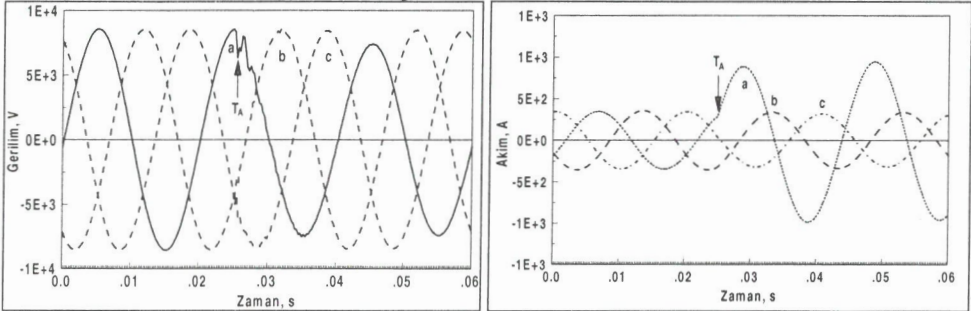
Şekil 5 Akım ve gerilim fazörlerinin elde edilmesi

### 2.3.1 Arıza Oluş Zamanı Tespiti ve Arayüz Hataları

OG hattının bağlı olduğu dağıtım istasyonundaki DAK, akım ve gerilim sensörlerini kullanarak akım ve gerilim değerlerini sürekli kaydetmektedir. DAK'deki buffer 10 periyotluk bilgiyi sürekli olarak muhafaza etmektedir. Arıza oluş zamanının tespiti için bir periyotluk akım örnekleri sürekli olarak bir önceki periyottaki akım örnekleri ile karşılaştırılmaktadır. Ardışık iki periyottaki karşılıklı üç akım örneği için değişim %40 ve daha fazla ise aynı işlem gerilim örneklerine de uygulanmakta ve arıza oluş zamanı belirlenmektedir. Yöntemin bilgisayar ortamında tasarlanmasına rağmen uygulamada AT ve GT'lerin frekans tepkileri ile analog arayüz birimlerinden kaynaklanan hatalar, antialiasing filtrelerinin tepkileri ile analog-dijital çevrimden kaynaklanan kuantalama hataları bu birimlerin modelleri simülasyona dahil edilmek suretiyle dikkate alınmıştır [9]. EMTP'den elde edilen akım ve gerilim verileri ayrıca 12-bit çözünürlükte (4 kHz de) örneklenmiştir. Böylece elde edilecek sonuçların daha gerçekçi olması sağlanmıştır.

### 2.3.2 DFT Filtre

Şekil 6'da tipik bir enerji dağıtım sisteminde faz 'a'-toprak arızası için elde edilen gerilim ve akım dalga şekilleri görülmektedir. Şekillerden görüleceği gibi arıza sonrası gerilim dalgası yüksek frekanslı bileşenler tarafından bozulmaya uğrarken akım dalgasında doğru akım kayma (DC offset) daha çok ön plana çıkmaktadır. Bu nedenle arıza akımlarının hesaplanmasında daha yüksek doğruluk sağlanabilmesi için arıza sonrası akım ve gerilim dalga şekillerinden, güç frekansındaki akım ve gerilim fazörlerinin çıkarılması gerekir.



(a)

(b)

**Şekil 6** Faz 'a'-toprak arızası için dağıtım sisteminden alınan tipik gerilim ve akım dalga şekilleri ( $T_A =$  Arıza oluş zamanı).

Ayrık Fourier Dönüşümünün (DFT) akım ve gerilim örneklerine uygulanması ile yapılan filtreleme ile yüksek frekanslı bileşenler bloke edilmekte ve eğrilerdeki doğru akım kayma zayıflamaktadır [10].



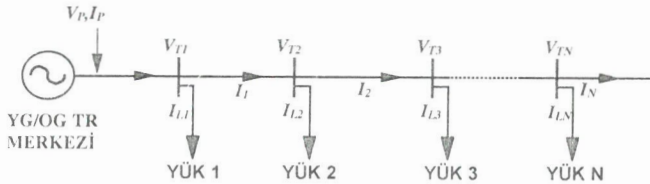
Bir periyotluk bilgiye dayanan genel DFT eşitliği kullanılarak  $X_{v,i}(\omega)$  fazörünün büyüklüğü ve açısı (19)'dan bulunmaktadır.

$$X_{v,i}(\omega) = \left( \frac{2}{N} \right) \sum_{n=0}^{n=N-1} [X_{v,i}(n) \{ \cos(\omega n \Delta t) - j \sin(\omega n \Delta t) \}] \quad (19)$$

Eşitlik (19)'da;  $N$  bir periyottaki örnek sayısı,  $\Delta t$  örnekleme zamanını,  $\omega$  elde edilecek fazörün frekansını,  $X_{v,i}(n)$ , örneklenmiş akım ve gerilim değerlerini göstermektedir.

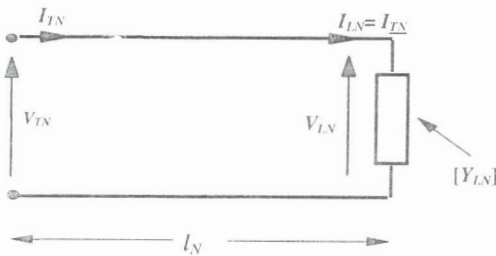
#### 2.4 Admittans Matrislerinin Elde Edilmesi

Şekil 7'de bir radyal enerji dağıtım hattı ve bu hatta bağlı tali hatlar görülmektedir. Burada  $V_p$  ve  $I_p$  hat başından elde edilen akım ve gerilim fazörlerini,  $V_{TN}$   $N$ . tali hat bağlantı noktasındaki gerilimi,  $I_{LN}$   $N$ . yükün akımını,  $I_N$  ise ana hattın  $N$ . kısmından akan akımı göstermektedir. Enerji dağıtım hattında bir arıza meydana geldiğinde varsayılan arıza noktasından hattın her iki ucuna doğru görülen empedansların hesaplanması gerekir. Bu aşamada hatta bağlanması olası kojenerasyon



Şekil 7 Radyal enerji dağıtım hattı

kaynakta dikkate alınmalıdır. Şekil 8'de ise Şekil 7'de gösterilen dağıtım hattına bağlı bir tali hat görülmektedir. Burada,  $V_{LN}$ ;  $N$  tali hattına bağlı yükün gerilimini,  $I_{LN}$  akımını,  $[Y_{LN}]$  bu yüke ait admittans matrisini,  $l_N$  ise tali hattın uzunluğunu göstermektedir.



Şekil 8 Tali hat

Tali hattın ana hatta bağlandığı noktadaki  $V_{TN}$  gerilimi;



Burada  $l_i$ ;  $i$  tali hattının uzunluğunu,  $l_{ij}$ ;  $i$  ve  $j$  bağlantı noktaları arasındaki ana hat parçasının uzunluğunu,  $L_i$ ;  $i$ . yükü,  $[Y_{SS}]$ ;  $P$  ucu kaynak admittans matrisini,  $[Y_{SR}]$ ;  $Q$  ucu kaynak admittans matrisini göstermektedir. 4 nolu noktadan  $Q$  ucuna doğru görülen eşdeğer admittans  $[Y_{4S}]$ ,

$$[Y_{4S}] = [Y_{E4}] + [Y_{45}] \quad (25)$$

şeklinde dir. Burada 4 numaralı tali hat eşdeğer admittans matrisi  $[Y_{E4}]$  ve 4 numaralı bağlantı noktasından  $Q$  ucuna göre tali hat hariç eşdeğer admittans matrisi  $[Y_{E45}]$ 'in hesaplanması sırasıyla (26) ve (27)'de gösterilmiştir.

$$[Y_{E4}] = [Y_{L4}][U + l_4[Z][Y_{L4}]]^{-1} \quad (26)$$

ve

$$[Y_{E45}] = [Y_{SR}][U + l_45[Z][Y_{SR}]]^{-1} \quad (27)$$

Eşitlik (26),  $[Y_{L4}]$ ,  $L_4$  yükünün admittans matrisini,  $[Z]$  hat empedans matrisini,  $U$  ise birim matrisi göstermektedir. Arıza noktası 'A' dan  $Q$  ucuna göre eşdeğer admittans  $[Y_{ER}]$ ;

$$[Y_{ER}] = [Y_{4S}][U + l_{4A}[Z][Y_{4S}]]^{-1} \quad (28)$$

olarak yazılabilir. Burada  $l_{4A}$ , arıza noktası  $A$  ile 4 nolu bağlantı noktası arasındaki mesafedir.

Arıza noktası 'A' dan  $P$  ucuna bakan admittans  $[Y_{ES}]$ 'in bulunabilmesi için önce 1 numaralı bağlantı noktasından  $P$  ucuna bakan eşdeğer admittans  $[Y_{1S}]$ 'in aşağıdaki gibi hesaplanması gerekir.

$$[Y_{1S}] = [Y_{E1}] + [Y_{01}] \quad (29)$$

Buradaki  $[Y_{E1}]$  ve  $[Y_{01}]$  matrislerinin değerleri (30) ve (31) eşitliklerinde verilmiştir.

$$[Y_{E1}] = [Y_{L1}][U + l_1[Z][Y_{L1}]]^{-1} \quad (30)$$

$$[Y_{01}] = [Y_{SS}][U + l_{01}[Z][Y_{SS}]]^{-1} \quad (31)$$

2 nolu bağlantı noktasından  $P$  ucuna göre eşdeğer admittans  $[Y_{2S}]$ ;

$$[Y_{2S}] = [Y_{E2}] + [Y_{21}] \quad (32)$$

ve benzeri şekilde 3 nolu bağlantı noktasından  $P$  ucuna göre eşdeğer admittans  $[Y_{3S}]$ ;

$$[Y_{3S}] = [Y_{E3}] + [Y_{23}] \quad (33)$$

olarak yazılabilir. Eşitlik (32) ve (33)'teki  $[Y_{E2}]$ ,  $[Y_{12}]$ ,  $[Y_{E3}]$ ,  $[Y_{23}]$ , matrisleri (30) ve (31) eşitliklerine benzerdir.

Arıza noktası 'A' dan  $P$  ucuna göre eşdeğer admittans  $[Y_{ES}]$ ;

$$[Y_{ES}] = [Y_{3S}] [U + I_{3A} [Z] [Y_{3S}]]^{-1} \quad (34)$$

olarak bulunur. Burada  $I_{3A}$  arıza noktası A ile 3. bağlantı noktası arasındaki mesafeyi göstermektedir.

### 2.5 Gerilim ve Akımların Hesaplanması

Şekil 7'deki enerji dağıtım hattının herhangi bir noktasında meydana gelebilecek arızada, arıza akımlarının hesaplanabilmesi için; o noktada arıza öncesi ve sonrası akım ve gerilim değerlerinin hesaplanması gerekir.  $P$  ucundaki transformatör merkezinde kaydedilen akım ve gerilim örnekleri kullanılarak varsayılan arıza noktasında arıza öncesi ve sonrası gerilim ve akımlar sırasıyla (35) ve (36) dan bulunabilir [11].

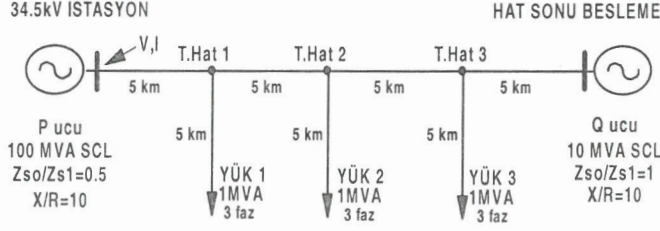
$$[V_{TN}] = [V_P] - \sum_{j=1}^n [Z_{ij}] [I_{ij}] \quad (35)$$

$$[I_{ij}] = [I_P] - \sum_{k=1}^{j-1} [I_{Lk}] \quad (36)$$

Burada  $V_P$ ,  $P$  ucundaki gerilimin fazörlerini,  $V_{TN}$ ;  $N$ . bağlantı noktasındaki gerilimi,  $[Z_{ij}]$   $i$  ile  $j$  bağlantı noktaları arasındaki hattin empedans matrisini,  $I_P$ ,  $P$  ucunda kaydedilen akım fazörlerini  $I_{Lk}$ , hesaplanan  $k$  yükü akımını göstermektedir.

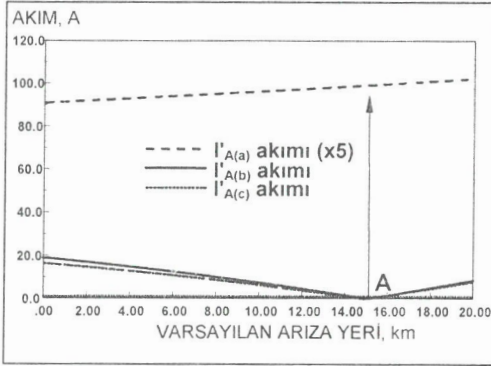
### 3. Örnek Problem Çözümü

Şekil 10'da görülen enerji dağıtım hattı EMTP simülasyon paketi kullanılarak modellenmiştir. Dağıtım hattı radyal olmasına rağmen, hat sonunda bulunması olası kojenerasyon kaynakta dikkate alınmıştır. Dağıtım hattında ana hat empedansı  $Z=0.18+j0.34 \Omega/\text{km}$ , tali hat empedansı ise  $Z_T=0.54+j0.38 \Omega/\text{km}$  olarak alınmıştır.



Şekil 10 EMTP OG dağıtım hattı modeli

Modellenen sistemde  $P$  ucundan 15 km uzaklıkta faz 'a'-toprak arızası oluşturulmuştur. Bu uçtan kaydedilen arıza öncesi ve sonrası akım ve gerilim örnekleri kullanılarak varsayılan arıza noktalarında (50 m aralıklarla) hesaplanan  $I'_{A(a,b,c)}$  arıza yol akımlarının değişimleri Şekil 11(a)'da verilmiştir.



(a)

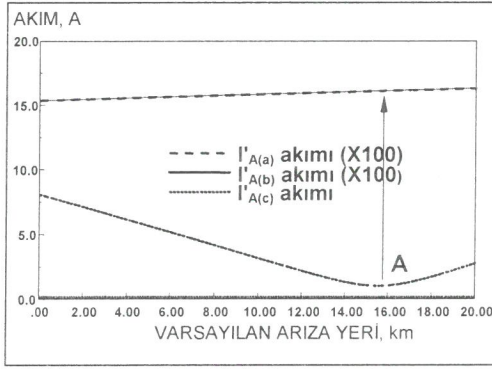
(b)

Şekil 11 Faz 'a'-toprak arızası, (a)  $R_A=2\Omega$ , (b)  $R_A=50\Omega$ .

Şekilden görüldüğü gibi faz 'a'-toprak arızası için, 'a' fazına ait arıza yol akımı (a fazından toprağa akan akım)  $I'_{A(a)}$  gerçek arıza noktası A'da yüksek bir değer alırken, arızasız 'b' ve 'c' fazları yol akımları (b ve c fazlarından toprağa akan akımlar)  $I'_{A(b,c)}$  sifıra yakın değerler almıştır. Bu noktadan sonra gerilimler farkı uygulanan noktalarda arıza yol akımları gerçek değerden uzaklaşmakta ve artmaktadır. Bu artışın diğer bir nedeni hat sonuna yaklaşıldıkça hat sonu kaynağın varlığından dolayı empedansın azalmasıdır.

Şekil 11(b)'de arıza direnci  $R_a=50\Omega$  için arıza yol akımları değişimi verilmiştir. Burada arıza direncinden dolayı varsayılan arıza noktalarında arıza yol akımları önemli ölçüde düşmüştür. Bu durumda arayüz ve örneklemeden kaynaklanan

hataların etkilerinin artmasına rağmen gerçek arıza noktası  $A$ 'da arızalı 'a' fazının aldığı yüksek değer büyük hassasiyetle hesaplanmaktadır. Şekil 12(a)'da faz 'a'-'b' arızası için arıza yol akımlarının değişimi görülmektedir. Arızasız 'c' fazı fark akımı  $I'_{A(c)}$  arıza noktası 'A' da sıfıra yakın değer alırken 'b' ve 'c' fazlarına ait  $I'_{A(b,c)}$  arıza yol akımları eşit ve yüksek değerler almıştır.



(a)

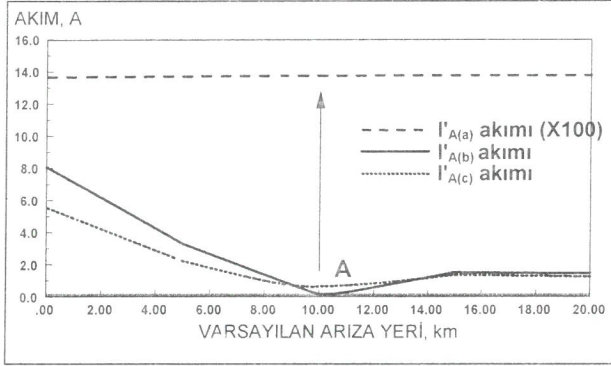
(b)

Şekil 12 Arıza yol akımları değişimi; (a) Faz 'a'-'b' arızası; (b) Faz 'a'-'b'-toprak arızası ( $R_A=2\Omega$ ).

Bu arıza tipinde, faz-faz arızasının en belirgin özelliği olarak arızalı fazlar eşit ve zıt değerler almaktadır. Fakat hesaplamalardan elde edilen arızalı fazların yol akımları eşit ve zıt yönlü olduğu halde şekilde sadece büyüklük olarak gösterilmiştir.

Şekil 12(b)'de ise faz 'a'-'b'-toprak arızası için arıza yol akımlarının değişimi görülmektedir. Şekilden görüldüğü üzere arıza noktası 'A' da 'a' fazından toprağa akan  $I'_{A(a)}$  ve 'b' fazından toprağa akan  $I'_{A(b)}$  akımı birbirinden farklı ve yüksek değerler almışlardır. Arızasız 'c' fazı arıza yol akımı  $I'_{A(c)}$  ise A noktasında sıfıra yakın değer almıştır. Faz-faz-toprak arızasının en belirgin özelliği, arızalı fazlara ait arıza yol akımlarının birbirine yakın ve yüksek değer almaları şeklinde ortaya çıkmaktadır. Toprak direnci yükseldikçe bu arıza faz-faz arızasına benzemekte ve buna bağlı olarak arızalı faz akımları birbirine yaklaşık olarak eşit ve zıt olmaktadır.

Şekil 10'da görülen dağıtım sisteminde  $Q$  ucunun açık olması durumunda 10. km de oluşturulan faz 'a'-toprak arızası için arıza yol akımlarının değişimi Şekil 13'te verilmiştir. Hat sonu beslemesi olmamasından dolayı 15.km den sonra sağlam fazlara ait  $I'_{A(b,c)}$  akımları sabit kalmıştır.



Şekil 13 Faz 'a'-toprak arızası ( $R_A=2\Omega$ , hat sonu açık).

Ayrıca hatta bağlı yük kapasitelerinin düşüklüğünden dolayı sağlam fazlara ait arıza yol akımları varsayılan arıza noktalarında düşük değerler almaktadır.

Şekil 10.da 15.km de oluşturulan çeşitli arıza tipleri için ölçülen ve hesaplanan arıza yol akımları Çizelge 1'de görülmektedir. Arıza akımlarının hat sonu kaynak (kojenerasyon), arıza direnci ve yüklere rağmen oldukça yüksek doğrulukla hesaplandığı görülmektedir.

**Çizelge 1** Üç numaralı bağlantı noktasında oluşan arızalar için ölçülen ve hesaplanan arıza akımları

Arıza tipi	$(R_A)$ Arıza direnci( $\Omega$ )	Ölçülen arıza akımı (A)			Hesaplanan arıza akımı (A)		
		$I'_{A(a)}$	$I'_{A(b)}$	$I'_{A(c)}$	$I'_{A(a)}$	$I'_{A(b)}$	$I'_{A(c)}$
a-e	2.0	1485.0	0.0	0.0	1495.0	0.0	0.0
a-e	20.0	950.0	0.0	0.0	950.9	0.0	0.0
a-e	50.0	491.9	0.0	0.0	495.4	0.0	0.0
a-b-e	2.0	1794.3	1614.0	0.0	1815.1	1620.3	0.0
a-b	2.0	1591.5	-1591.5	0.0	1610.0	-1609.5	0.0

Ancak uygulamada, hat sonu besleme, hat konfigürasyonu ve sensörlerden kaynaklanan hatalar ile yük güçlerinin tahminine bağlı hatalar bulunabilir. Bu nedenle hatta bağlı yüklerin ve hat sonuna bağlanabilecek kaynağın güçlerine çeşitli tahmin hataları uygulanmış ve sonuçlar Çizelge 2'de özetlenmiştir. Çizelgeden görüleceği gibi, yük ve kaynak kapasitelerinin tahmininde %20 gibi büyük bir hata durumunda dahi arıza yol akımları, %2.67 gibi küçük bir hata ile hesaplanmaktadır.

**Çizelge 2** Üç numaralı bağlantı noktasında oluşan arızalar için hassasiyet analizi

Arıza tipi	(R <sub>A</sub> ) arıza direnci (Ω)	Kaynak ve yük tahmin hatası	Ölçülen arıza akımı (A)	%hata
a-e	2.0	%±0	1495.0	0.00
a-e	2.0	%±5	1505.0	0.67
a-e	2.0	%±10	1514.0	1.27
a-e	2.0	%±20	1535.0	2.67

#### 4. Sonuç

Bu çalışmada hat başında kaydedilen akım ve gerilim bilgileri kullanılarak bileşenler farkı yöntemi yardımıyla enerji dağıtım hatlarında meydana gelebilecek çeşitli şönt arızalar için, arıza yol akımlarının hesaplanması ve arıza tipinin bulunması gösterilmiştir. Bu yöntemin geliştirilmesinde yüklerin günün çeşitli saatlerine göre değişmesi, hat sonunda kojenerasyon bulunması dikkate alınmıştır. Geliştirilen yöntem, enerji dağıtım hatlarında hatta bağlı kojenerasyon bulunması durumunda bile koruma sistemlerinin daha sağlıklı çalışmasına, sistemdeki zayıf noktaların belirlenmesine ve arızaların daha çabuk giderilmesine katkı sağlayacaktır. Böylece enerji dağıtım şirketleri tüketicieye daha kaliteli hizmet götürebilecektir.

#### KAYNAKLAR

- [1] Cook V. *Fundamental Aspects of Fault Location Algorithm Used in Distance Protection*, IEE Proceeding, No.133,Pt.5, pp359-368 (1986)
- [2] Gönen, T. *Electric Power Distribution System Engineering*, Text Book, McGraw-Hill, (1986)
- [3] Girgis A.A., Fallon M Christopher., Lubkeman L David. *A Fault Location Technique for Rural Distribution Feeders*, IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 29, No.6, November 1993, pp.1170-1175.
- [4] Das R., Sachdev M.S., Sidhu T. S. *A Technique for Estimating Location of Shunt Faults on Distribution Lines*, Proc IEEE, Wescanex'95 (1995)
- [5] Aslan Y., Aggarwal R.K., Johns A.T. *Fault Location in Overhead Distribution Systems Using Superimposed Components*, 30<sup>th</sup> Universities Power Engineering Conference 1995 at University of Greenwich, UK, September, (1995)
- [6] Aggarwal R. K. Aslan Y. Johns A. T. *A New Concept in Fault Location for Overhead Distribution Systems Using Superimposed Components*, IEE Proc. C, May, 144 (3), pp 309-316 (1997)



- [7] Johns A. T., Moore P. J., Whittard R. *New Technique for the Accurate Location of Earth Faults on Transmission Systems*, IEE Proc. C, March, 142 (2), pp 119-127 (1995)
- [8] Moore.P J. *Power System Protection*, vol.4: Digital protection and signalling, The Institution of Electrical Engineers, (1997)
- [9] Sheingold D. H. *Digital Conversion Handbook*, 3. edition, Prentice-Hall. (1986)
- [10] Aggarwal R. K., Coury D. V., Johns A. T. and Kalam A. *A Practical Approach to Accurate Fault Location on Extra High Voltage Teed Feeders*, IEEE Transactions on Power Delivery, vol 8, No.3, July, pp 874-883, (1993)
- [11] Makram E. B., Bourabee M. A., Girgis A.A. *Three-Phase Modelling of Unbalanced Distribution Systems During Open Conductors and/or Shunt Fault Conditions Using the bus Impedance Matrix*, Electric Power System Research, No.13, pp173-183 (1987)

## ANALYSIS OF FAULT CURRENTS IN MEDIUM VOLTAGE (MV) POWER DISTRIBUTION LINES WITH SUPERIMPOSED COMPONENTS

Y. ASLAN

*Abstract.* In this study by using Superimposed Components method shunt faults are analysed for overhead power distribution systems. By using digital fault recorded data, fault inception time, fault path currents and the type of fault are found. In the proposed method, possible presence of remote infeed source and varying nature of loads and source capacities are taken into account. The results obtained from the calculations are compared with the fault path currents obtained from a realistic distribution system which is simulated with the well known EMTP simulation package. The results show that the proposed method can be effectively used for overhead power distribution lines.

**Key Words:** Power Distribution Lines, Fault Currents, Fault Type, Superimposed Components.

\*Dumlupınar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Elektrik – Elektronik Mühendisliği Bölümü, Kütahya, Türkiye  
yaslan@dumlupinar.edu.tr

