

Radyal Üç-Fazlı Dengesiz Dağıtım Sistemleri için Yeni Bir Güç Akış Algoritması

U. Eminoglu M. H. Hocaoglu

E-mail: u.eminoglu@gyte.edu.tr hocaoglu@gyte.edu.tr

Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü-Elektronik Mühendisliği Bölümü , Gebze 41400, Türkiye

Abstract-This paper presents an efficient and robust three-phase power flow algorithm for radial distribution systems. The new algorithm, which is based on the forward and backward voltage updating by using polynomial voltage equation and Kirchoff's Laws for each three-phase line, takes into account voltage dependency of static loads, and line charging capacitance. Reliability and convergence characteristic of proposed algorithm are evaluated for different test systems. Results show that the proposed algorithm is reliable and has fast convergence ability.

Anahtar Kelimeler: Dağıtım sistemleri, güç akışı, gerilim bağımlı yükler, Kirchoff Gerilim Kanunu.

1. Giriş

Üç fazlı dağıtım sistemleri farklı karakteristiğe sahiptir. Bu farklılıklar; hatlarda yeraltı kabloları kullanılması nedeniyle yüksek R/X oranı, hatlarda fazlar arasında çaprazlama yapılmaması nedeniyle dengesiz hat empedansı, fazların farklı yükleri beslemesi ve tek veya iki fazlı hatlarla elektrik enerjisinin dağıtılması nedenleriyle dengesiz yüklenme şeklinde sıralanabilir. Bu gibi durumlar dağıtım sistemlerinin farklı karakteristik göstermesine neden olmaktadır. Gerçekçi bir güç akışı çalışması için verilen bu durumların göz önünde bulundurulması gerekir [1].

Bunun için geliştirilen güç akışı algoritmaları iki grupta incelenmektedir. İlk grup, iletim sistemlerinde yaygın olarak kullanılan Newton-Raphson, Gauss-Seidel algoritmaları ve bunların bu tür sistemler için geliştirilmiş türevlerinden oluşmaktadır [2-18]. İkinci grup güç akışı algoritmaları, Kirchoff gerilim kanununun sistemde ileri veya geri yönde uygulanması esasına dayanan algoritmalarıdır [19-29]. İkinci grup üç fazlı güç akışı algoritmaları, dağıtım sistemlerinin yukarıda verilen farklı karakteristiklere sahip olması nedeniyle birinci grup metotlara nazaran daha güvenilir olup performansları daha yüksektir [30].

İkinci grup güç akışı algoritmaları [19-29], kaynaktan sona doğru ve/veya sondan kaynağa doğru hat sonu veya hat başı gerilimlerinin hesaplanması esasına dayanmaktadır. Her bir hattan akan akım için o hattan beslenen bütün yüklerin akımlarının toplamı kullanılmaktadır. Referans [19]'da Baran ve Wu, radyal sistemlerde optimum kapasitör büyüklüğünün belirlenmesinde yeni bir güç akışı algoritması göstermişlerdir. Bu algoritmada sistemdeki her bir hat

için hattan akan aktif ve reaktif güç ve hat sonu geriliminden oluşan üç lineer olmayan denklem yazılmış ve bu denklem sisteminde bazı indirgemeler yapılarak indirgenmiş denklem sistemi çözülerek güç akışı yapılmaktadır. Referans [20]' verilen algoritmada Shirmohammadi kompanzasyon temelli bir güç akışı algoritması geliştirmiştir. Bu algoritmada dağıtım sistemleri radyal yapıya dönüştürülmekte, gerilim hesabı Kirchoff gerilim ve akım kanunları kullanılarak yapılmaktadır. Önce her bir hat akımı belirlenmekte ve kaynaktan başlayarak sistemin her bir katmanı için Kirchoff gerilim kanunu ile bir sonraki katmandaki bara gerilimleri hesaplanmaktadır. Benzer şekilde hat akımı yerine hattan akan güç esas alınarak yeni bir güç akışı algoritması referans [21]'de, ileri ve geri yönde gerilim hesabı yapılarak radyal ve kapalı çevrimli sistemler için benzer bir güç akışı algoritması [22]'de verilmiştir. Cheng ve Shirmohammadi [23], verilen üç fazlı metotların büyük çoğunluğunda kullanılan ileri ve geri yönde Kirchoff gerilim ve akım kanunlarını kullanarak üç fazlı dağıtım sistemleri için yeni bir algoritma geliştirmiştir. Dağıtım sistemlerinde hatların, paralel kompanzasyonun, yük modellerinin, gerilim regülatörlerinin ve yerel enerji birimlerinin güç akışına dahil edilmesi çalışmada incelenmiş ve algoritmaya dahil edilmiştir. Bu algoritma geliştirilerek kapalı çevrimlerin bulunduğu dağıtım sistemlerde güç akışı Zhu [24] tarafından gerçekleştirilmiştir. Forward-Backward Substitution metod'u [25] yapısı nedeniyle dağıtım sistemlerinde güç akışı hesabında geniş olarak kullanılmaktadır. Bu metod Kirchoff gerilim ve akım kanununun bara gerilimlerine ve hat akımlarına uygulanması esasına dayanır. Hattan akan akım ve kaynak geriliminden yararlanılarak yeni bara gerilimleri hesaplanmakta ve daha önce hesaplanan bara gerilimleri ile karşılaştırılarak hesaplamaya devam edilmekte veya sonlandırılmaktadır. Bir diğer metod olan Ladder Network theory [26] metodu Forward-Backward Substitution metod [25] ile çok benzerdir. Bu algoritmada hatlardan akan akımlar belirlenirken aynı zamanda Kirchoff gerilim kanunu kullanılarak kaynağa doğru (Sondan başa doğru) bara gerilimleri de hesaplanmaktadır. Hesaplama ile elde edilen yeni kaynak geriliminin gerçek değeri ile karşılaştırılması ile algoritmaya devam edilmekte veya sonlandırılmaktadır. Referans [27]'de yazar, üç fazlı sistemler için yeni bir güç akışı algoritması

geliştirmiştir. Bu algoritmada sistemdeki her bir hattan akan akım matrisi ve bu matris kullanılarak ta her bir hat üzerindeki gerilim düşümü matrisi oluşturulmaktadır. Her bir hattaki hesaplanan gerilim düşümü ve kaynak gerilimi kullanılarak her bir baranın gerilimi hesaplandıktan sonra bu gerilimler kullanılarak yeni yük akımları hesaplanmaktadır. Hesaplanan akımlar bir önceki adımda hesaplanan akımlar ile karşılaştırılarak en büyük akım hatası büyüklüğüne göre işleme devam edilmekte veya sonlandırılmaktadır. Ranjan [28] üç fazlı dengesiz güç sistemleri için yeni bir algoritma geliştirmiştir. Bu algoritmada da Kirchoff gerilim kanunu kullanılmaktadır. Kaynak geriliminden başlayarak her bir hattan çekilen akımın kullanılmasıyla hat sonu gerilimi hesaplanmaktadır. Fakat burada hattan akan akım hesaplanırken hattın beslediği bütün yükler ve yüklerle ait hatlardaki güç kayıpları gerilimi hesaplanan baraya bağlı olduğu düşünülerek o baranın ve dolayısıyla hattın akımı belirlenmekte ve bara gerilimi hesaplanmaktadır. Algoritmanın sonlandırılması hesaplanan bara gerilimlerinin bir önceki adımdaki değerleri ile karşılaştırılmasıyla yapılmaktadır. S. Mok, MMA Salama [29] radyal sistemler için bir metot geliştirmiştir. Bu metot, Forward-Backward Substitution ve Ladder Network Theory metotlarının geliştirilerek oluşturulmuştur. Sistemdeki lateraller için ileri yönde Kirchoff kuralı uygulanmakta ve bu her bir bara gerilimi için ayrı ayrı yapılmaktadır. Yani bara gerilimi önceki gerilimle hata değerini karşılayıncaya kadar hesaplanan gerilim buna bağlı olan diğer baralara atanır ve yeni akımlar hesaplanarak yeni bara gerilimi hesaplanır. Lateraller için hesaplama tamamlandıktan sonra gerilim değeri kullanılarak toplam güç ve lateral toplam akımı hesaplanarak bağlı olduğu feeder de bir yük ve onun akımı olarak aktarılır. Daha sonra ileri yönde hat akımları kullanılarak feederin bara gerilimleri hesaplanmaktadır. Hesaplanan gerilimler bir önceki değerle karşılaştırılarak algoritma sürdürülür veya sonlandırılır.

Bu çalışmada dengeli ve dengesiz radyal dağıtım sistemleri için yeni bir güç akışı algoritması geliştirilmektedir. Geliştirilen algoritmaya ait formülasyon 2. bölümde verilmiştir. Algoritmanın mevcut algoritmalarla birlikte test sistemlerine uygulanması ve sonuçların karşılaştırılması 3. bölümde, 4. bölümde ise genel sonuçlar verilmektedir.

2. Dağıtım Sistemleri için Güç Akışı Formülasyonu

Dağıtım sistemleri genel olarak ağaç şekline sahip olup fiderler ve bunlara bağlı alt fiderlerden oluşmakta ve bölgesel olarak farklı özellikler göstermektedir. Burada amaç bütün bu farklı özellikleri dahil ederek dengeli ve dengesiz üç fazlı dağıtım sistemleri için güvenilir, performanslı sistem yapısından çok az etkilenen yeni bir güç akışı algoritması geliştirmektir. Şekil 1'de verilen üç fazlı bir iletim hattı için fazlar

arasındaki ortak empedansların ihmal edilmesi durumunda her bir fazdan akan aktif ve reaktif gücün ABCD parametreleri cinsinden ifadesi;

$$P = \frac{|V_r||V_s|}{|B|} \cos(\theta_B - \delta_s) - \frac{|A||V_r|^2}{|B|} \cos(\theta_B - \delta_A) \quad (1)$$

$$Q = \frac{|V_r||V_s|}{|B|} \sin(\theta_B - \delta_s) - \frac{|A||V_r|^2}{|B|} \sin(\theta_B - \delta_A) \quad (2)$$

şeklinde yazılabilir. Burada V_s , V_r sırasıyla hat başı ve hat sonu faz gerilimleri, δ_s hat başı geriliminin, δ_A ve θ_B ise sırasıyla hattın A ve B parametrelerinin faz açısını göstermektedir. Denklem 1-2, hat sonu geriliminin faz açısı ihmal edilerek ($\delta_r=0$) elde edilmekte olup kullanılan hattın ABCD parametrelerinin ifadeleri hat modeline bağlı olarak değişmektedir. Yukarıda verilen aktif ve reaktif güç ifadelerini aşağıdaki şekilde yazmak mümkündür.

$$\cos(\theta_B - \delta_s) = \frac{P|B|}{|V_s||V_r|} + \frac{|A||V_r|}{|V_s|} \cos(\theta_B - \delta_A) \quad (3)$$

$$\sin(\theta_B - \delta_s) = \frac{Q|B|}{|V_s||V_r|} + \frac{|A||V_r|}{|V_s|} \sin(\theta_B - \delta_A) \quad (4)$$

$$\cos^2(\theta_B - \delta_s) + \sin^2(\theta_B - \delta_s) = 1 \quad (5)$$

Verilen Denklem 3 ve 4'ün Denklem 5'de kullanılması durumunda hat sonu gerilimine ait polinom;

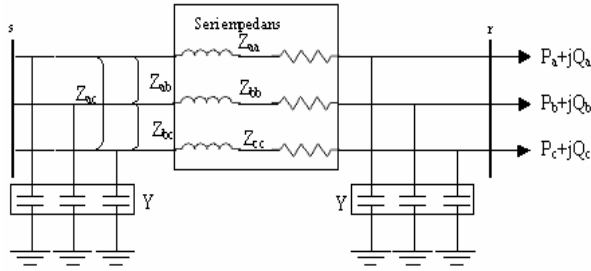
$$|A|^2 V_r^4 + 2|A||V_r|^2 |B|(P \cos(\theta_B - \delta_A) + Q \sin(\theta_B - \delta_A)) - V_s^2 V_r^2 + (P^2 + Q^2)|B|^2 = 0 \quad (6)$$

şeklinde elde edilir. Elde edilen bu 4. dereceden polinomun en büyük reel kökü bize hat sonu geriliminin büyüklüğünü vermektedir. Denklem 6 dağıtım sistemlerinde hat sonu geriliminin gerçek değerine çok yakın bir çözüm vereceğinden bu denklemin geliştirilen algoritmada her bir hat için ileri yönde gerilim hesabında kullanılması algoritmanın hızını arttıracaktır. Şekil 3.1'de verilen sistem için hat sonu ve hat başı gerilimi Kirchoff Gerilim konunu uygulanarak aşağıdaki şekilde hesaplanması mümkündür.

$$\begin{bmatrix} V_r^a \\ V_r^b \\ V_r^c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_s^a \\ V_s^b \\ V_s^c \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} Z_n^{aa} & Z_n^{ab} & Z_n^{ac} \\ Z_n^{ba} & Z_n^{bb} & Z_n^{bc} \\ Z_n^{ca} & Z_n^{cb} & Z_n^{cc} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_n^a \\ I_n^b \\ I_n^c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Y_n^{aa} & 0 & 0 \\ 0 & Y_n^{bb} & 0 \\ 0 & 0 & Y_n^{cc} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_r^a \\ V_r^b \\ V_r^c \end{bmatrix} \quad (7-a)$$

$$\begin{bmatrix} V_s^a \\ V_s^b \\ V_s^c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_r^a \\ V_r^b \\ V_r^c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Z_n^{aa} & Z_n^{ab} & Z_n^{ac} \\ Z_n^{ba} & Z_n^{bb} & Z_n^{bc} \\ Z_n^{ca} & Z_n^{cb} & Z_n^{cc} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_n^a \\ I_n^b \\ I_n^c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Y_n^{aa} & 0 & 0 \\ 0 & Y_n^{bb} & 0 \\ 0 & 0 & Y_n^{cc} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_r^a \\ V_r^b \\ V_r^c \end{bmatrix} \quad (7-b)$$

Burada, V_s ve V_r sırasıyla hat başı ve hat sonu gerilim vektörü, Z_n hattın empedans matrisi, I_n yük akımı vektörü ve Y hattın paralel kapasitörlerinin admitansını göstermektedir. Benzer şekilde radyal dağıtım sistemlerinde verilen bu gerilim ifadeleri kullanılarak ileri ve geri yönde bara gerilimleri hesaplanabilir.



Şekil 1. Üç fazlı hat modeli

Geliştirilen algoritmanın daha kolay anlaşılması açısından Şekil 2’de verilen n baralı feeder için adım adım uygulaması aşağıda verilmiştir.

1. İterasyon sayıcıyı başlat ($i=1$), sistemdeki bara gerilimlerinin başlangıç değerlerini belirle (genellikle gerilim değeri için kaynak gerilimi kullanılmaktadır).
2. Denklem 6’yı her bir hat için kullanarak kaynaktan sona doğru ileri yönde hat sonu gerilimlerini hesapla. Bu durumda her bir faz için hat sonu aktif ve reaktif güçlerini o hattın beslediği bütün yüklerin aktif ve reaktif güçlerini toplayarak belirle.

$$P_i = \sum_{k=i+1}^n P_k \quad (8-a)$$

$$Q_i = \sum_{k=i+1}^n Q_k \quad (8-b)$$

3. Eğer yükler gerilim bağımlı ise hesaplanan yeni gerilimleri kullanarak yüklerin aktif ve reaktif güçlerini ve bu gerilim ve güçleri kullanarak yük akımlarını hesapla;

$$I_k = \left(\frac{S_k}{V_k} \right)^* \quad (9)$$

4. Denklem 7-b’yi kullanarak sondan başa doğru yeni bara gerilimlerini (V_k^{yeni}) ve yeni kaynak gerilimini (V_s^{yeni}) hesapla. Bu durumda hat akımı için o hattan akan bütün yük akımlarının toplamını kullan.
5. Kaynak gerilimini gerçek değerine çekmek için gerilim oranını ve bu oranı kullanarak yeni bara gerilimlerini ayarla;

$$V_{s-r} = \frac{V_s^{yeni}}{V_s} \quad (10-a)$$

$$V_k^{Ayar} = \frac{V_k^{yeni}}{V_{s-r}} \quad (10-b)$$

6. Eğer yükler gerilim bağımlı ise hesaplanan yeni gerilimleri kullanarak yüklerin aktif ve reaktif güçlerini ve bu gerilim ve güçleri kullanarak yük akımlarını hesapla.
7. Kaynaktan başlayarak sona doğru her bir hat için Denklem 7-a ile bara gerilimlerini hesapla ve hat akımı için o hattan akan bütün yük akımlarının toplamını kullan.
8. Hesaplanan gerilimler ve bir önceki gerilimleri kullanarak Denklem 11 ile hatayı belirle, eğer en büyük hata değeri seçilen hata değerinden küçük ise

işlemi sonlandır değilse iterasyon sayısını bir arttır ve 2. adımdan devam et.

$$\left\| V_k^{j+1} - V_k^j \right\| \leq \varepsilon \quad (11)$$

Algoritmayı sisteminde alt-federlerin (dallanmaların) olması durumunda genişleterek güç akışının yapılması mümkündür. Bu durumda 4. adımda feeder için geri yönde gerilim hesabı yapılmadan önce her bir alt feeder için geri yönde gerilim hesabı 4. adımda verildiği gibi alt feederler içinde yapılarak bunların yeni gerilimleri ve toplam akımları belirlenip bu akımlar feeder için geri yönde gerilim hesabında kullanılmalıdır. Buna ek olarak 5. adımda feeder üzerindeki bara gerilimleri ayarlandıktan sonra her bir alt feederin bağlı olduğu feeder barasının yeni gerilimi ve alt feeder için geri yönde gerilim hesabı yapılarak bulunan yeni gerilimler kullanılarak Denklem 10’da verildiği gibi alt-feeder gerilimleri de belirlenen gerilim oranı ile ayarlanmalıdır.

3. Geliştirilen Algoritmanın Üç-Fazlı Dağıtım Sistemlerine Uygulanması

Yeni geliştirilen güç akışı algoritması 25 baralı gerçek bir dağıtım sistemi [28], IEEE 13-bus ve IEEE 34-bus dengesiz üç fazlı dağıtım sistemleri üzerinde test edilmiştir. Aynı zamanda algoritmanın performansını test etmek için [25, 26, 27, 29]’da verilen diğer algoritmalar da kullanılarak güç akışı yapılmıştır. Her bir metot için gerekli iterasyon sayısı Tablo 1’de farklı metotlar için verilmiştir. Güç akışı sonuçları geliştirilen algoritmanın güvenilir olduğunu diğer metotlarla elde edilen sonuçlarla uyduğunu göstermektedir. Verilen algoritmanın kullanılan bütün sistemlerde 10^{-5} gerilim hatası değeri için diğer algoritmalarından daha düşük veya eşit iterasyon sayısı ile çözüme ulaştığı görülmektedir. Hesaplama süresi olarak kullanılan sistemler için diğer metotlardan daha kısa veya yakın zamanda güç akışı tamamlanmıştır.

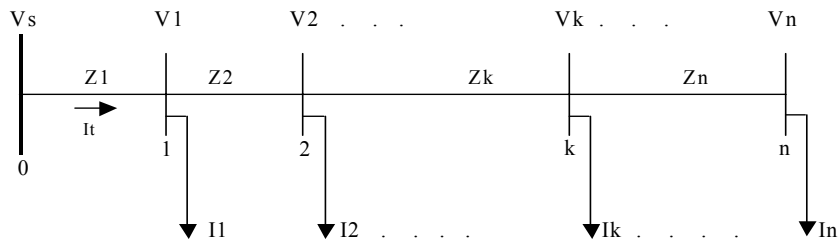
Geliştirilen algoritmanın geçerliliği ve güvenilirliğini göstermek amacıyla 12 baralı dengeli bir fider için matlab simulink ile güç akışı yapılmıştır. Sistem elemanlarının matlab/simulink kullanılarak modellenmiştir. Üç fazlı gerilim kaynağı üç adet tek fazlı AC gerilim kaynağı yıldız bağlanarak oluşturulmuştur. Üç fazlı hat modeli üç adet seri R ve L elemanlarından oluşan hat modeli kullanılarak oluşturulmuştur. Yük modeli olarak nötrü topraklanmış yıldız bağlı sabit empedanslı üç fazlı yük modeli alınmış olup sistem elemanlarının değerleri Tablo 2’de ve güç akışı sonuçları ise Tablo 3’te verilmiştir. Güç akışı sonuçlarından, mevcut metotların ve geliştirilen metodun Matlab/Simulink sonuçları ile büyük uyum içersinde olduğu görülmektedir. Bara gerilimleri arasındaki maximum fark 0.00002 pu. olup çok küçük değerlidir. Buna ek olarak algoritmalarından F./B. Substitution [25] ve Ladder Network Theory [26] metodları 4 iterasyonda sonuca ulaşırken, Ratio-Flow metodu ile geliştirilen

algoritma 2 iterasyonda sonuç vermiştir. Buradan geliştirilen algoritmanın dengeli sistemlerde de diğer algoritmalarla nazaran daha kısa adımda sonuç verdiği görülmektedir.

4. Sonuç

Üç fazlı dağıtım sistemleri farklı karakteristiğe sahiptir. Gerçekçi bir güç akışı çalışması için verilen bu durumların göz önünde bulundurulması gerekir. Bunun için geliştirilen güç akışı algoritmaları iki grupta incelenmektedir. İkinci grup güç akışı algoritmaları, Kirchoff gerilim kanununun ve iletim hattı için türetilen 4. dereceden gerilime bağlı polinomun sistemde ileri veya geri yönde uygulanması esasına dayanan algoritmalarlardır. İkinci grup metotlar,

dağıtım sistemlerinin farklı karakteristiklere sahip olması nedeniyle birinci grup metotlara nazaran daha güvenilir olup performansları daha yüksektir. Bu çalışmada ikinci grup algoritmalarla benzer yapıda yeni bir güç akışı algoritması geliştirilmiştir. Geliştirilen algoritma IEEE 13-bus, IEEE 34-bus ve 25 baralı dağıtım sistemlerine uygulanarak test edilmiştir. Sonuçlar geliştirilen algoritmanın geçerliliğini göstermektedir. Aynı zamanda bahsedilen ikinci grup algoritmalarla güç akışı için geniş olarak kullanılan 4 farklı algoritma kullanılarak geliştirilen algoritmanın performansı test edilmiştir. Güç akışı sonuçlarından geliştirilen algoritmanın güvenilir ve performansının da diğer algoritmalarla nazaran daha iyi olduğu görülmüştür.



Şekil 2. N-baralı bir dağıtım fideri için tek faz devre şeması

Tablo 1. Her bir metot için iterasyon sayısı

Metotlar	İterasyon sayısı		
	IEEE 13-bus	25-bus [28]	IEEE 34-bus
Geliştirilen	4	3	3
Forward/Backward Sub. [25]	7	3	8
Ladder Network Theory [26]	7	4	6
Network Topology [27]	7	3	8
Ratio-Flow [29]	8	4	7

Tablo 2. 12 baralı feederin eleman değerleri

Hat	Z (Ω)	S=P+jQ (MVA)
1-2	0.1170+j0.048	0.42+j0.26
2-3	0.1073+j0.0440	0.36+j0.23
3-4	0.1645+j0.0457	0.42+j0.26
4-5	0.1495+j0.0415	0.42+j0.26
5-6	0.1495+j0.0415	4.69+j2.90
6-7	0.3144+j0.0540	0.50+j0.32
7-8	0.2096+j0.0360	0.42+j0.26
8-9	0.3144+j0.0540	0.42+j0.26
9-10	0.2096+j0.0360	0.41+j0.25
10-11	0.1310+j0.0225	0.42+j0.26
11-12	0.1048+j0.0225	0.25+j0.15

Tablo 3. 12 baralı feeder için güç akışı sonuçları

Bara No	Geliştiril.	F./B. Sub. [24]	Ladder N. Th. [25]	Ratio-Flow [29]	Matlap Simulink
1	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000
2	0.98992	0.98992	0.98992	0.98992	0.98994
3	0.98115	0.98114	0.98114	0.98114	0.98116
4	0.96914	0.96913	0.96913	0.96913	0.96914
5	0.95881	0.95880	0.95880	0.95880	0.95881
6	0.94908	0.94906	0.94906	0.94906	0.94906
7	0.94255	0.94254	0.94254	0.94254	0.94255
8	0.93912	0.93910	0.93910	0.93910	0.93912
9	0.93509	0.93508	0.93508	0.93508	0.93509
10	0.93317	0.93315	0.93315	0.93315	0.93316
11	0.93242	0.93240	0.93240	0.93240	0.93242
12	0.93220	0.93218	0.93218	0.93218	0.93219

Referanslar

- [1] IEEE Tutorial Course on Power Distribution Planning, IEEE Power Engineering Society, 92 EHO 381-6 PWR.
- [2] J. Arrillaga and C. P. Arnold, Fast decoupled three-phase load flow, Proc. Inst. Elect. Eng., Gen.,

- Transm., Distrib., vol. 125, no.8, pp.734-740, Aug. 1978.
- [3] K. L. Lo, and C. Zhang, Decomposed three-phase power flow solution using the sequence component frame, Proc. Inst. Elect. Eng., Gen., Transm., Distrib., vol. 140, no.3, pp.181-188, May 1993.
- [4] X. P. Zhang, Fast three-phase load flow methods, IEEE Trans. Power Syst., vol. 11, No.3, pp. 1547-1553, August 1996.
- [5] M. Abdel-Akher, K. Mohamed Nor, and A. H. Abdul Rashid, Improved Three-Phase Power-Flow Methods Using Sequence Components, IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 20, No.3, pp. 1389-1397, August 2005.
- [6] H. Le Nguyen, Newton-Raphson method in complex form, IEEE Trans. on Power Systems, vol. 12, pp. 1355-1359, Aug. 1997.
- [7] F. Zhang and C. S. Cheng, A modified Newton method for radial distribution system power flow analysis, IEEE Trans. on Power Syst., vol. 12, pp. 389-397, Feb. 1997.
- [8] G. Exposito, E.R. Ramos, Reliable Load Flow Technique for Radial Distribution Networks, IEEE Transactions on Power Systems, Vol.14 (3), pp. 1063-1069, 1999.
- [9] V. M. Da Costa, N. Martins, and J. L. Pereira, Development in the Newton Raphson power flow formulation based on current injections, IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 14, No. 4, pp.1320-1326, November 1999.
- [10] P.A. N. Garcia, J. L. R. Pereira, S. Carneiro, V. M. Da Kosta and N. Martins, Three-Phase Power Flow Calculations Using the Current Injection Method, IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 15, No.2, pp.508-514, May 2000.
- [11] W.-M. Lin, Y.-S. Su, H.-C. Chin, and J.-H. Teng, Three-phase unbalanced distribution power flow solutions with minimum data preparation, IEEE Trans. on Power Syst., vol. 14, pp. 1178-1183, Aug. 1999.
- [12] Whei-Min Lin, Jen-Hao Teng, Three-Phase Distribution Network Fast-Decoupled Power Flow Solutions, Electrical Power and Energy Systems vol.22, pp.375-380, 2000.
- [13] Shoults R.R, Chen M.S., and Schwobel L., Simplified feeder modeling for load flow calculations, IEEE Transactions on Power Systems, vol.2, no.1, pp.168-174, 1987.
- [14] B. K. Chen, M. S. Chen, R. R. Shoults, and C. C. Liang, Hybrid three-phase load flow, Proc. Inst. Elect. Eng., Gen., Transm., Distrib., vol. 137, pp.177-185, May 1990.
- [15] T.-H. Chen, M.-S. Chen, K.-J. Hwang, P. Kotas, and E. A. Chebli, Distribution system power flow analysis - A rigid approach, IEEE Trans. Power Delivery, vol. 6, pp. 1146-1152, July 1991.
- [16] X. P. Zhang, and H. Chen, Asymmetrical three-phase load flow based on symmetrical component theory, Proc. Inst. Elect. Eng., Gen., Transm., Distrib., vol. 137, pp.248-252, May 1994.
- [17] J. H. Teng, A Modified Gauss-Seidel Algorithm of Three-phase Power Flow Analysis in Distribution Networks, Electrical Power and Energy Systems vol.24, pp.97-102, 2002.
- [18] J. C. M. Viera, W. Freitas and A. Morelato, Phase-Decoupled Method for Three-Phase Power-Flow Analysis of Unbalanced Distribution Systems, IEE Proc.-Gener. Transm. Distrib., Vol.151, No.5, pp.568-574, September 2004.
- [19] M. E. Baran, F. F. Wu, Optimal Sizing of Capacitors Placed on a Radial Distribution System, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 4, No.1, pp.735-742, January 1989.
- [20] D. Shirmohammadi, H. W. Hong, A. Semlyen, and G. X. Luo, A compensation-based power flow method for weakly meshed distribution and transmission networks, *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 3, pp. 753-762, May 1988.
- [21] G. X. Luo and A. Semlyen, Efficient load flow for large weakly meshed networks, IEEE Trans. Power Syst., vol. 5, pp. 1309-1316, Nov. 1990.
- [22] D. Rajcic, R. Ackovski, and R. Taleski, Voltage correction power flow, IEEE Trans. Power Delivery, vol. 9, pp. 1056-1062, Apr. 1994.
- [23] C. S. Cheng and D. Shirmohammadi, A three-phase power flow method for real time distribution system analysis, IEEE Trans. Power Syst., vol. 10, pp. 671-679, May 1995.
- [24] Y. Zhu, K. Tomsovic, Adaptive Power Flow Method for Distribution Systems With Dispersed Generation, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 17, No. 3, pp.822-827, July 2002.
- [25] D. Thukaram, H. M. W. Banda, and J. Jerome, A Robust Three-Phase Power Flow Algorithm for Radial Distribution Systems, Electric Power Systems Research, vol.50, pp.227-236, June 1999.
- [26] W. H. Kersting, Distribution System Modeling and Analysis. Boca Raton, FL: CRC Press, 2002.
- [27] J. H. Teng, A Network-Topology Based Three-Phase Load Flow for Distribution Systems, Proceedings of National Science Council ROC (A), vol.24, no.4, pp.259-264, 2000.
- [28] R. Ranjan, B. Venkatesh, A. Chaturvedi, D. Das, Power Flow Solution of Three-Phase Unbalanced Radial Distribution Network, Electric Power Components and Systems, vol.32, pp.421-433, 2004.
- [29] J. Liu, M.M.A. Salama and R.R. Mansour, An Efficient Power Flow Algorithm for Distribution Systems with Polynomial Load, International Journal of Electrical Engineering Education, Vol.39, no:4, pp. 372-386, 2002.
- [30] A. G. Bhutad, S. V. Kulkarni and S. A. Khaparde, Three-Phase Load Flow Methods for Radial Distribution Networks, Conference on Convergent Technologies for Asia-Pacific Region (TENCON 2003), pp: 781- 785, Bangalore, INDIA, 15-17 October 2003.