

GÜÇ SİSTEMLERİNDE FARKLI SALINIM BARASI SEÇİMİNİN GERİLİM KARARLILIĞI AÇISINDAN İNCELENMESİ

Kadir ABACI¹ Mehmet Ali YALÇIN² Yılmaz UYAROĞLU³

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
Sakarya Üniversitesi, Esentepe Kampüsü, Sakarya

¹e-posta kabaci@engineer.com ²e-posta yalcin@sakarya.edu.tr ³e-posta uyaroglu@sakarya.edu.tr

Anahtar sözcükler: Güç akışı, Gerilim kararlılığı, Farklı salınım baraları

ABSTRACT

Power flow studies, commonly known as load flow, form an important part of power system analysis. Power system buses are generally classified into three types. Slack bus known as slack or swing bus, is taken as reference where the magnitude and phase angle of the voltage are specified. Slack buses in power systems are determined to be selected ones of among buses called PV buses. In this study, it is investigated how effect stability limits of the system selected different slack buses .

1.GİRİŞ

Sürekli yük artımı ile birlikte ekonomik ve çevresel baskılar güç sistemlerini kararlılık limitine yakın noktalarda çalışmaya zorladığından kararlılık sınırları azalmaya ve gerilim kararlılığı kritik bir konu olmaya başlamıştır. Güç sistemlerinde gerilim kararlılığı için statik analizler kritik baralarda gerilim-güç ilişkisini gösteren (PV, QV ve SV) eğrileriyle değerlendirilebilir. Bu gerilim profilleri farklı yüklenme seviyeleri için sistemin çalışma noktasını tayin ederek gerilim kararlılığı sınırlarının değerlendirilmesi ve olabilecek bir gerilim çökmesi hakkında bilgi verir[1]. Daha önemlisi, bu eğriler yardımıyla, kaynak geriliminin değişik değerlerde tutulması, iletim hattında değişik yüzdelerde seri ya da şönt kompanzasyon yapılması [2] , yine iletim hatlarının planlanması ve transfer sınırlarının belirlenmesi gibi bir çok uygulamalar yapılmaktadır. Bir çok elektrik şirketi bu analizleri yapmak için Newton metodu prosedürlerini kullanır. Güç akışı eşitlikleri bu tür analizler için gereklidir. Böylece bir bölgede mümkün olan çalışma noktaları bulunur. Güç akışı eşitlikleri belirli çalışma şartlarında çözüm sağlayamadığı zaman şebekedeki üretimin fiziksel olarak talep edilen yükü sağlamakta yetersiz kaldığı anlaşılır [3].

Mevcut güç sistemlerinin en iyi şekilde işletilmesi kadar, gelecekte sistemlerde meydana gelebilecek gelişmelerin planlanması yönünden de yük akışı analizi çalışmaları çok önemlidir. Yük akışı analizi etüdlerinde elde edilen başlıca bilgiler, her barada gerilimin

genliği, faz açısı ve her hattan akan aktif ve reaktif güçlerdir.

Yük akışı çalışmalarında her analiz için daima çalışma şartları belirlenerek, bir bara hariç diğer bütün baralarda şebekeye giren aktif güç tarif edilmelidir. Ayrıca bu baraların her birinde sisteme akan reaktif güç veya gerilimin genliği de tarif edilmelidir. Yani, her barada reaktif güç akışı veya gerilimin genliğinden hangisinin sabit tutulacağına karar verilir. Bazen generatörler için reaktif güç tarif edilse bile, genel olarak yük baralarında reaktif güç ve generatör baralarındada gerilimin genliği tarif edilmektedir

Pratikte çok yakın tahmin edilebilse de , şebekedeki bütün santrallerin aktif üretimlerini kesin olarak bilmek imkansızdır. Bunun sebebi hat kayıplarının bilinmemesidir. Bundan dolayı sistemdeki baralardan birinde aktif güç bilinmeyen seçilerek, bunu çözümün sonunda elde etmek gerekir. Bu yüzden üretim baralarından birinde aktif güç bilinmeyen seçilir ki bu baraya salınım barası denir. Salınım barası olarak üretim baralarından birinin seçilmesi mecburi olmamakla beraber çözüm için kolaylık sağlar [4,5].

Bu çalışmada yük akışı analizlerinde salınım barası değişiminin etkileri araştırılmıştır. Şekil -2.'de gösterilen örnek sistemde her analiz başında farklı üretim baraları salınım barası olarak belirlenmiş ve her defasında sonlu yük artımlarıyla gerilim kararlılığı analizi yapılmıştır. Yapılan her analiz sonucunda kritik noktalardaki değişimler bulunmuş, ayrıca üretim baraları arasındaki güç farklılıklarının kritik noktalardaki değişimlere olan etkileri araştırılmıştır.

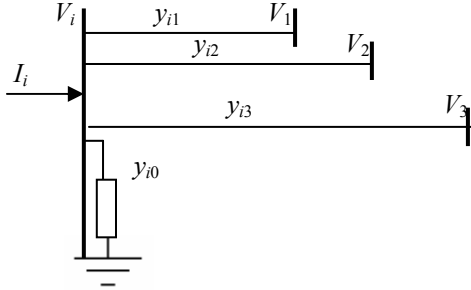
2. YÜK AKIŞI

Şebeke eşitlikleri sistematik bir şekilde çeşitli formlarda yazılabilir. Güç sistemi yük akışı analizlerinde en yaygın olarak kullanılan form düğüm gerilimleri metodudur. Düğüm akımları belirlendiğinde düğüm gerilimleri için lineer eşitlik denklem takımları çözülebilir. Bir güç sisteminde akımlardan daha çok güçlerle ilgilenilir. Böylece güç akışı eşitlikleri olarak bilinen nonlinear denklem

takımları elde edilir ve iteratif tekniklerle çözümlenir. Güç akışı çalışmaları güç sistem analiz ve tasarımında temel görev üstlenir [6].

2.1 Güç Akışı Denklemleri

Aşağıda bir güç sisteminde herhangi bir i . baranın tipik olarak gösterimi verilmiştir.



Şekil-1. Bir güç sisteminde herhangi bir i .baranın genel amaçlı gösterimi [6]

Bu baraya kirchoff akımlar yasasının uygulandığını ve iletim hattının da π eşdeğer devresi ile modellendiğini farzedelim.

$$I_i = V_i \sum_{j=0}^n Y_{ij} - \sum_{j=1}^n Y_{ij} V_j \quad j \neq i \quad (1)$$

yazılabilir. i . baradan alternatif akım hattına verilen görünür güç

$$S_i = P_i + jQ_i = V_i I_i$$

veya

$$I_i = \frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} \quad (2)$$

şekindedir. Burada V_i i .baraya ilişkin kompleks değerde bara gerilimidir.

Newton-Raphson yöntemi ile Güç Akışı

Newton metotları güç akışı denklemlerinin çözümü için iteratif metodlara (Gauss, Gauss-Seidel...) göre kuadratik yakınsama karakteristiğine sahiptir . Bir çözüm elde etmek için gerekli iterasyon sayısı sistemin boyutundan farklıdır, fakat her iterasyonda daha fonksiyonel değerlendirmeler gereklidir. Şekil -1.'de verilen sistem için i , baraya giren akım aşağıdaki gibi yazılabilir

$$I_i = \sum_{j=1}^n Y_{ij} V_j \quad (3)$$

Bu eşitliğin içerisine bara admitans matrisi konularak yeniden yazılırsa

$$I_i = \sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_j| \angle \theta_{ij} + \delta_j \quad (4)$$

i .baradaki kompleks güç

$$P_i - jQ_i = V_i^* I_i \quad (5)$$

akım ifadesi yukarıdaki denklemde yerine konursa

$$P_i - jQ_i = |V_i| \angle \theta_i \sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_j| \angle \theta_{ij} + \delta_j \quad (6)$$

gerçek ve sanal kısımlar ayrılırsa,

$$P_i = \sum_{j=1}^n |V_i| |Y_{ij}| |V_j| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (7)$$

$$Q_i = - \sum_{j=1}^n |V_i| |Y_{ij}| |V_j| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j)$$

şeklinde olur.

Yukarıdaki (7) eşitlikleri Taylor serisine açılır ve yüksek mertebeden terimler ihmal edilirse aşağıdaki lineer denklem takımı elde edilir.

$$\begin{bmatrix} \Delta P_i^{(*)} \\ \Delta Q_i^{(*)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial P_i^{(*)}}{\partial \delta_i^{(*)}} & \frac{\partial P_i^{(*)}}{\partial |V_i^{(*)}|} \\ \frac{\partial Q_i^{(*)}}{\partial \delta_i^{(*)}} & \frac{\partial Q_i^{(*)}}{\partial |V_i^{(*)}|} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta_i^{(*)} \\ \Delta |V_i^{(*)}| \end{bmatrix} \quad i=2, \dots, n \quad (8)$$

Jacobien matrisi aktif ve reaktif güçteki küçük değişimler ile gerilimin açısı ve büyüklüğü arasındaki değişimleri verir. Jacobien matrisinin elemanları aktif ve reaktif güçlerin $\Delta \delta_i^{(k)}$ ve $\Delta |V_i^{(k)}|$ 'deki değişimlerinin kısmi türevleridir.

$$\Delta P_i^{(k)} = P_i^{(belirlenen)} - P_i^{(k)} \quad (9)$$

$$\Delta Q_i^{(k)} = Q_i^{(belirlenen)} - Q_i^{(k)} \quad (10)$$

Baralardaki gerilimlerin yeni değerleri de aşağıdaki gibi olur.

$$\delta_i^{(k+1)} = \delta_i^{(k+1)} - \Delta \delta_i^{(k)} \quad (11)$$

$$|V_i^{(k+1)}| = |V_i^{(k)}| + \Delta |V_i^{(k)}| \quad (12)$$

3. SİMULASYON ÇALIŞMALARI

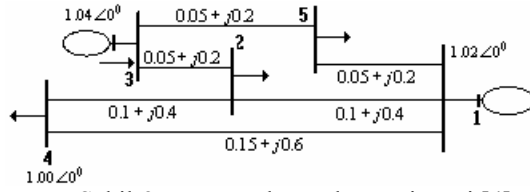
Şekil -2.'de 5 baralı örnek bir güç sistemi gösterilmiştir. Sisteme ait güç değerleri EK A'da verilmiştir. İlk yük akışı analizinde 1 numaralı üretim barası salınım barası seçilerek, dengeli bir çalışma noktasından başlayıp bir yüklenme faktörü (λ) ile artırılmış ve güç akışı denkleminin tekil noktaya (Newton- Raphson iterasyonunun ıraksadığı) ulaşıncaya kadar devam edilmiştir. Bu durumda aşağıdaki gibi bir ifade yazılabilir.

$$P_i = P_0(1+\lambda) \quad (12)$$

$$Q_i = Q_0(1+\lambda) \quad (13)$$

Burada P_0 ve Q_0 başlangıç anındaki güçlerdir. P_i ve Q_i i .barada λ ile belirlenen aktif ve reaktif güçlerdir [7]. İşlemler Newton-Raphson metodunun ıraksadığı noktaya kadar sürdürülmüştür. İraksamanın nedeni ya

kritik gerilim noktasına yaklaşıldığı için veya sayısal problemler nedeniyle olmaktadır [8].



Şekil-2. Beş Baralı örnek test sistemi [4]

Farklı Salınım Barası Seçimi

Bu bölümde bir önceki bölümde yapılan çalışmada salınım barası olarak seçilen 1 numaralı bara üretim barası haline dönüştürülmüş 3 numaralı bara ise salınım barası olarak belirlenmiştir. Bu durumda (8) denkleminin sınırları aşağıdaki gibi olacaktır.

$$\begin{bmatrix} \Delta P_i^{(*)} \\ \Delta Q_i^{(*)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial P_i^{(*)}}{\partial \delta_i^{(*)}} & \frac{\partial P_i^{(*)}}{\partial V_i^{(*)}} \\ \frac{\partial Q_i^{(*)}}{\partial \delta_i^{(*)}} & \frac{\partial Q_i^{(*)}}{\partial V_i^{(*)}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta_i^{(*)} \\ \Delta V_i^{(*)} \end{bmatrix} \quad \begin{matrix} i=1,..,5 \\ i \neq 3 \end{matrix}$$

Farklı P_1 ve P_3 değerleri için 1 ve 3 numaralı baraların salınım barası seçilmesi durumlarında yük baralarına ait kritik değerleri gösteren sonuçlar Tablo 1,-2 ve -3'de verilmiştir. Şekil -3,4, ve 5'de yük baralarına ait QV eğrileri gösterilmiştir. Kritik noktaların tayini için EK B'de verilen interpolasyon yöntemi kullanılmıştır.

Tablo -1. 2.Baraya ait kritik değerler[S.B: Salınım Barası]

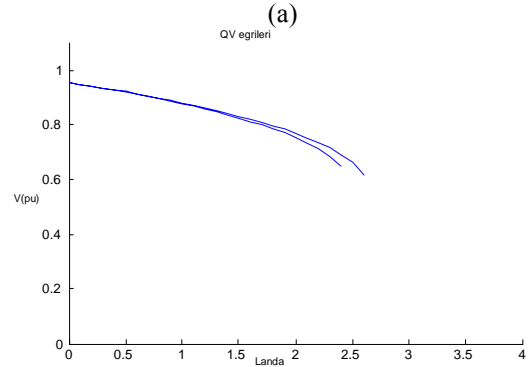
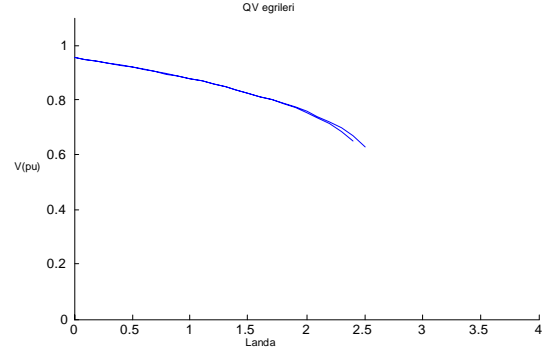
Gen. Güçleri	S.B:	$V_2(pu)$	$P_2(pu)$	$\%V_{krt}$	$\%P_{krt}$
Güçler eşit	1	0.588	2.0758	-1.74	2.158
	3	0.578	2.1216		
Güçler farklı	1	0.588	2.0758	-2.06	4.54
	3	0.576	2.1747		

Tablo -2. 4.Baraya ait kritik değerler[S.B: Salınım Barası]

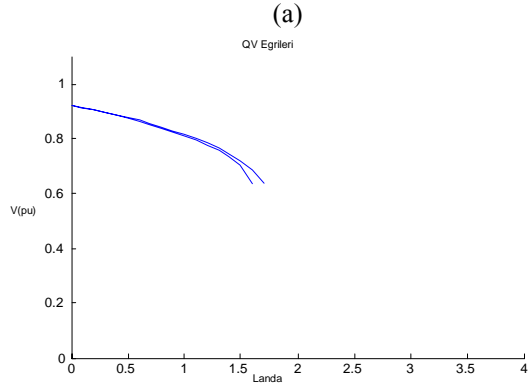
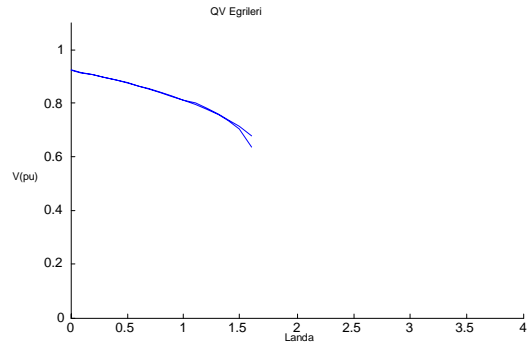
Gen. Güçleri	S.B:	$V_4(pu)$	$P_4(pu)$	$\%V_{krt}$	$\%P_{krt}$
Güçler eşit	1	0.594	1.0776	0.1	0.14
	3	0.594	1.0792		
Güçler farklı	1	0.594	1.0776	0.56	0.89
	3	0.597	1.0873		

Tablo -3. 5.Baraya ait kritik değerler[S.B: Salınım Barası]

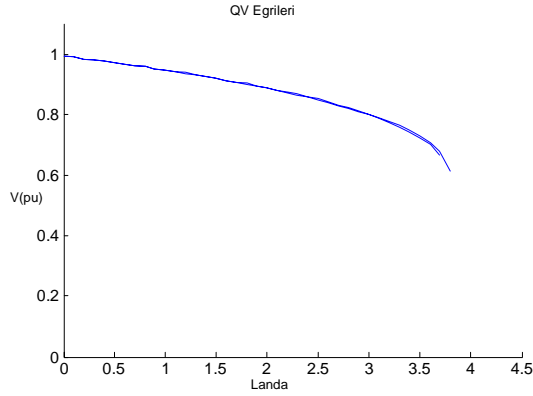
Gen. Güçleri	S.B:	$V_5(pu)$	$P_5(pu)$	$\%V_{krt}$	$\%P_{krt}$
Güçler eşit	1	0.620	2.8451	-0.79	0.98
	3	0.615	2.8734		
Güçler farklı	1	0.620	2.8451	-1.72	5.42
	3	0.61	3.0084		



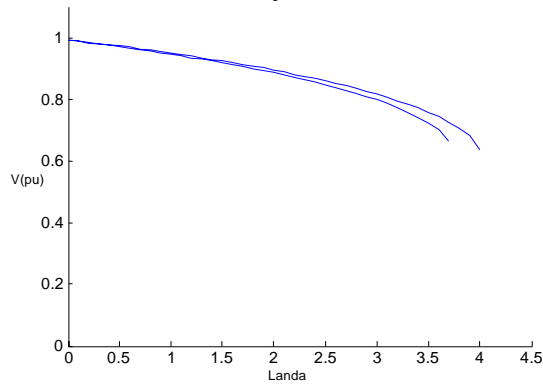
Şekil-3. Farklı salınım barası seçilmesi durumunda 2.Baraya ait sistemin gerilim-güç profilleri a)Generatör güçleri eşit b)Generatör güçleri farklı



Şekil-4. Farklı salınım barası seçilmesi durumunda 4.Baraya ait sistemin gerilim-güç profilleri a)Generatör güçleri eşit b)Generatör güçleri farklı



(a)



(b)

Şekil-5. Farklı salınım barası seçilmesi durumunda 5.Baraya ait sistemin gerilim-güç profilleri
a)Generatör güçleri eşit b)Generatör güçleri farklı

4. SONUÇLAR

Güç akışı çalışmalarını, yaygın bir şekilde yük akışı olarak bilinmekte ve güç sistem analizinin önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Planlama ve kontrol açısından ve ileriye dönük genişlemeler için gerek duyulur. Problem her bir barada gerilimin büyüklüğü ile açısının belirlenmesi ve her bir hattan geçecek aktif ve reaktif gücün bulunmasının istenmesidir. Gerilim kararlılığı incelemelerinin klasik yolu, statik yük akışı analizlerine dayanmaktadır. Gerilim kararlılığı analizlerinde kritik noktaların tayini sistemin planlama ve kontrolü açısından son derece önemlidir. Yapılan incelemeler göstermiştir ki, yük akışı denklemleri çoklu çözümlere sahiptir ve gerilim kararlılığı bu çoklu çözümlerle yakından ilgilidir. Bu çalışmada, yük akışı analizlerinde seçilen salınım baralarının, sistemin yüklenmesi durumunda, kritik noktalarda ne tür değişimler yapacağı gösterilmiştir. Ayrıca salınım baraları arasındaki güç farklılıklarının da etkileri araştırılmış, kritik noktalardaki değişim miktarları belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, salınım baraları arasındaki güç farklılıklarının kritik değerlerde daha fazla bir değişime neden olduğu, eşit güçlü salınım baralarının ise kritik değerlere etkisinin daha az olduğu görülmektedir. Güç farklılıkları

arttıkça kritik değerlerdeki değişmelerin daha fazla olacağı açıktır. Bu nedenle gerilim kararlılığı analizlerinde kritik noktaların tayininde, seçilecek salınım barası etkilerinin de göze alınması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Reactive Power Reserve Work Group. Final Report, voltage stability criteria, undervoltage load shedding strategy, and reactive power reserve monitoring methodology, 1999,p.154.
- [2] Mehmet A.Yalçın, "Enerji Sistemlerinde Gerilim Kararlılığının Yeni Bir Yaklaşımla İncelenmesi", Doktora Tezi, İTÜ, Elk-Elektronik Fakültesi, İstanbul, 1995
- [3] B.C. Lesieutre, P.W.Sauer, M.A.Pai, Existence of solutions for the network/load equations in power systems, IEEE Transactions on Circuits and Systems-I: Fundamental Theory and Applications CAS-I-46 (1999) 1003-1011
- [4] Hüseyin Çakır, "Elektrik Güç Sistemleri Analizi", Nesil Matbaacılık Yayıncılık San. Tic .A.Ş. 1986,İstanbul
- [5] Gleen W.Stagg, Ahmed H.El-Abiad, "Computer Methods in Power System Analysis", Mc.Graw-Hill, Singapore, 1985
- [6] Hadi Saadat, " Power System Analysis" McGraw Hill, 1999
- [7] Zeno T.Faur, "Effects of FAC FACTS devices on Static Voltage Collapse Phenomena", Master's thesis, University of Waterloo, Ontario, 1996
- [8] Venkataramana Ajjarapu, Colin Christy, "The Continuation Power Flow: A Tool for Steady State Voltage Stability Analysis " IEEE Transactions on Power Systems, Vol.7, No.1, pp.416-423, February 1992
- [9] R.Seydel "Assesing Voltage Colapse",Latin American Applied Research, Vol.31.3, 171-176,2001

EK. A

Bu çalışmada kullanılan beş baralı örnek sisteme ait güç değerleri aşağıdaki gibidir. ($S_{baz}=100$ MVA)

Yük Baraları: $P_2=60$ MW, $P_4=40$ MW, $P_5=60$ MW, $Q_2=30$ MVar, $Q_4=10$ MVar, $Q_5=20$ MVar,

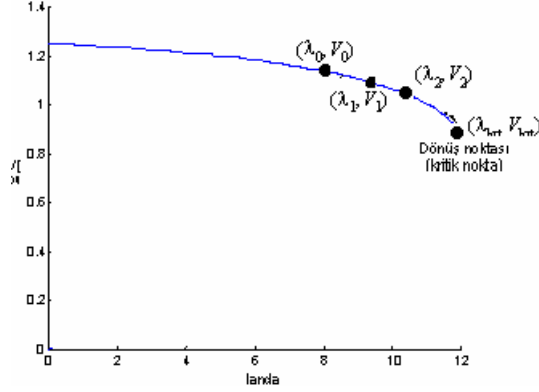
Generatör güçleri (Eşit durumda) = 50'şer MW,
Generatör güçleri(Farklı durumda)= 50 MW;100MW

EK. B

Şekil -6.'da dönüş noktasının bulunması geometrik olarak kolay bir çözümdür. Eğri dönüş noktası civarında parabol eğrisine benzer bir davranış sergiler. (V,λ) düzleminde her bir (V_i,λ_i) noktaları n adet bir parabol ailesi oluşturur. İnterpolasyon parabolü olarak tanımlanan ve 3 noktadan oluşan bir parabol tanımlayalım. Branş boyunca 3 çözüme ihtiyaç vardır. Formülü oluşturmak için (V,λ) düzlemi üzerinde

yoğunlaşılır. Hassas çözüm için kritik noktaya yakın 3 nokta seçilir. Seçilen noktalar (λ_0, V_0) , (λ_1, V_1) , (λ_2, V_2) gibi olsun, $\lambda=P(V)$ olmak üzere;

$$\frac{d\lambda}{dV} = \frac{dP}{dV} = 0 \quad \text{yazılabilir.}$$



Şekil -6. (V, λ) düzlemi üzerinde kritik noktanın tayini için seçilen üç nokta

Bir takım hesaplamalardan sonra (14) bağıntıları elde edilir [9].

$$\begin{aligned} \zeta_1 &= (\lambda_1 - \lambda_0) / (V_1 - V_0) \\ \zeta_2 &= (\lambda_2 - \lambda_0) / (V_2 - V_0) \\ \gamma &= (\zeta_2 - \zeta_1) / (V_2 - V_1) \end{aligned} \quad (14)$$

$$V_{krt} = \frac{1}{2} (V_0 + V_1 - \zeta_1 / \gamma)$$

$$\lambda_{krt} = (\lambda_1 + V_{krt} - V_0) \cdot [\zeta_1 + \gamma (V_{krt} - V_1)]$$

Yukarıda bulunan λ_{krt} değeri (15) ve (16) denklemlerinde yerine konulduğunda kritik güç değerleri de belirlenmiş olur.

$$P_{krt} = P_0 (1 + \lambda_{krt}) \quad (15)$$

$$Q_{krt} = Q_0 (1 + \lambda_{krt}) \quad (16)$$