

YÜK KARAKTERİSTİKLERİ FARKLI GÜÇ SİSTEMLERİNDE KADEME DEĞİŞTİRİCİ TRANSFORMATÖRLERİN GERİLİM KARARLILIĞINA ETKİSİ

Kadir ABACI¹ Mehmet Ali YALÇIN² Yılmaz UYAROĞLU³ Hüseyin GELBERİ⁴

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

⁴e-posta hgelberi@sakarya.edu.tr

Anahtar sözcükler: Kademe Değiştirici Transformatör, Yük karakteristikleri, Gerilim Kararlılığı

ABSTRAC

An electrical power system consist of many loads that have different characteristics. Load characteristics are known to have a significant effect on systems dynamics. Voltage stability depends on the details particularly the load characteristics. It is very important have to know characteristics of loads and behaviours in the voltage stability. The under load tap changer (ULTC) an important voltage regulation device automatically adjusts its turns ratio in order to keep the load side voltage within an acceptable range. Voltage stability of a power system is related to load characteristics and voltage control devices such as (ULTC) transformers. In this paper, the effects of and distribution ULTCs are investigated static analysis. By using a static load model, it appears initially that the operation of ULTCs can improve the maximum power transfer and can thus be beneficial in improving voltage stability.

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].

Elektrik şebekesi; generatör, transformatör, iletim ve dağıtım hattı ve yüklerden oluşur. Enerji kalitesi şebekenin her noktasında tanımlanabilir, ancak kullanıcı için besleme noktasındaki kalite önem taşır. Enerji kalitesini genellikle lineer olmayan yükler bozar [2]. Elektriksel yükler gerilime karşı çok duyarlıdır ve gerilim kararlılığını etkileyen en önemli faktördür. Üstelik karakteristik yapıları da oldukça farklıdır. Bu nedenle bazı yükler, gerilim değişimleri sonucunda güç sistemini olumsuz biçimde etkileyebilirler. Gerilim kararlılığı çalışmalarında

yüklerin bu davranışlarının bilinmesi çok önemlidir. Gerilim kararlılığı analizlerini yaparken yük karakteristiklerini ve onlara ait modelleri iyi anlamamız gerekir [3].

Bazı yükler gerilim değişimlerine çok çabuk cevap verebilecekleri gibi bazıları çok düşük gerilim seviyelerinde sistemden tamamen ayrılırlar. Eğer yükün tanımlanması yeterince doğru değilse simulasyon sonuçları yükün gerçek davranışına uymayacaktır. Bu da sistemin kararlılık limitinin ilerletilmesini etkileyecektir [4]. Yüklerin gerilim değişimlerine karşı vereceği cevap geliştirilen çeşitli yük modelleri ile elde edilmeye çalışılmaktadır. Bir güç sisteminde yük modellemesi yapılırken yük barasında çok farklı karakteristiklere sahip yüklerin olduğu düşünülmelidir. İyi bir yük modelinden, güç sisteminde herhangi bir bozucu etki sonrası yükün davranışına uyumlu bir cevap vermesi beklenir.

Güç sisteminden çekilen yüklerde sık sık değişimler arzu edilmeyen gerilim değişimlerine neden olur. Bu problemi çözmek için kademe değiştirici transformatörlerden faydalanılır. KDT'ler önemli bir gerilim düzenleyici araçlardır ve otomatik olarak dönüştürme oranları vasıtasıyla yük barasındaki gerilimi istenilen değerlerde tutmaya yararlar[5]. KDT'ler orta sürelimi gerilim kararsızlığı probleminde önemli bir etkiye sahiptir.[6] ve[7] .referanslarda Statik analiz kullanılarak KDT'lerin maksimum güç transferini artırmada ve gerilim kararlılığını iyileştirmede etkileri olduğu gösterilmiştir.

Bu çalışmada KDT olan güç sistemlerinde farklı karakteristik yapıda bulunan çeşitli yüklerin gerilim kararlılığı analizleri yapılmıştır.

Statik analizler yapılarak KDT'nin gerilim kararlılığını iyileştirici etkileri gösterilmiş,özellikle farklı karakteristik yapıdaki yüklerle sahip sistemlerde bu iyileştirici etkiler ayrı ayrı incelenmiştir. Ayrıca hattın şönt kapasitesinin farklı tip yüklerdeki iyileştirici etkileride gösterilmiştir.

II. ELEKTRİKSEL YÜKLER VE YÜK MODELLEMESİ

Elektrik güç sistemlerinde yüklerin karakteristikleri çeşitlilik göstermektedir. Gerilim değişimine karşı

davranışları bakımından yükler üç ana grupta toplanabilirler.

1- Sabit empedans yükleri: Aydınlatma, ısıtma, ark ocakları gibi ağırlıklı olarak omik karakterlidir. Gerilimdeki küçük değişimler için güç değişimi yaklaşık iki kat olmaktadır. Gerilim kararlılığı açısından bu tür yüklerin etkileri açıktır.

2- Sabit akım yükleri: Özellikle, metalurji ve elektrokimya alanlarında, metal parlatma, metal kaplama, elektroliz uygulamalarında kullanılan tekniğin esası sabit akım çekmeye dayalıdır. Gerilimdeki küçük değişimler için güç yaklaşık olarak aynı oranda değişmektedir.

3- Sabit güç yükleri: Kontrollü empedans yükleri ve asenkron motorlar bu grubu oluştururlar. Asenkron motor yüklerinin gerilim değişimine karşı cevapları, çektikleri aktif gücün gerilim değişimini adım artımı (veya azalması) ile izleyip daha sonra başlangıç değerine dönmeye çalışması şeklindedir [8].

Yüklerin bu davranışlarından dolayı onlara ait çok sayıda çeşitli model yaklaşımları yazılmıştır. Bunlar statik yük modelleri (sabit empedans, sabit güç, sabit akım ve bu modellerin kombinasyonları ile) dinamik yük modelleri (generic dynamics load modelling) olarak iki ana gruba ayrılabilir [9].

2.1 Üstel yük modelleri

Yaygın bir şekilde kullanılır ve üstel yük olarak bilinir.

$$P = P_0 \left(\frac{V}{V_0} \right)^z \quad (1)$$

$$Q = Q_0 \left(\frac{V}{V_0} \right)^z \quad (2)$$

V_0 referans gerilimi z yük tiplerine bağlıdır (motor, ışık, ısı,...). P ve Q V_0 referans gerilimine göre V gerilimi altında tüketilen aktif ve reaktif güçlerdir. Bunlar nominal güç yükleri olarak isimlendirilir. Burada $z = 2$ olduğunda sabit empedans yükü, $z = 1$ olduğunda sabit akım yükü ve $z = 0$ olursa sabit güç yükleri karakteristiğini verir [10].

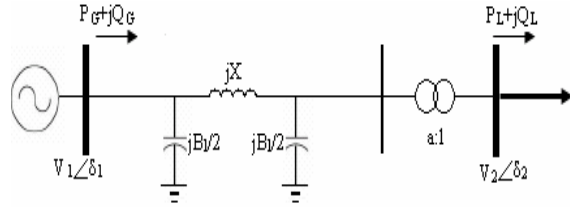
III. GÜÇSİSTEMİNİN MODELLENMESİ

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 nonlineer denklem takımları elde edilir ve iteratif tekniklerle çözümlenir. Güç akışı çalışmaları güç sistem analiz ve tasarımında temel görev üstlenir [11].

3.1 İki baralı Örnek Sistemin Tanıtılması

Şekil 1.de iki baralı basit bir güç sistemi gösterilmiştir.. Basitleştirmek amacıyla hattın omik

direnci ihmal edilmiştir. Generatör barasından üretilen güç ve Yük barasından talep edilen güç sırasıyla $P_G + jQ_G$ ve $P_L + jQ_L$ şeklindedir. X ve B_l hattın empedansı ve şönt kapasitesini, a ve X_t ise KDT'nin dönüştürme oranı ve kaçak reaktansını göstermektedir. Generator barası gerilimi V_1 sabit ve 1.p.u olarak alınmıştır.



Şekil 1. İki baralı örnek sistem

Güç akışı eşitlikleri kullanılarak baralardan çekilen aktif ve reaktif güç değerleri denklem 3, 4, 5 ve 6' da verilmiştir.

$$\delta = \delta_1 - \delta_2 \quad \zeta = 1 - \frac{XB_1}{2}, \xi = 1 - \frac{XB_1}{4} \quad \text{olmak üzere}$$

$$P_G = \frac{B_l \xi X + \zeta^2}{a^2 X_t \zeta + X} a V_1 V_2 \sin \delta \quad (3)$$

$$Q_G = \frac{(\zeta - a^2 X_t B_l \xi) V_1^2 - (a B_l \xi X + a \zeta^2) V_1 V_2 \cos \delta}{a^2 X_t \zeta + X} \quad \dots (4)$$

$$P_L = \frac{1}{a^2 X_t \zeta + X} a V_1 V_2 \sin \delta \quad (5)$$

$$Q_L = \frac{a V_1 V_2 \cos \delta - V_2^2 a^2 \zeta}{a^2 X_t \zeta + X} \quad (6)$$

Sürekli kademe değiştirici modeli

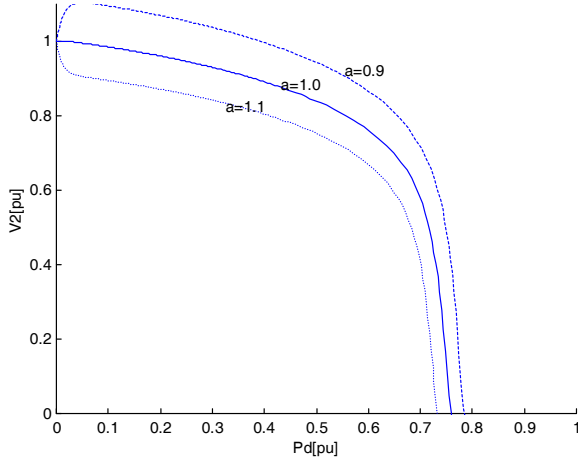
Bu model $r(t)$ 'nin sürekli bir şekilde değişimine dayanır. $r(t)$ r_{min} ile r_{max} arasındaki tüm gerçek değerleri alabilir. Genellikle sürekli kademe değiştirici modelde ayarlanan band sınırlarının etkisi ihmal edilir. Bu nedenle diferansiyel eşitlik aşağıdaki gibi [10] yazılabilir.

$$T_c \dot{r} = -V_2 + V_2^0 \quad r^{max} \leq r \leq r^{min} \quad (7)$$

Denklem (7) kullanıldığı zaman kademe değiştiricinin bir integral karakteristik kontrollü olarak modellendiğine dikkat edilmelidir. Sürekli kademe değiştirici modeli ayrık kademe değiştirici modellerinden daha az doğrudur, fakat faydalı bir yaklaşımdır. Özellikle analitik çözümler için elverişlidir. Zaman simülasyonlarında kullanımı sınırlıdır. T_c zaman sabiti olarak yazılabilir. Pratikte mekanik zaman gecikmesinin (T_m) önüne geçilemeyeceğine göre bunu kompanze etmek için daha büyük bir zaman sabitine ihtiyaç duyulur.

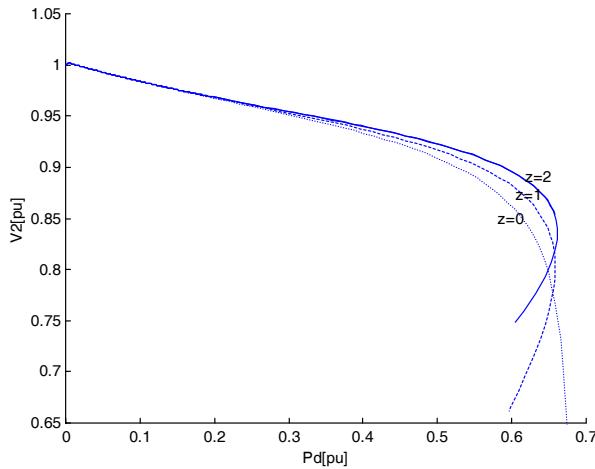
IV. SİMULASYON SONUÇLARI

Yapılan simülasyon çalışmalarının ilk bölümünde yük barasında sabit güç yükü karakteristiğinde $z=0$ yüklerin baskın olduğu bir durum düşünülmüştür. Hattın parametrik değerleri $X=0.5$ p.u ve $B_1=0.01$ p.u, KDT'nin kaçak reaktansı $X_f=0.1$ p.u olarak alınmıştır. Yük barasından $0.6 + j0.2$ p.u değerinde yük çekildiği farzedilmiştir. KDT'nin dönüştürme oranları sırasıyla 0.9, 1 ve 1.1 seçilerek her üç durumda kararlılık analizleri yapılmış ve P-V eğrileri çizdirilmiştir. Bu duruma ait grafik Şekil 2.dedir.



Şekil 2. $z=0$ için KDT' li güç sistemlerinde P-V eğrileri

Buradan KDT'nin maximum güç transferini artırıcı ve kararlılığı iyileştirici etkileri görülebilir. Elektriksel yüklerin çeşitlilik göstermeleri ve farklı karakteristik yapıda olmaları nedeniyle yük barasında bu tür yapıda yükler oluşturularak kararlılık analizleri yapılmıştır. Bu simülasyonlar yapılırken yukarıda verilen parametreler aynen kullanılmış ancak yük barasında sabit empedans, sabit akım ve sabit güç yükleri olmak üzere üç farklı tiplerde yükler olduğu farzedilmiştir.

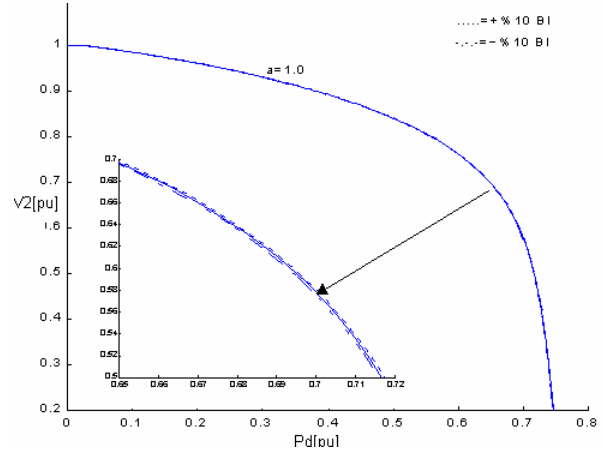


Şekil 3. $z=0, z=1, z=2$ için KDT' li güç sistemlerinde P-V eğrileri

Bu durumda elde edilen sonuçlar Şekil' 4. de gösterilmiştir. Buna göre yük barasında sabit empedans karakteristikli ($z=2$) yüklerin gerilim kararlılığı açısından daha iyi sonuçlar verdiği açıkça sabit güç yüklerinde ise ($z=0$) bu tür yüklerin gerilim kararlılığı açısından en olumsuz tür olduğu görülmektedir. Bu tür yüklerin kararsızlığa daha meyilli olduğu ve daha çabuk çökme sürecine girdiği gözlenmiştir.

4.1 Hattın Şönt Kapasitesinin(B_1) etkisi

Bu bölümde 4 numaralı denklemde bulunan B_1 değerlerinin değişimlerinin gerilim kararlılığına etkileri incelenmiştir. Bunun için en elverişli analiz metodu P-V eğrilerinin elde edilmesidir. KDT'nin kademe değiştirme oranı 1.0, B_1 başlangıçta 0.01 p.u olarak alınmıştır. Şekil 3 de verilen P-V eğrilerinde Kesik noktalı eğriler B_1 'nin 0.009 p.u ve noktalı çizgiler ise 0.011 p.u değerlerinde elde edilmiştir. Burada B_1 'nin artması kararlılığı olumlu yönde etkilemektedir.



Şekil 4. $z=0$ için KDT' li güç sistemlerinde hattın şönt kapasitesinin (B_1) iyileştirici etkisi

V. SONUÇLAR

Bu makalede kademe değiştirici transformatörlerin statik analizleri gerçekleştirilmiştir. Statik analizler gerçekleştirilirken statik yük modeli kullanılmıştır. Analiz sonuçlarına göre, maksimum güç transferini artırdığı ve gerilim kararlılığını iyileştirici etkileri gözlemlenmiştir. Elektrik güç sistemleri farklı karakteristik yapıdaki yüklere sahip olduğundan bu tür durumlarda KDT'nin kararlılığa katkılarını araştırmak amacıyla yapılan simülasyonlarda sabit empedans karakteristikli yüklerin diğer yük türlerine nazaran daha kararlı kalabildikleri gösterilmiştir. Sabit güç karakteristikli yüklerin ise kararsızlığa daha meyilli oldukları gözlenmiştir. Bu nedenle KDT'li güç sistemlerinde çökme sürecine daha hızlı giren bu tip yüklerde kararlılığın iyileştirilmesi için müdahale (reaktif güç desteği, KDT kademe oranı

değişimi, bozucu etkinin ortadan kaldırılması v.b) diğerlerine nazaran daha erken yapılmalıdır. Bu makalede yapılan bir başka çalışmada ise hattın şönt kapasitesinin etkileri araştırılmış ve gerilim

kararlılığına olan iyileştirici etkileri gösterilmiştir. Buna göre paralel hatlardan birinin devre dışı olması durumlarında hattın şönt kapasitesinin etkileride düşünülmelidir.

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] Nejat Tuncay , “ Elektrik Enerji Kalitesinin Tanımı”,Elektrokent perpa dergisi,Ocak-Şubat 2001
- [3] K.Abacı, “Gerilim kararlılığı açısından elektriksel yük Modelleri”, Y.Lisans tezi, SAU,Fen Bilimleri Enstitüsü,2002,Sakarya
- [4] Chiev-Yann Chiou ,Chiang-Tsang Huang,Wen-Shiow Kao “Dynamic Load Modelling in Taipower System Stability Studies” IEEE Transactions on power systems, , Vol.10, pp. 907-913,
- [5] Feng Dong, Badrul H. Chowdhury, Mariesa L. Crow,Levent Acar, “Impact of Load Tap Changing Transformers on Power Transfer Capability”, Electric Power Components and Systems, 32:1331–1346, 2004
- [6] T. X. Zhu, S. K. Tso, and K. L. Lo, “An investigation into the OLTC effects on voltage collapse,” IEEE Trans on Power Systems, vol. 15, no. 2, pp. 515–521, 2000.
- [7] C. D. Vournas, “On the role of LTCs in emergency and preventive voltage stability control,” IEEE Power Engineering Society Winter Meeting, New York, NY, January 2002.
- [8]Yalçın Mehmet Ali., 1995. Enerji Sistemlerinde Gerilim Kararlılığının Yeni Bir Yaklaşımla İncelenmesi ,Doktora Tezi, İTÜ, Elk-Elektronik Fakültesi,İstanbul,
- [9]Yongsheng Wang, May 1997. Power System Load M Modelling, Preliminary report, prepared for Transpower NZ Ltd, Department of Electrical and Electronic Engineering, University of Auckland,
- [10] Thierry Van Cutsem, costas Vournas, “Voltage Stability of Electric Power Systems”,Kluwer Academic Publishers, 2001
- [11]Hadi Saadat, “Power System Analysis” McGraw Hill, 1999