

ELEKTRİKSEL YÜKLERİN DİNAMİK BENZETİMLERİ

Kadir Abacı, Mehmet Ali Yalçın, Hüseyin Gelberi

Özet- Bir elektrik güç sistemi farklı karakteristiklere sahip yüklerden oluşmaktadır. Yük karakteristiğinin sistem dinamiği üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu bilinmektedir. Güç sistemlerindeki gerilim kararlılığı özellikle yük karakteristiklerine bağlıdır. Gerilim kararlılığı analizlerinde, yüklerin karakteristiklerini ve davranışlarını bilmek çok önemlidir. Enerji kalitesi genellikle lineer olmayan yükler tarafından olumsuz bir biçimde etkilenir. Bu çalışmada gerilim değişimlerinin çeşitli yükler üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Anahtar kelimeler- Yük Karakteristikleri, Gerilim Kararlılığı, Dinamik Davranış.

Abstract- An electrical power system consists of many loads that have different characteristics. Load characteristic is known to have a significant effect on systems dynamics. Voltage stability in the power systems particularly depends on the load characteristics. It is very important to know characteristics and behavior of loads in the voltage stability analyses. The energy quality is usually affected negatively by nonlinear loads. In this study the effects of voltage changes on various loads have been examined.

Key words- Load Characteristics, Voltage Stability, Dynamic Behaviour.

I.GİRİŞ

Elektrik şebekesi; jeneratör, transformatör, iletim ve dağıtım hattı ve yüklerden oluşur. Şebeke ve yükler L, R, C ile bağımlı akım ve gerilim kaynaklarıyla modellenir. Enerji kalitesi şebekenin her noktasında tanımlanabilir, ancak kullanıcı için besleme noktasındaki kalite önem taşır. Enerji kalitesini genellikle doğrusal olmayan yükler bozar [1]. Gerilim kararlılığı öncelikle yük karakteristiklerine bağlıdır. Yükler iletim hatları üzerinden dağıtım şebekelerine ve jeneratör tesislerine

bağlıdır. Gerilim kararlılığı analizleri yapılırken, yük karakteristiklerinin ve onlara ait modellerin iyi anlaşılması gerekir.

Yüklerin gerilime duyarlılığı önemlidir ve kritik sonuçlar doğurabilir (Bazı yükler frekansa duyarlı olmasına rağmen özellikle gerilim değişimleri frekanstan çok daha fazladır) [2]. 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 [3].

Yüklerin gerilim değişimlerine karşı vereceği cevap, geliştirilen çeşitli yük modelleri ile elde edilmeye çalışılmaktadır. Bir güç sisteminde yük modellenmesi yapılırken yük barasında çok farklı karakteristiklere sahip yüklerin olduğu düşünülmelidir. Yük karakteristiklerinin çeşitlilik göstermesi nedeniyle onlara ait çok sayıda çeşitli model yaklaşımları yazılmıştır. Bu modeller genel olarak statik ve dinamik yük modelleri şeklinde iki kısma ayrılabilir. Statik yük modelleri, zamanla değişmeyen ve yükü, bara geriliminin ve/veya frekansının o an ki fonksiyonu olarak vermelerinden dolayı güç sisteminin ve yük karakteristiklerinin dinamik davranışlarına cevap vermekte yetersiz kalmaktadır [4]. Bu nedenle dinamik yük modelleri daha elverişli sonuçlar vermektedir.

Bu çalışmada, elektrik güç sistemlerinde farklı karakteristiklere sahip çeşitli yüklerin gerilim değişimlerine karşı davranışları araştırılmıştır. Bu araştırmalar yapılırken genellikle yük dinamiklerini sergilemesi açısından dinamik yük modelleri tercih edilmiştir.

II. ELEKTRİKSEL YÜKLER

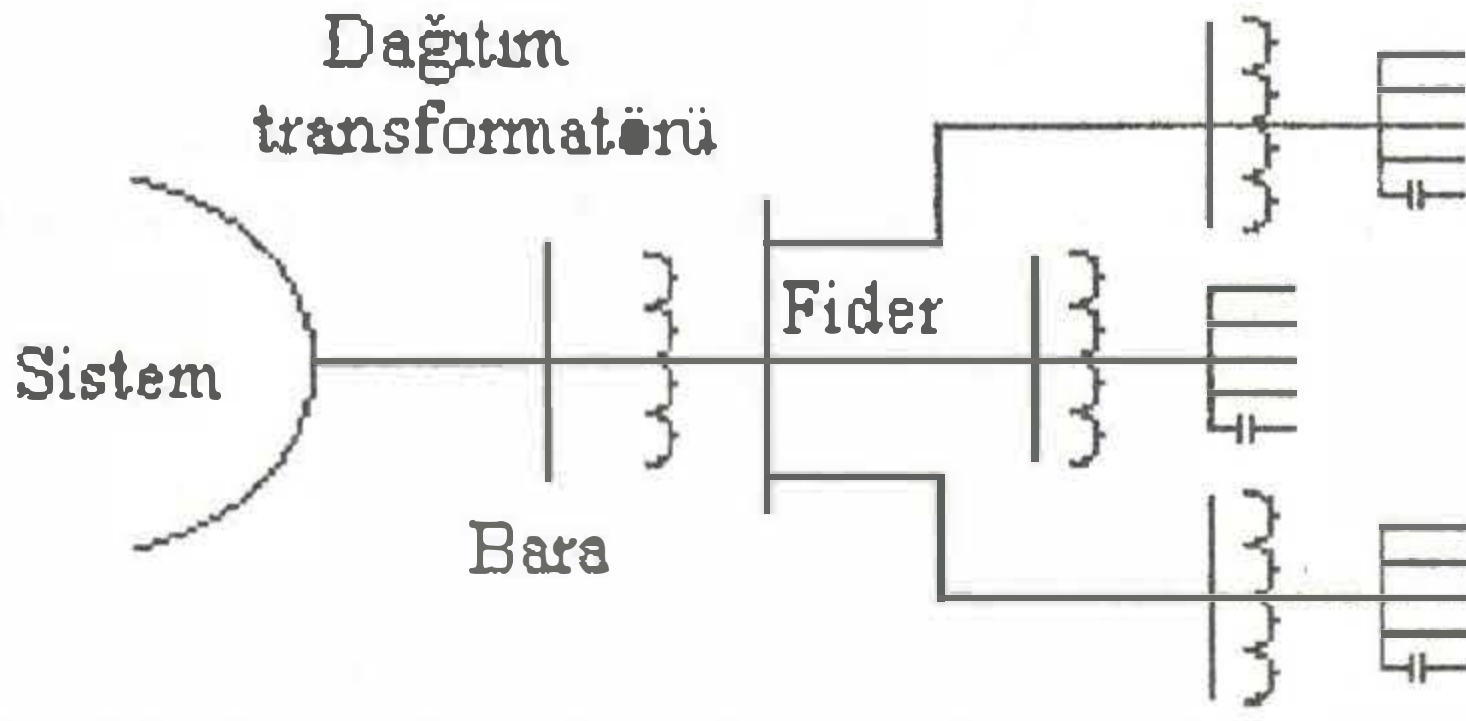
II.1 Yük Tanımı

Yükler; motorlar, aydınlatma lambaları ve diğer elektrik ekipmanlarının oluşturduğu yüzlerce veya binlerce bireysel cihazların toplamını göstermektedir. Güç sistemleri mühendisliğinde yük kavramı çeşitli biçimlerde ifade edilebilir: Yük;

- Bir güç sistemine bağlanan bir cihazın tükettiği güç,
- Güç sistemine bağlı tüm cihazlar tarafından çekilen toplam aktif ve/veya reaktif güç,
- Kısmen bir jeneratör veya bir üretim tesisinin çıkış gücü şeklinde tanımlanabilir [5].

Yük, Şekil 1' de gösterildiği gibi yukarıdaki tanımlamalarla sınırlı kalmayıp aşağıdakilerden bazıları veya hepsi de olabilir.

- Dağıtım tesisleri kademe düşürücü transformatörler.
- Altiletim fiderleri.
- Birincil dağıtım fiderleri.
- Dağıtım transformatörleri.
- İkincil dağıtım fiderleri.
- Şönt kapasitörler.
- Gerilim regülatörleri.
- Tüketici transformatörleri ve kapasitörler [6].



Şekil 1. Yük Barası cihazlarla birlikte fiderler, transformatörler ve şönt kapasitörleri içerir.

Gerilim değişimine karşı davranışları bakımından yükler üç ana grupta toplanabilirler:

- 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.
- 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.
- 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.

Ayrıca bir yük, karakteristiğine bağlı olarak, gerilim değişimlerine karşı, zaman içinde farklı gruplarda da bulunabilir. Buna örnek olarak; esas karakteristiği sabit güç grubuna giren asenkron makinaların, ani gerilim değişimlerine karşı ilk anda sabit empedans

karakteristiği göstermesi verilebilir. Bu durum özellikle gerilim kararlılığının dinamik davranışları bakımından önemli bir özelliktir [7].

II.2 Yüklerin Statik ve Dinamik Karakteristikleri

Aktif güç, gerilim ve güç faktörü gibi parametreler bir yükün karakteristik davranışını belli eder. Bu terimler bir yükün sınıflandırılmasında, bir baradaki yükün oluşturulmasında veya bilinen bir yük cihazına uygulanabilir [7].

Sürekli halde bir çok yük bileşenlerinin talebi sistem frekansı (f) ve bara gerilimine (V) bağlıdır. Statik yük karakteristiği olarak isimlendirilen aktif ve reaktif gücün gerilim ve frekansa bağlı ifadesi $P(V,f)$, $Q(V,f)$ şeklindedir. Frekans sabit iken $P(V)$ ve $Q(V)$ gerilim karakteristiği, gerilim sabit iken $P(f)$ ve $Q(f)$ frekans karakteristiği olarak isimlendirilir. Burada temel olarak gerilim değişimi ile ilgilenilecektir. Yükün aktif ve reaktif güç ifadesinin gerilimin bir fonksiyonu olarak yazılmasıyla yük karakteristiği elde edilir ve bağlı bulunduğu ekipmanların miktarına bağlı bağımsız bir z değişkeni tanımlanarak yük karakteristiğinin genel formu elde edilir.

$$P=P(V,z)$$
$$Q=Q(V,z)$$

Burada z 'ye 'yük talebi' ismi verilir ve bir z değeri için yukarıdaki eşitlikler P,Q,V uzayında bir eğri belirler [8].

III. YÜK MODELLERİ

Yük modeli; kısaca bir baraya akan akım ve güç ile bara gerilimi arasındaki ilginin matematiksel ifadesidir [6].Yük karakteristiklerinin sistem dinamiği üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu bilinmektedir. Yanlış yük modellemesi, güç sistemini gerçek bir sistem çökmesine yada ayrılmasına kadar götürebilmektedir. Doğru yük modellemeleri sistem dinamiği esnasında yükün davranışını yakalamakta ve böylece güç sistemleri kararlılık ve kontrol limitleri kesin olarak hesaplanıp çalışma ve planlama noktalarında kritik değerler bilinebilmektedir [9]. Bu konuda yapılan birçok çalışmada, analiz sonuçlarında yükün tanımlanmasının önemli bir etkiye sahip olduğunu belirtilmektedir. Bu nedenle geliştirilen yük modeli çok önemlidir [10].

III.1 Statik Yük Modelleri

Bu tür modeller zamanın herhangi bir anında aktif veya reaktif gücü, bara geriliminin ve/veya frekansının aynı andaki bir fonksiyonu olarak ifade edilmesi şeklindedir [6].

Bu modeller, statik ve zamanla değişmeyen olduğu için, çeşitli çalışma durumlarında yük davranışları başarılı bir şekilde elde edilememektedir.

$$P = z P_0 \left(\frac{V}{V_0}\right)^\alpha \quad (3.1a)$$

$$Q = z Q_0 \left(\frac{V}{V_0}\right)^\beta \quad (3.1b)$$

Formüllerde 'z', boyutsuz bir talep değişkenidir. V_0 referans gerilimi α ve β yük tiplerine bağlıdır (motor, ışık, ısı,...). zP_0 ve zQ_0 , V_0 referans gerilimine göre V gerilimi altında tüketilen aktif ve reaktif güçlerdir. Bunlar nominal güç yükleri olarak isimlendirilir. Burada $\alpha = \beta = 2$ olduğunda sabit empedans yükü, $\alpha = \beta = 1$ olduğunda sabit akım yükü ve $\alpha = \beta = 0$ olduğunda ise sabit güç yükleri karakteristiğini verir [8].

Bu tür statik modeller sadece ± 10 'luk bir gerilim değişimleri için geçerli olabilir. Deşarj lambaları ve motorlarda büyük gerilim değişimleri için bu modeller yeterli değildir. Üstel modellerle yapılan dinamik simulasyonlarda üs değerinin 1'den daha küçük olduğu durumlardan şüphelenilmelidir [2].

III.2 Dinamik Yük Modelleri

Bu tür modeller zamanın herhangi bir anında aktif veya reaktif gücü, bara geriliminin ve/veya frekansının bu anın bir öncesi ve bir sonrası anlarının bir fonksiyonu olarak ifade edilmesi şeklindedir [6].

Aynı dağıtım tesislerinin yük davranışlarının günün aynı anı veya yılın aynı mevsiminde çok büyük değişimlerde olduğu gözlemlenir veya benzer hava şartlarında farklı dağıtım tesislerinde de bu değişim farkedilebilir. Ayrıca yük davranışları çeşitli hava şartlarında gece ve gündüz arasında farklılık gösterebilir. Yüklerin modellenmesindeki bu problemler nedeniyle yükler kolay bir şekilde adreslenemez.

Bir çok yük bileşenlerinden oluşan dağıtım tesisleri yüklerinin modellenmesi için, toplam yük modellemesi esas alınarak bir model kullanılır. Çoğu durumlarda dağıtım tesislerinin yükleri kendi aralarında bazı bölümlere ayrılabilir [8].

Güç ifadeleri geçici halde aşağıdaki formüller ile tanımlanabilir;

$$P = z_p P_0 \left(\frac{V}{V_0}\right)^{\alpha_t} \quad (3.2a)$$

$$Q = z_q Q_0 \left(\frac{V}{V_0}\right)^{\beta_t} \quad (3.2b)$$

(z_p ve z_q yük dinamikleri ile ilgili boyutsuz durum değişkenleridir), sürekli halde, modelin gerilim karakteristiği;

$$P_s = P_0 \left(\frac{V}{V_0}\right)^{\alpha_s} \quad (3.3a)$$

$$Q_s = Q_0 \left(\frac{V}{V_0}\right)^{\beta_s} \quad (3.3b)$$

formülleri ile ifade edilebilir. Genellikle geçici hal denklemindeki üslü terimler α_t , β_t sürekli haldeki α_s , β_s terimlerinin herbirinden daha büyük değerlere sahiptir. Bu modelin yük dinamik eşitliği aşağıdaki gibi verilebilir:

$$T_P \dot{z}_P = \left(\frac{V}{V_0}\right)^{\alpha_s} - z_P \left(\frac{V}{V_0}\right)^{\alpha_t} \quad (3.4a)$$

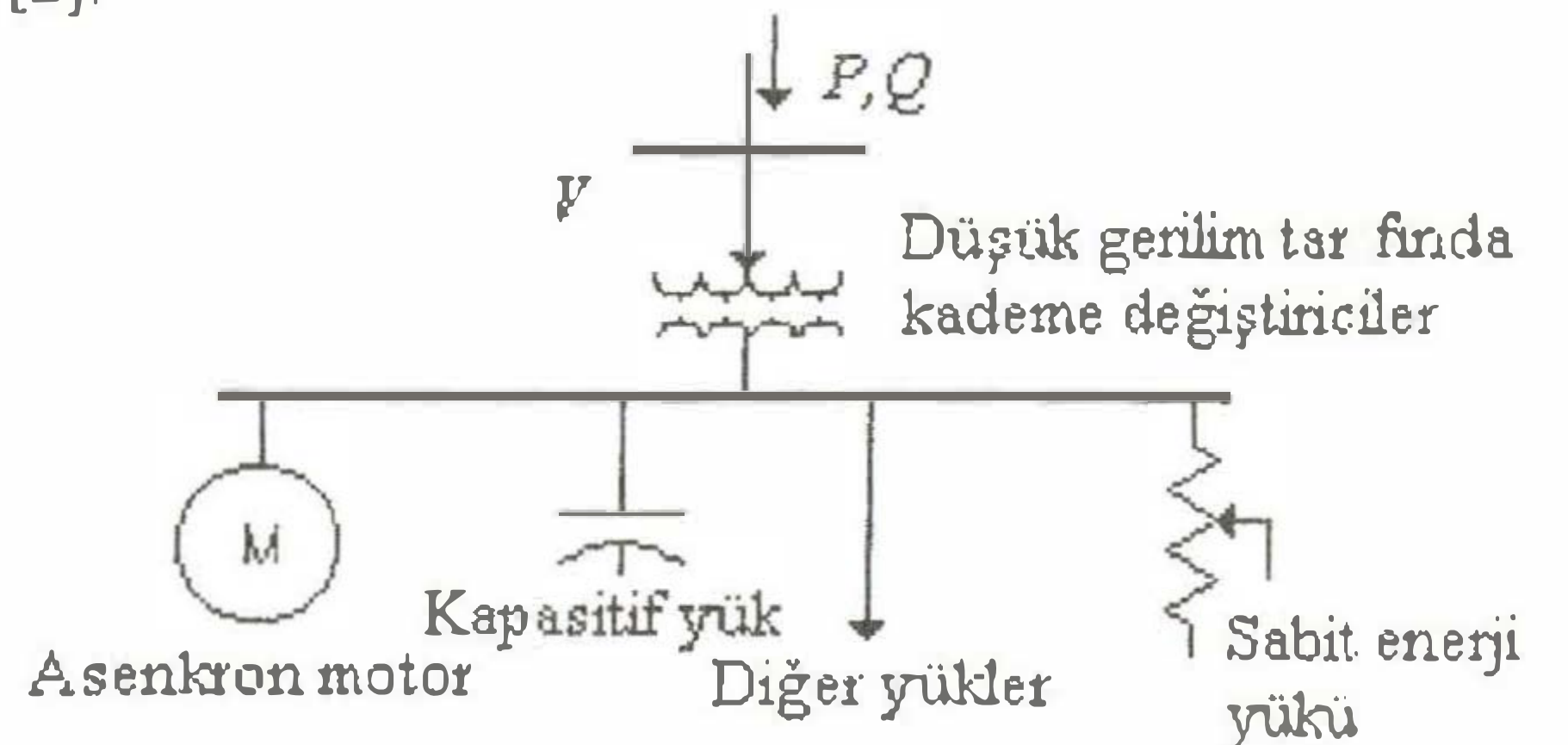
$$T_Q \dot{z}_Q = \left(\frac{V}{V_0}\right)^{\beta_s} - z_Q \left(\frac{V}{V_0}\right)^{\beta_t} \quad (3.4b)$$

Burada T_P ve T_Q zaman sabitleridir. Modelin başlangıç değerleri $z_P = z_Q = 1$ ve sürekli halde $V = V_0$ olur [8].

IV. YÜK DİNAMİKLERİ

Çeşitli yük bileşenleri ve kontrol mekanizmaları yükü iyileştirmeye ve en azından belirli bir değerde tutmaya çalışmaktadır. Aktif yük (P) üç mekanizma tarafından eski konumuna döndürülmeye çalışılır.

- i- Asenkron motorlar aniden değişen gerilimlerde birkaç saniyede mekanik ataletlerine uymak için çabuk bir şekilde cevap verirler. Kaynak tarafında ani bir değişim derhal asenkron motoru empedans bir yük gibi harekete geçirir. Bu eşdeğer devre denklemlerinden açık bir şekilde görülür. Kayma, motorun eylemsizliği yüzünden aniden değişmez. Gerilimin yavaş azalması ve diğer ekipmanların yavaş dinamikleri yüzünden bu tür yükler sabit aktif güç yüküne iyi bir örnektir.
- ii- Büyük güçlü servis ve dağıtım transformatörlerinde otomatik kademe değiştiriciler ve dağıtım gerilim regülatörleri yük tarafındaki gerilimi iyileştirmeye çalışır. Bunlar 10 sn ve daha uzun bir sürede yükü ilk haline getirmeye çalışırlar. Reaktif güç şönt kompanzasyonların reaktif çıkış gücü ile iyileştirilir.
- iii- Sabit enerjili omik yükler sıcaklık ve manuel kontroller tarafından ilk durumlarına dönüştürülür [2].



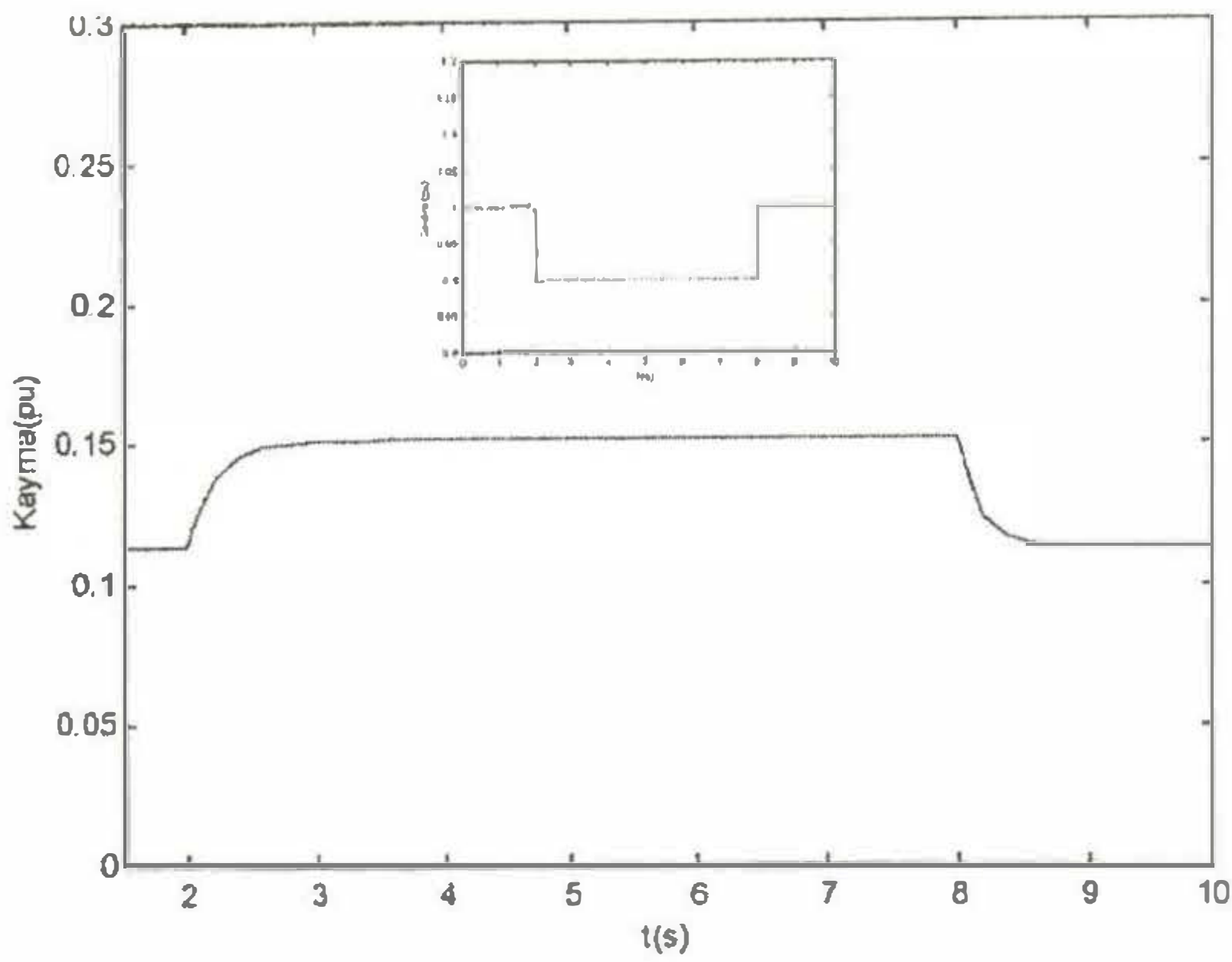
Şekil 2. Üç mekanizma tarafından toparlanan gerilime duyarlı yükler.

Bu yaklaşımlar için tüm yük dinamiklerini birinci mertebeden basit bir zaman sabiti kullanarak modelleyebiliriz. Bu tür yüklerin bağlı bulunduğu büyük bir güç dağıtım yük barası Şekil 2’de gösterilmiştir.

Bu yüklerin durum değişkenleri sırasıyla motor için (s), kademe değiştiriciler için kademe oranı (r) ve sabit enerjili omik (termostat kontrollü) yükler için kondüktans (G)’ dir. Her bir durum değişkeni sıfırdan başlayarak artacak maksimum değerlere vardığında azalacaktır. Asenkron motorlar için uygulanabilir birinci mertebeden diferansiyel denklem;

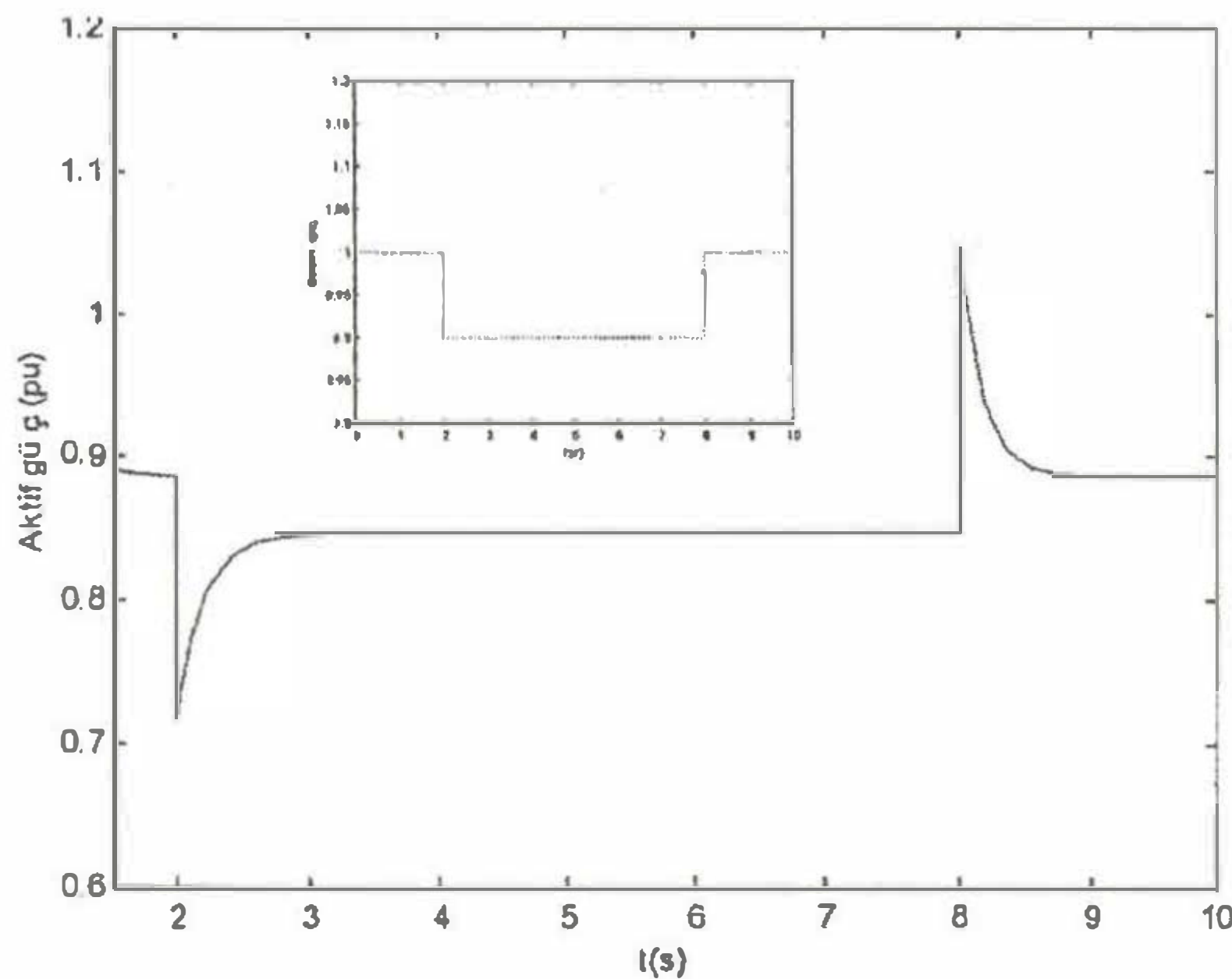
$$2H\dot{s} = T_m(s) - T_e(V, s) \quad (4.1)$$

şeklindedir. Formülde; H eylemsizlik sabiti, ‘ T_m ’ mekanik kayıpları da içeren mekanik torktur ve sabit kabul edilir.



Şekil 3. Motor yükleri için kaymanın değişimi

Gerilimde meydana gelen bir azalma sonrasında kayma artmaktadır. Şekil 3’ de görüldüğü gibi arıza temizlenmesi sonrasında motor sabit gücüne dönmekte bu arada kayma da azalmaktadır. Asenkron motor yüklerinin güç değişimleri ise Şekil 4’de ki gibi olmaktadır. Makalede verilen sonuçların elde edilmesi için, kullanılan eşdeğer devre parametreleri EK’ de verilmiştir.

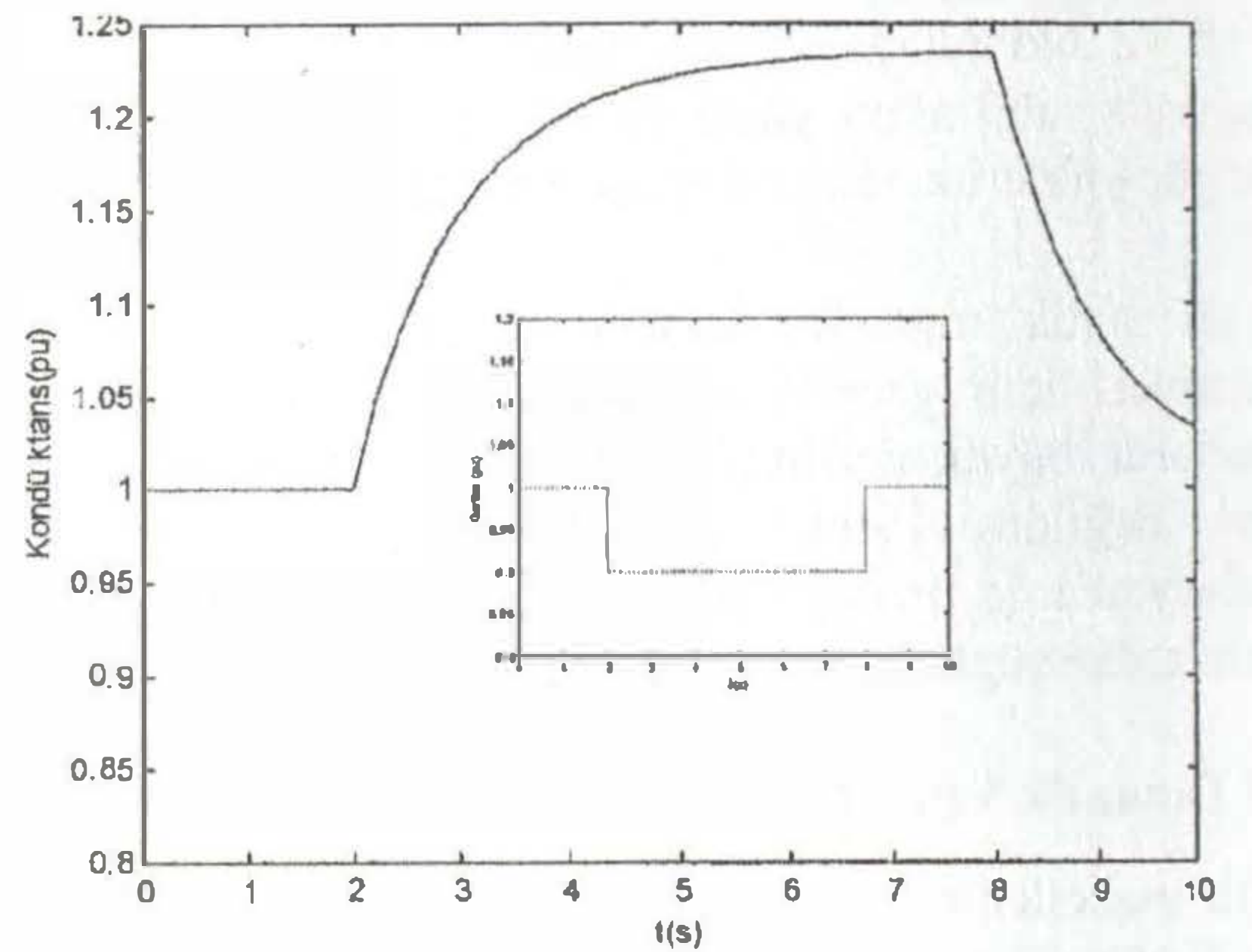


Şekil 4. Asenkron motorun gerilim değişimine karşı verdiği aktif güç cevabı

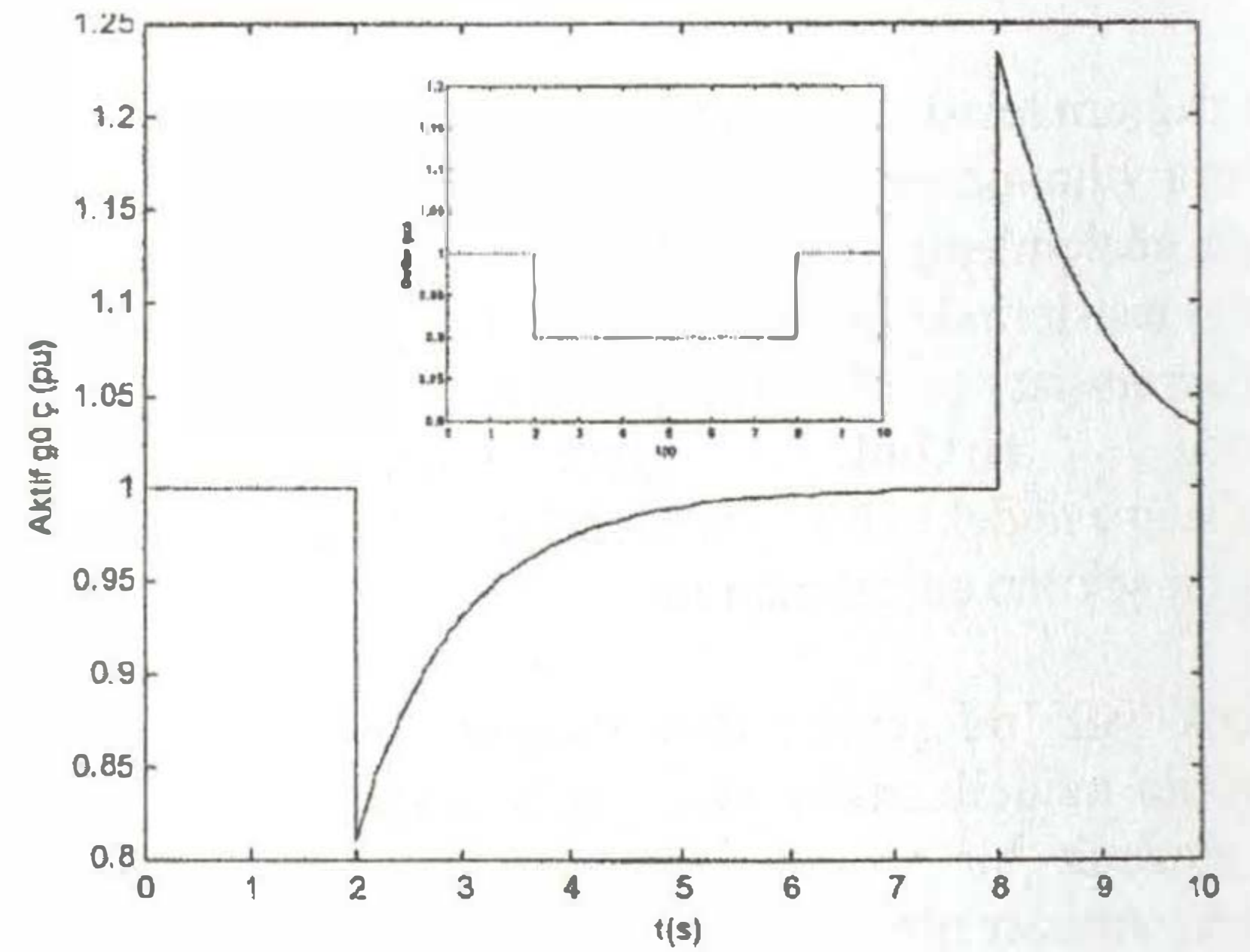
Sabit enerjili omik (termostat kontrollü) yükler için uygulanabilir diferansiyel eşitlik aşağıdaki gibidir.

$$T_L \dot{G} = P_0/V^2 - G \quad (4.2)$$

Burada ‘ T_L ’ termostat yükünün toparlanması için gerekli zaman sabitidir. Burada da motora benzer bir durum vardır ve gerilimde meydana gelen bir azalma sonrasında kondüktansın değeri artmaktadır. Arıza temizlenmesi sonrasında yük sabit gücüne dönmekte, bu arada kondüktans azalmaktadır (Şekil 5). Bu tür yüklerin aktif güç cevapları ise Şekil 6’da verildiği gibi olacaktır. Kondüktansın değeri simulasyon boyunca sabit ve 1 pu alınmıştır.



Şekil 5. Termostat kontrollü omik yüklerin kondüktans değişimi.



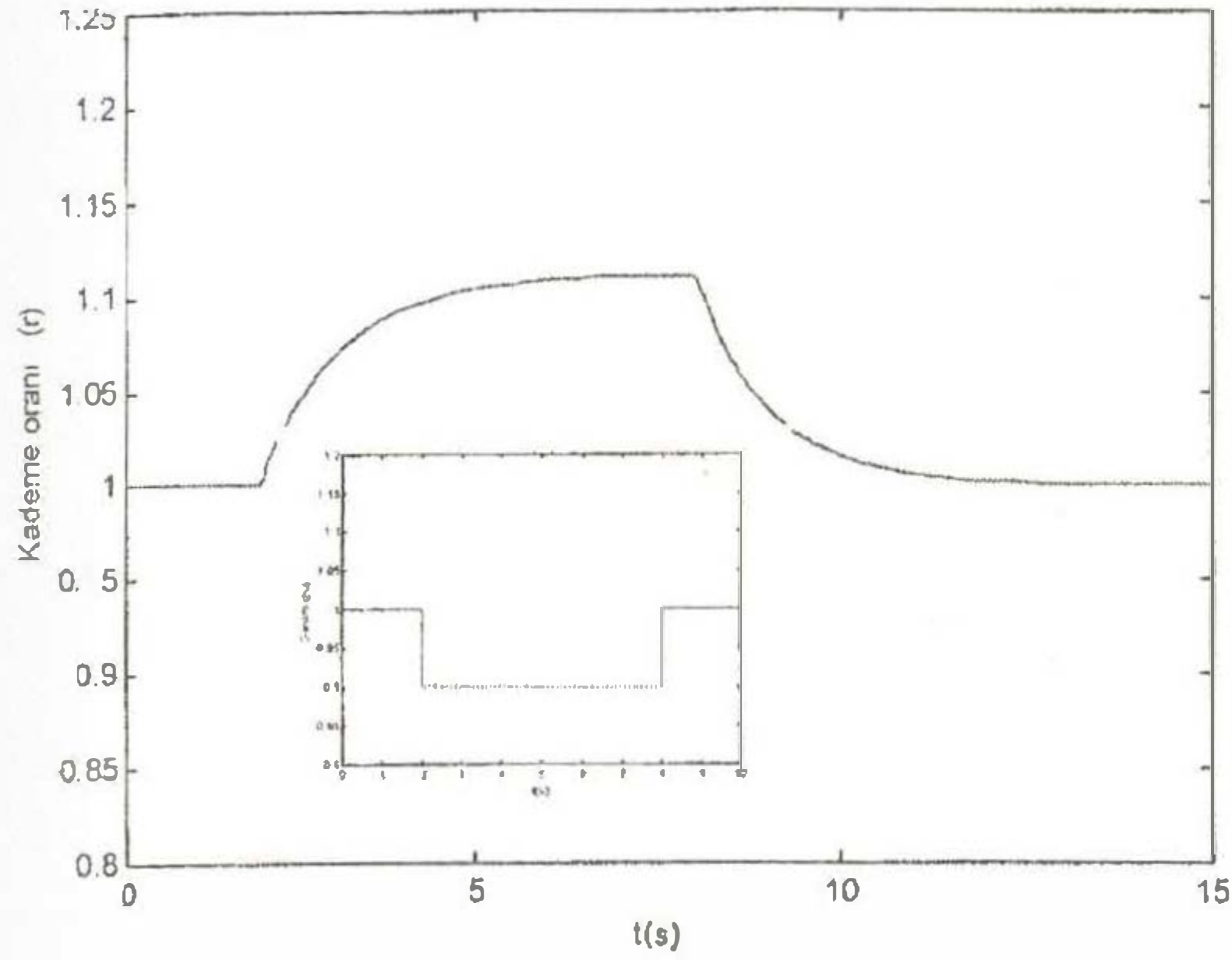
Şekil 6. Termostat kontrollü omik yüklerin gerilim değişimine karşı aktif güç cevabı.

Kademe değiştiriciler için de durum yine benzerdir. Bu tür yükler içinde uygulanabilir bir diferansiyel eşitlik aşağıdaki gibi yazılabilir.

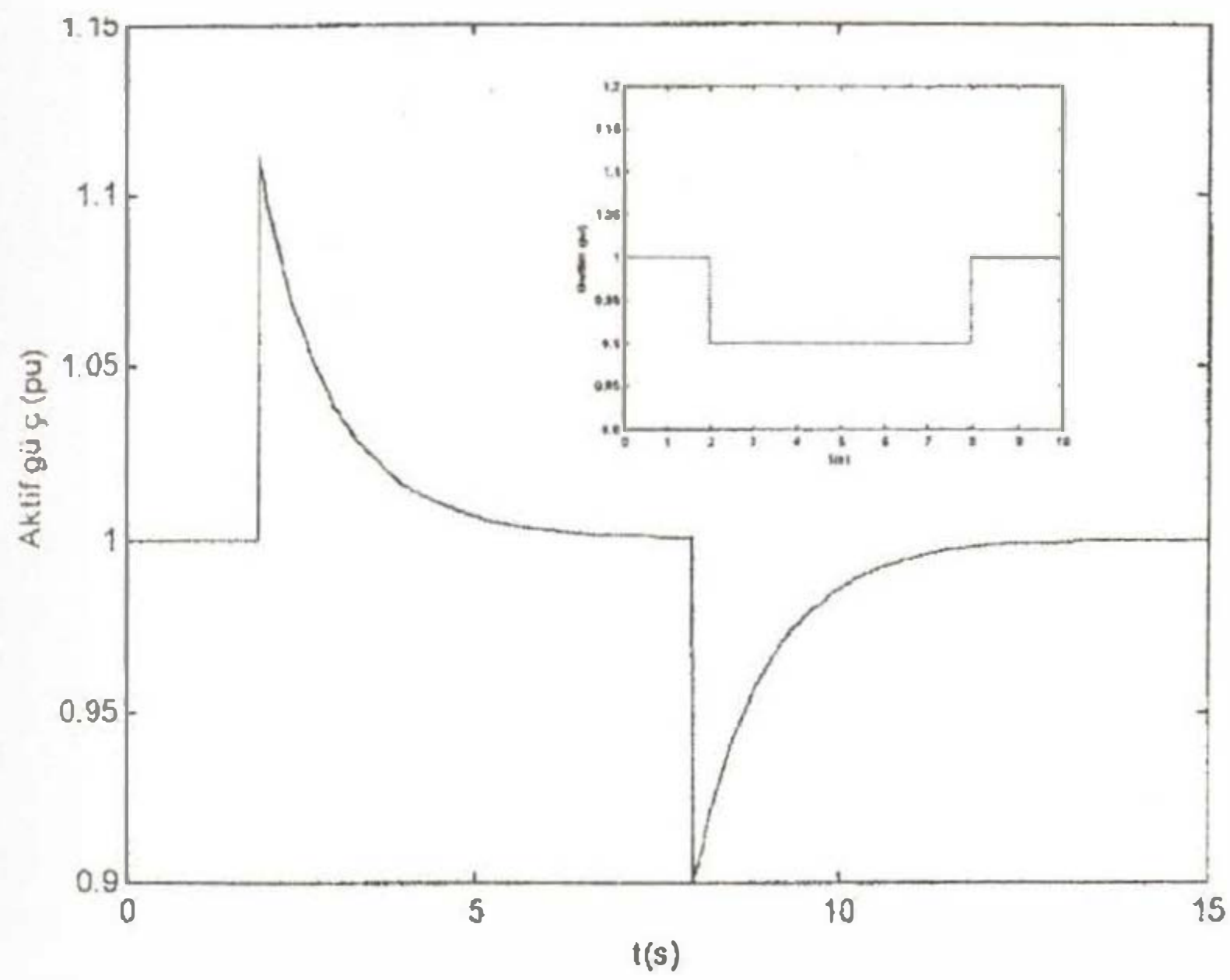
$$T_c \dot{r} = V_2 - V_2^0 \quad (4.3)$$

Burada T_c zaman sabiti V_2 kontrollü gerilim V_2^0 referans gerilimi r ise kademe değiştiricinin dönüştürme

orandır. Bu yükler için durum değişkeni r ile güç değişimleri sırasıyla Şekil 7 ve Şekil 8’ de verilmektedir.



Şekil 7. Kademe değiştirici dönüştürme oranının değişimi.



Şekil 8. Kademe değiştiricinin gerilim değişimine karşı verdiği aktif güç cevabı.

V. SONUÇLAR

Gerilim kararlılığı çalışmalarında yüklerin karakteristiklerini bilmek çok önemlidir. Zaten gerilim kararlılığını çoğunlukla yükler bozmaktadır. Yüklerin adım gerilim değişimlerine karşı verdiği cevaplar bazen sistemi kritik noktalara taşıyabileceği gibi gerilim çökmesine de neden olmaktadır. Bu çalışmada, güç sistemi yüklerinin gerilim değişimlerine karşı verdiği cevaplar araştırıldı. Simulasyon sonuçlarına göre asenkron motorların çok hızlı bir biçimde cevap verdikleri ve sabit güçlerine dönme eğiliminde oldukları, bunun yanı sıra aynı koşullarda termostat kontrollü yüklerin daha uzun bir sürede toparlandıkları gözlemlendi. Toparlanan yük dinamiklerine örnek teşkil eden kademe değiştiricilerin ise çok yavaş kaldıkları, ayrıca diğer yüklerin aksine gerilim azalmasına karşılık güç artımı ile cevap verdikleri izlendi. Bunun temel nedeni olarak; hat sonundan çekilen gücün kademe oranı ile ters orantılı olan gerilimin bir fonksiyonu olduğu sonucuna varıldı.

VI. EK

Evsel asenkron motor tipi yüklerine ait eşdeğer devre parametreleri aşağıdaki gibidir:

Motor için;

$$r_s=0.077 \text{ pu}, x_s=0.107 \text{ pu}, x_m=2.22 \text{ pu}, x_r=0.098 \text{ pu}, \\ r_r=0.079 \text{ pu}, T_m=1 \text{ pu}$$

VII. KAYNAKLAR

- [1] Tuncay N., “Elektrik Enerji Kalitesinin Tanımı”, *Elektroent perpa dergisi*, Ocak-Şubat 2001
- [2] Taylor C.W., “Power System Voltage Stability”, *EPRI Power System Engineering Series*, McGraw Hill, 1994
- [3] Chiou Y.C., Huang T.C., Kao S.W., “Dynamic Load Modelling in Taipower System Stability Studies”, *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol.10, No.2, pp.907-913, May 1995
- [4] Wang Y., “Power System Load Modelling”, *Preliminary report, prepared for Transpower NZ Ltd*, Department of Electrical and Electronic Engineering, University of Auckland, May 1997
- [5] Machowski J., Bialek J.W., Bumby J.R., “Power System Dynamics and Stability”, *John Wiley & Sons*, England, 1997
- [6] IEEE Task Force on Load Representation for Dynamic Performance, “Load Representation for Dynamic Performance Analysis”, *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol.8 No.2, pp.472-481, May 1993
- [7] Yalçın M.A., “Enerji Sistemlerinde Gerilim Kararlılığının Yeni Bir Yaklaşımla İncelenmesi”, Doktora Tezi, İTÜ, Elk-Elektronik Fakültesi, İstanbul, 1995
- [8] Cutsem V.T., Vournas C., “Voltage Stability of Electric Power Systems”, *Kluwer Academic Publishers*, 2001
- [9] Chiou C.Y., Huang C.H., Liu A.S., Chen Y.T., Li T.H., Lin C.J., Chiang H.D., Yuan J.L., “Development of a Micro-processor-based Transient Data Recording System for Load Behavior Analysis”, *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol.8, No.2, pp.16-22, February 1995
- [10] Xu W., Mansour Y., Hydro B.C. “Voltage Stability Analysis Using Generic Dynamic Load Models”, *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol.9, No.1, pp.479-486, February 1994