

RÜZGAR TÜRBİNLERİNDE DİNAMİK KARARLILIK

Hüseyin GELBERİ, A. Serdar YILMAZ, Murat YILDIZ, M. Ali YALÇIN

Özet - Son yıllarda rüzgar enerjisinden elektrik enerjisi elde edilmesi büyük oranda gelişme göstermiştir. Özellikle ekonomik üstünlükleri ve gelişen teknoloji ile büyük güçlü türbinlerin imal edilebilmesi, bu alana olan talebi arttırmıştır. Rüzgar türbinleri yerel dağıtım şebekeleri ile paralel çalışabildikleri gibi şebekeden ayrı olarak da çalışabilmektedir. Ancak şebekeden ayrı çalışma durumunun dinamik kararlılık açısından daha sorunlu olduğu görülmektedir. Bu makalede alçak gerilim ve orta seviyeli bir rüzgar türbini ve bu türbine bağlı asenkron generatörün hem tek başına ve hem de şebeke ile birlikte iken dinamik kararlılık incelemesi yapılmıştır. Her iki durumda dinamik davranışların karşılaştırması yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler - Rüzgar türbinleri, asenkron generatörler, dinamik kararlılık

Abstract - Generation of electricity from wind power has grown. Demand for wind power is increased since its economical advantages, availability of large wind turbine technology. Wind farms operate either connected with distribution networks or stand-alone. However, stand-alone operations have some stability problems. In this paper, it is investigated stand-alone with networks operation of a medium level, low voltage wind turbine and an asynchronous generator. Dynamic behavior of wind turbine is compared for this condition.

Key Words - wind turbine, asynchronous generator, dynamic stability.

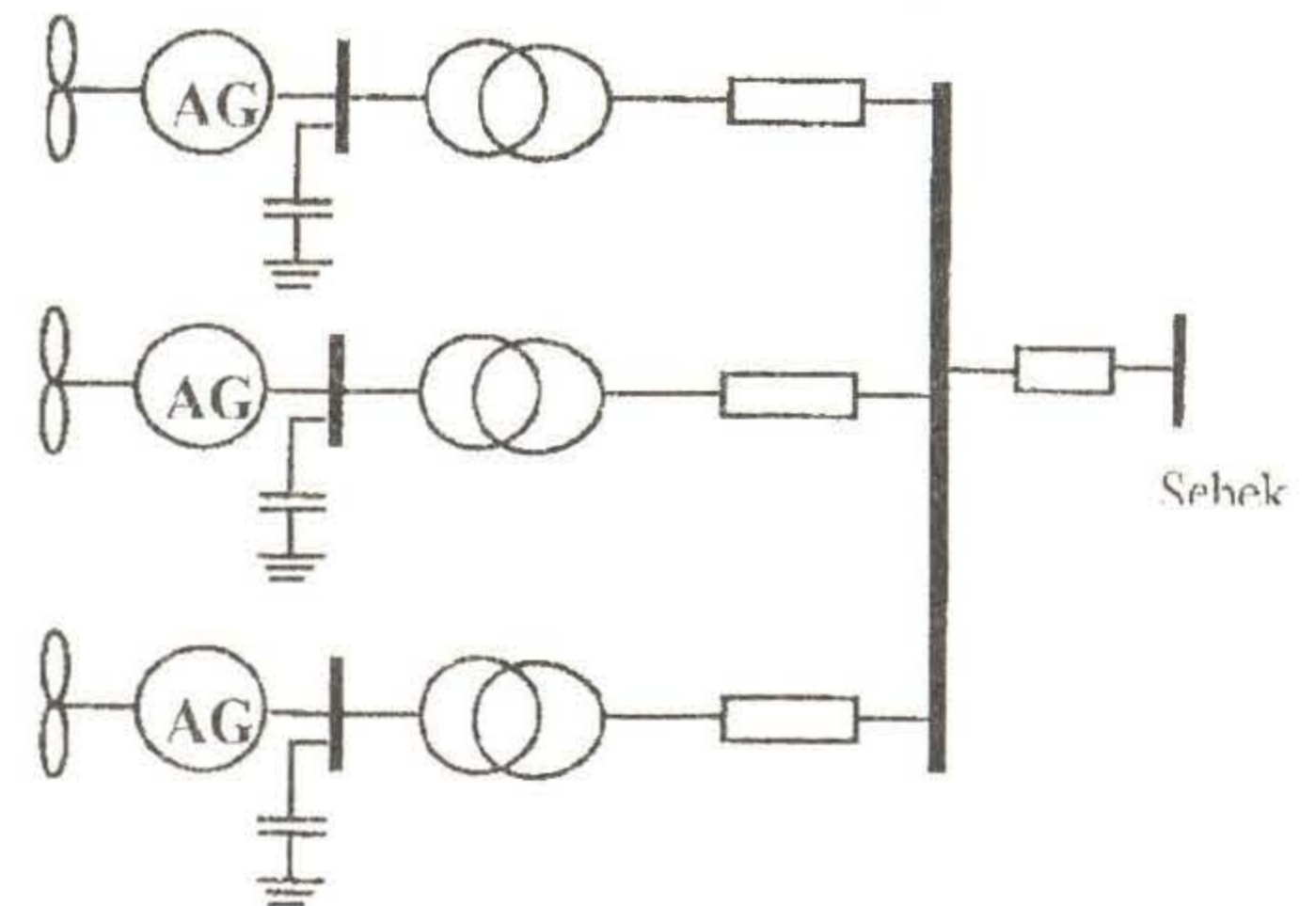
I. GİRİŞ

Son yıllarda alternatif enerji kaynaklarına yönelmenin artmasıyla rüzgar santrallerinin gücünde ve teknolojisinde ilerlemeler meydana gelmiştir. Rüzgar türbinleri ve rüzgar çiftliklerinin güçleri MW seviyesine ulaşmıştır. 2001 sonu itibariyle dünya toplam kurulu gücü 23GW'ın üzerine çıkmıştır. Bu kurulu gücün yaklaşık %70'i Avrupa ülkelerine aittir. Ülkemizde ise toplam rüzgar santrali kurulu gücü 2001 sonu itibariyle 20MW dolaylarındadır [1]. Rüzgar santralleri şebekeden

ayrı tek başına kullanılabilirdiği gibi şebeke ile paralel çalışabilmektedir. Kararlılık açısından şebeke ile paralel çalışması daha uygundur. Santral gücüne bağlı olarak alçak veya orta gerilim dağıtım şebekesine bağlanabilmektedir. Senkron generatörlerin yanı sıra asenkron generatörler de elektrik üretici olarak kullanılabilir [2,3]. Bu makalede rüzgar türbinleri tarafından döndürülen bir asenkron generatörü içeren alçak gerilim dağıtım şebekesi ele alınmaktadır. Söz konusu sistemde tek başına ve şebeke ile birlikte çalışma durumlarında kararlılık incelemesi yapılmış ve bilgisayarda simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Ele alınan sistemde generatör asenkron olduğundan rotor hızı ve elektromekanik moment değişimleri kararlılık açısından bize fikir verecek iki önemli kriterdir. Söz konusu iki sistemin cevabı karşılaştırılarak üstünlükleri ve dezavantajlı yanları tartışılmaktadır.

II. RÜZGAR SANTRALLERİ

Sabit hızlı rüzgar türbinlerini bugün 300-500MW seviyelerindeki asenkron generatörler ile birlikte ticari anlamda kullanmak mümkündür [4]. Bir rüzgar çiftliğinde ortalama yüze yakın türbin bulunabilmektedir. Klasik uygulamalarda asenkron generatörün ihtiyaç duyduğu reaktif güç terminallere bağlanan harici bir lokal kapasitör ile sağlanmaktadır. Rüzgar çiftliklerini oluşturan bu türbinler birbirilerine bağlı olmakta ve ortak bir bara üzerinden de dağıtım şebekesine bağlanabilmektedir. Buna göre bir rüzgar santrali ya da çiftliğinin basit gösterilimi aşağıdaki gibi olabilir.



Şekil.1. Rüzgar santrali basit gösterilimi

Rüzgar türbinleri, karakteristikleriyle elde edilen aerodinamik model esas alınarak modellenmektedir. Buna göre P_{AERO} aerodinamik gücü aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$P_{AERO} = \frac{1}{2} \rho A C_p V^3 \quad (1)$$

Bu eşitlikteki V rüzgar hızını, C_p performans katsayısını, A türbin rotorlarının sürüklediği alanı, ρ ise hava yoğunluğunu belirtmektedir. Performans katsayısı olan C_p , uç hız oranının (TSR) bir fonksiyonu olarak tanımlanır. TSR oranı aşağıdaki denklem ile bulunur.

$$TSR = \frac{w_r \cdot R}{V} \quad (2)$$

Bu eşitlikteki w_r açılmalı rotor hızını, R rotor yarıçapını göstermektedir. Rüzgar hızı gerçekte değişken olabilmekte beraber modellemenin daha basit olabilmesi için sabit hızlı olarak kabul edilmiştir.

Asenkron makinaların senkron hızın üzerine çıkması sonucu generatör gibi davrandıkları herkesçe bilinen bir gerçektir. Bir dişli kutusu ile türbin arasında güç aktarımı yapılan asenkron generatör yol alırken bir süre motor gibi çalışır. Bu sırada büyük oranda bir yol alma akımını şebekeden çeker. Bu durum şebekeden büyük oranda aktif güç çekilmesi demektir. Motor hızı senkron hıza yaklaştıkça stator akımı gerçek değerine ulaşmaya başlar ve azalarak anma değerine gelir. Daha sonra motor senkron hızın üzerine çıkartılır ve generatör olarak çalışmaya başlar. Yol alma anındaki in-rush akımı şebekeden karşılanmalıdır. Yol alma sırasında gerekli olan bu yüksek akımın kararlılık açısından sıkıntılara yol açmaması için bir başka dizel generatör kullanılabilir [5].

Asenkron generatörün modellenmesinde kullanılan durum değişkeni sayısına göre çeşitli modeller kullanılmakla beraber, yapılan benzetimlerde üçüncü dereceden bir asenkron makine modeli yeterli olabilmektedir. İndüklennmiş rotor gerilimi, rotor akısının referans noktasına göre değeri ve rotor hızı durum değişkeni olarak alınmak suretiyle aşağıdaki model elde edilebilir [4].

$$T_O \cdot \frac{dE}{dt} = -\frac{X_s}{X_1} E + \frac{X_s - X'}{X'} (V_{qs} \cos \delta - V_{ds} \sin \delta) \quad (3)$$

$$\frac{d\delta}{dt} = w_r - w_s - \frac{X_s - X'}{X' T_O E} (V_{qs} \sin \delta + V_{ds} \cos \delta) \quad (4)$$

$$\frac{2H}{w_s} \frac{dw_r}{dt} = T_M + \frac{E}{X'} (V_{ds} \cos \delta + V_{qs} \sin \delta) \quad (5)$$

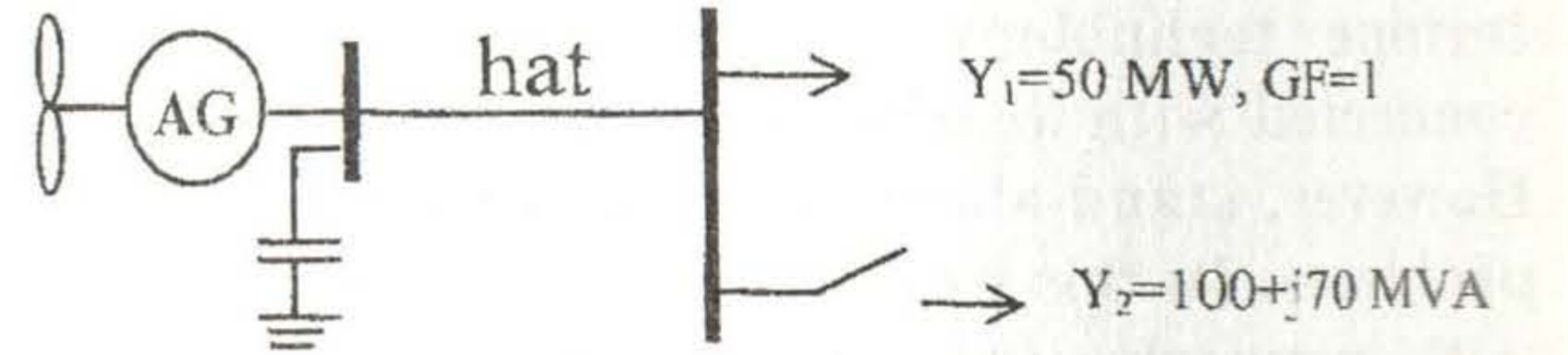
Burada T_O açık devre zaman sabiti, ve X' reaktansı şu şekilde tanımlanabilir. s indisi statora, r ise rotora aittir.

$$T_O = \frac{X_r}{w_s \cdot r} ; X' = X_s - \frac{X_m^2}{X_r}$$

III. TEK BAŞINA ÇALIŞAN RÜZGAR SANTRALLERİ

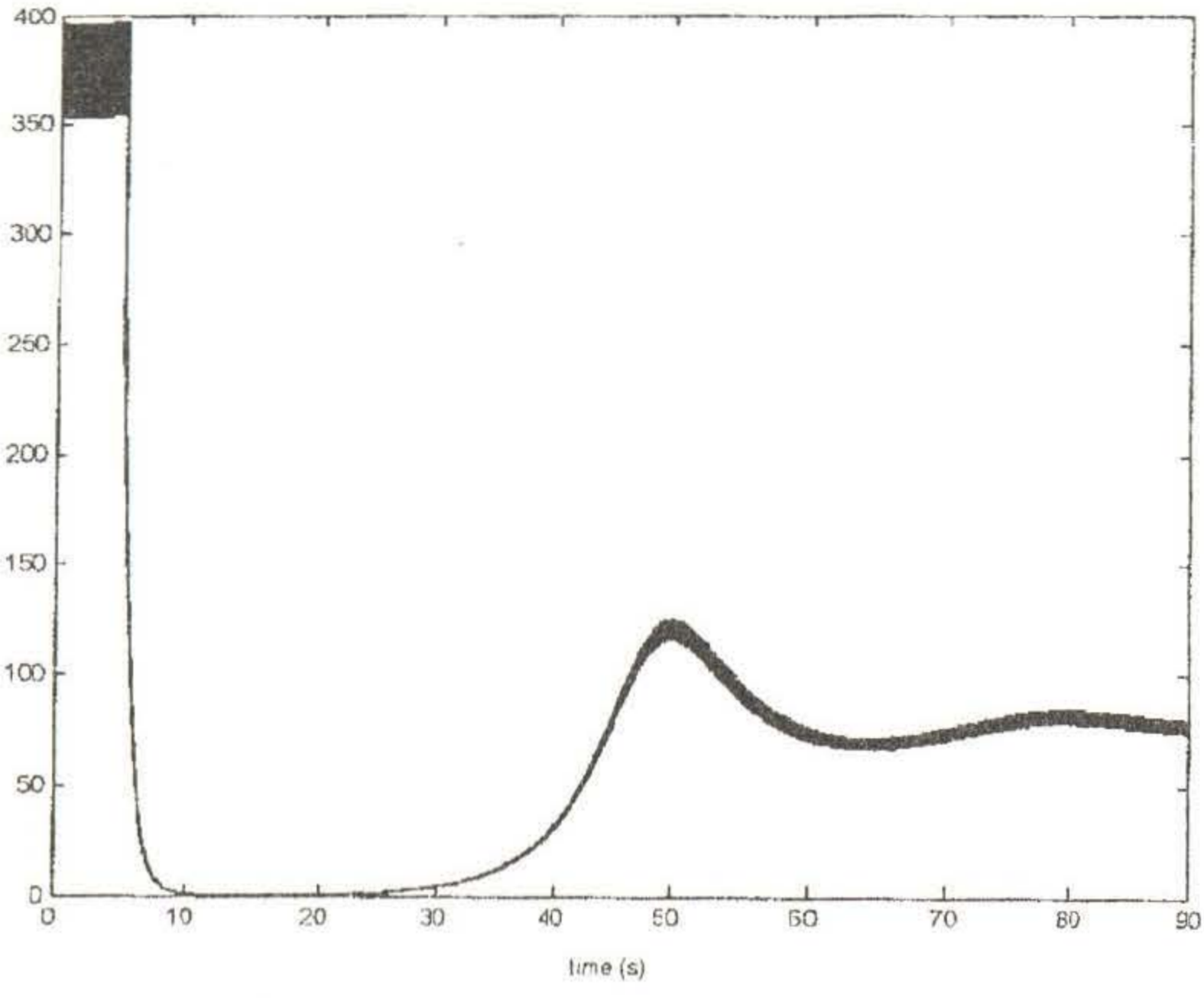
Merkezi tüketim merkezlerinden uzaktaki yerleşim merkezlerinin elektrik enerjisi ihtiyacının merkezi şebekeden karşılanması pahalı bir tesis masrafı gerektirmektedir. Özellikle adalarda su altından yüksek gerilim kabloları ile enerji nakli söz konusu olduğunda bu durum daha da belirginleşmektedir. Rüzgar hızı ve sürekliliği yeterli olan bu tür yerleşim birimlerinin enerji ihtiyacının karşılanmasında kullanılabilen rüzgar santralleri genellikle şebeke ile herhangi bir bağlantı içerisinde değildir.

Ancak asenkron generatörlerin kullanıldığı uygulamalarda sağlanması gereken önemli bir ihtiyaç ise generatörün reaktif enerji talebidir. Çünkü asenkron generatörler de senkron generatör gibi uyarma sargıları olmadığından gerekli reaktif enerjinin dışarıdan alınması gerekmektedir. Bunun yanı sıra yük artımları sonucu frekansta düşmeler görülebilmektedir. Bu bölümde incelenen ve Şekil 2'de tek hat şeması verilen AG dağıtım sisteminde ikinci yükün devreye girmesi durumunda asenkron generatörün uç gerilimi, hızı, mekanik ve elektriksel momentini aşağıdaki eğrilerdeki gibidir.

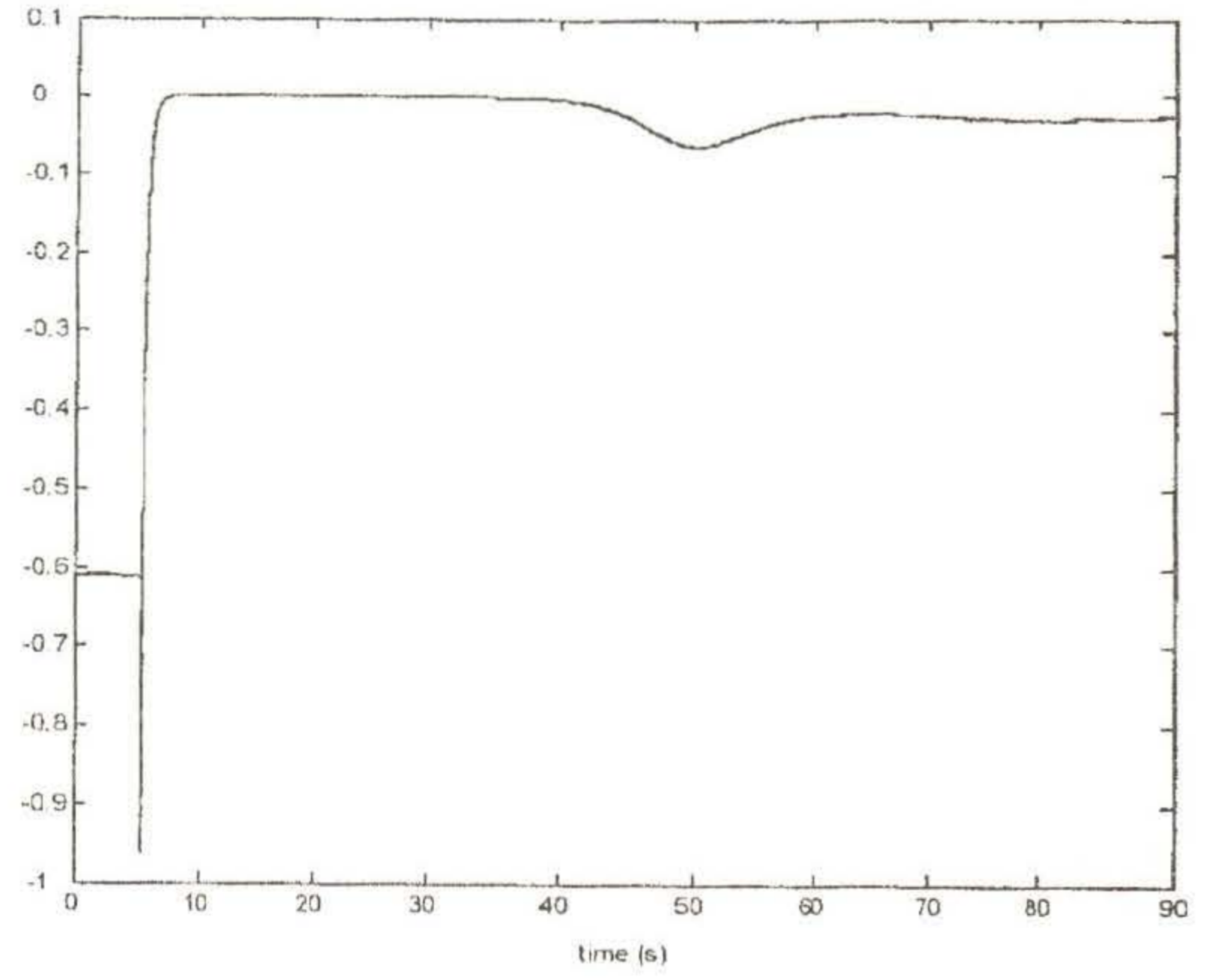


Şekil.2 Tek Başına Çalışan Sistem

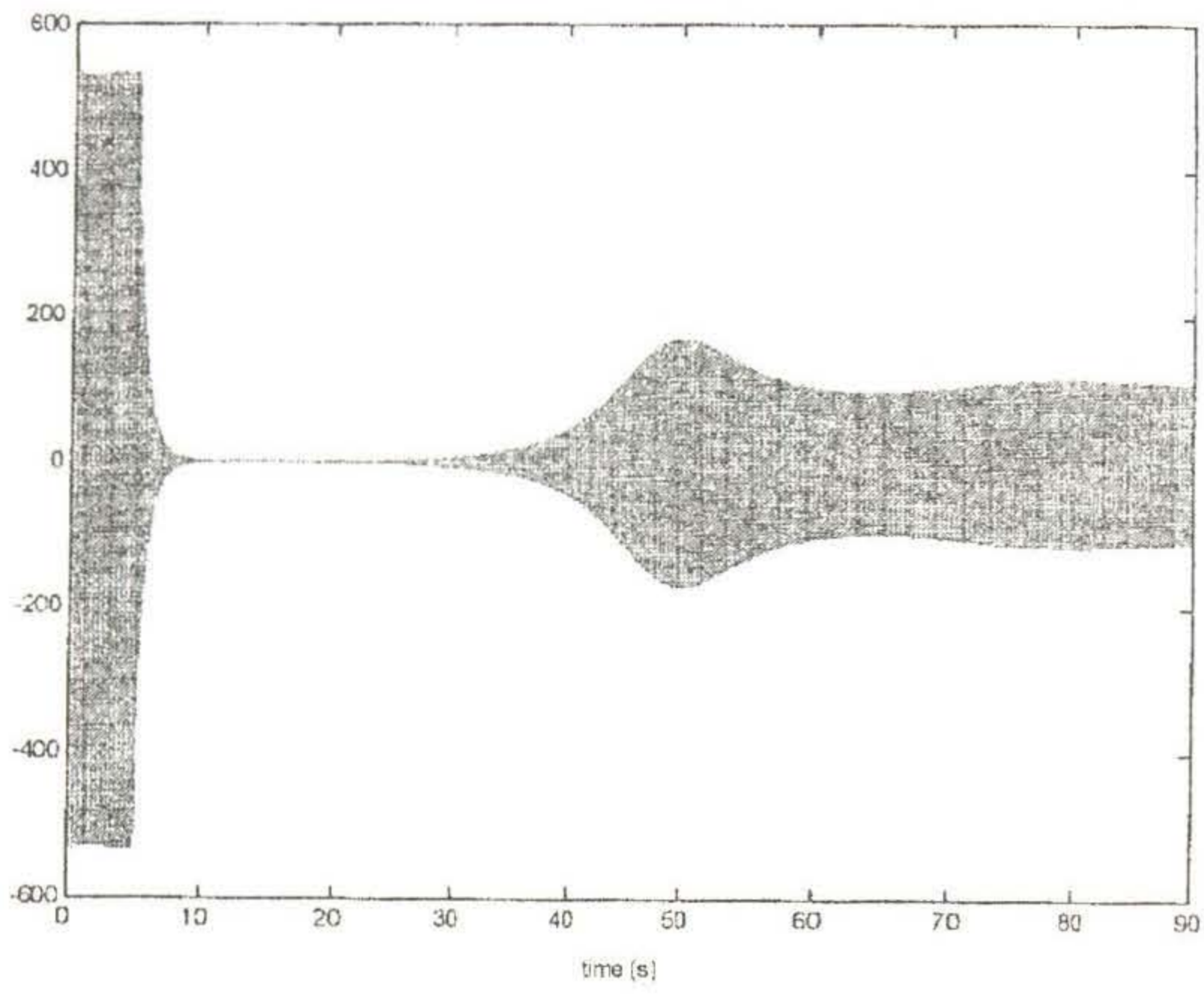
Yapılan simülasyonda $t=5s$ anında Y_2 yükü devreye alınmaktadır. Bu durumda rüzgar türbininin mekanik momentini, asenkron generatörün uç gerilimi, hızı ve elektriksel moment değişimleri aşağıdaki gibi olmuştur.



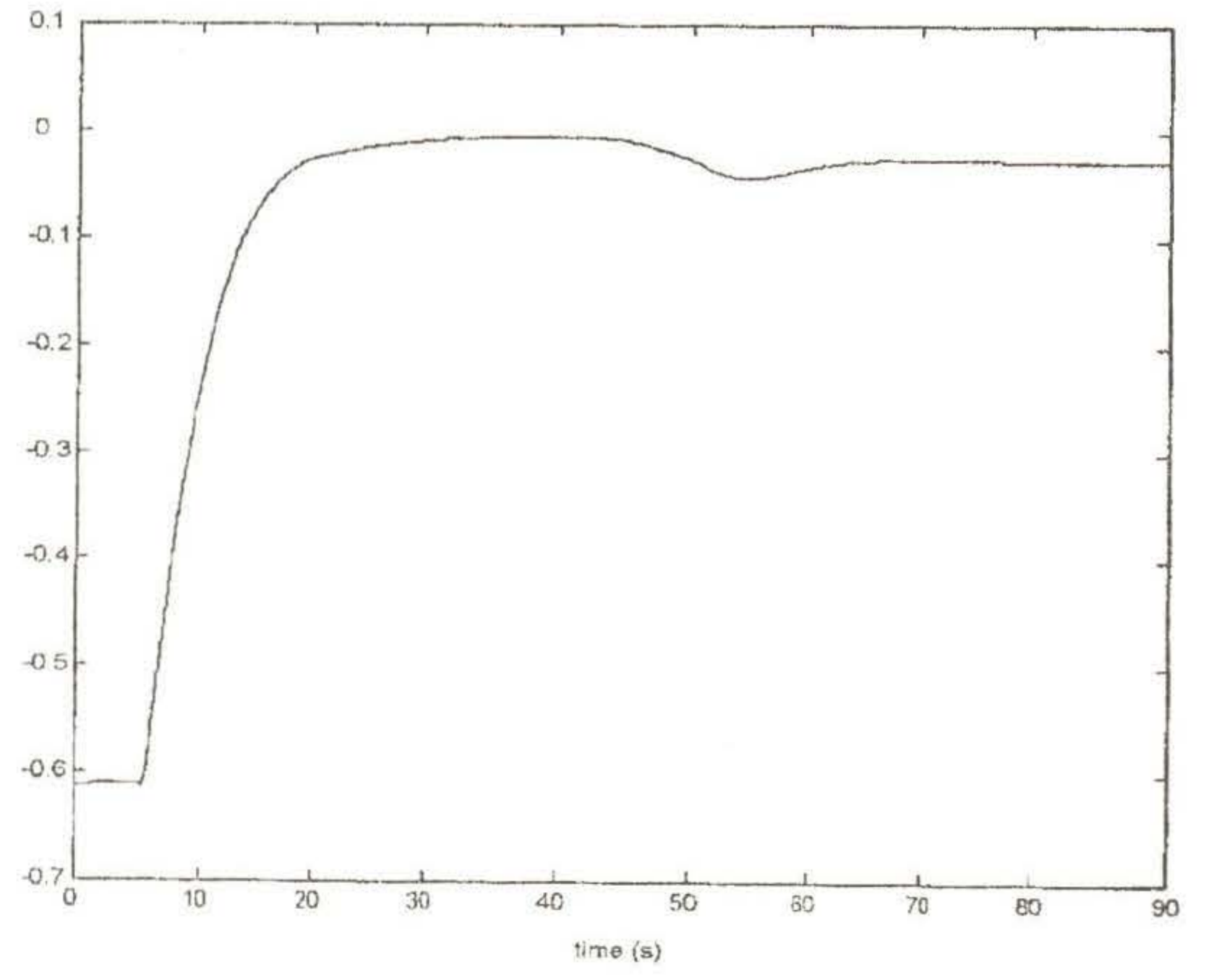
Şekil.3 Yük Barası Efektif Gerilimi (Faz Nötr, Volt)



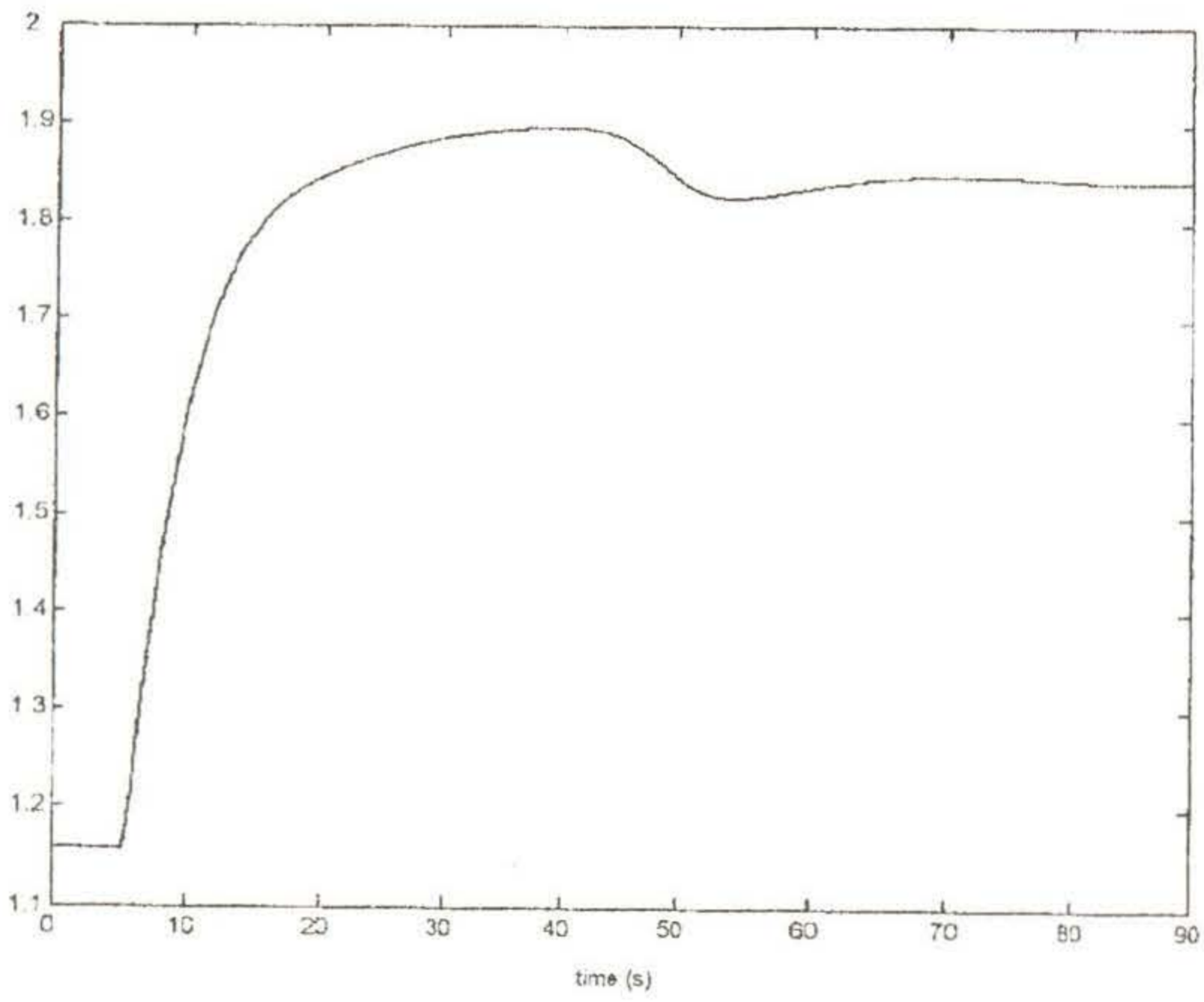
Şekil.6 Elektromekanik Moment Değişimi (pu)



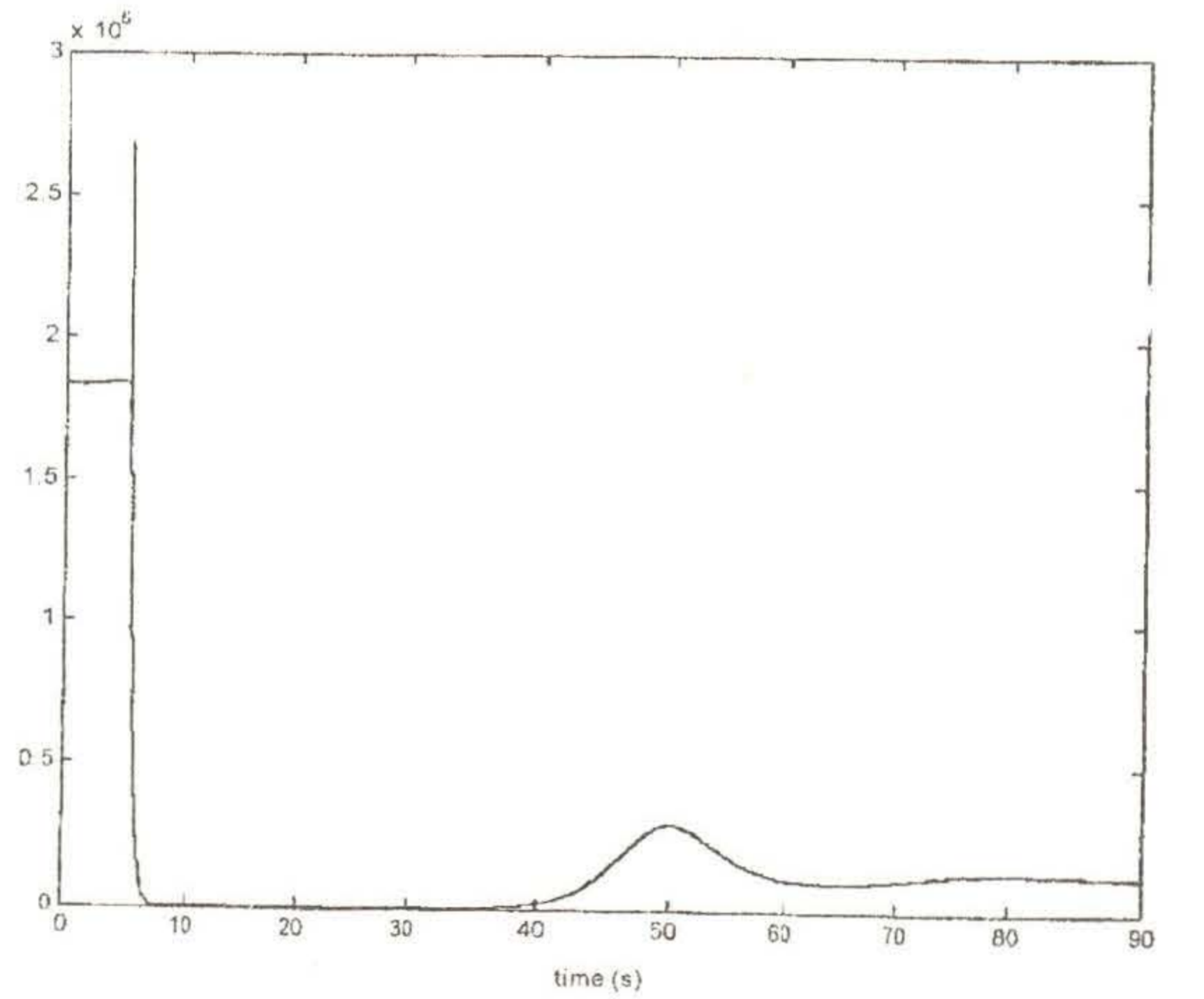
Şekil.4 Yük Barası Gerilimi (Faz Nötr, Volt)



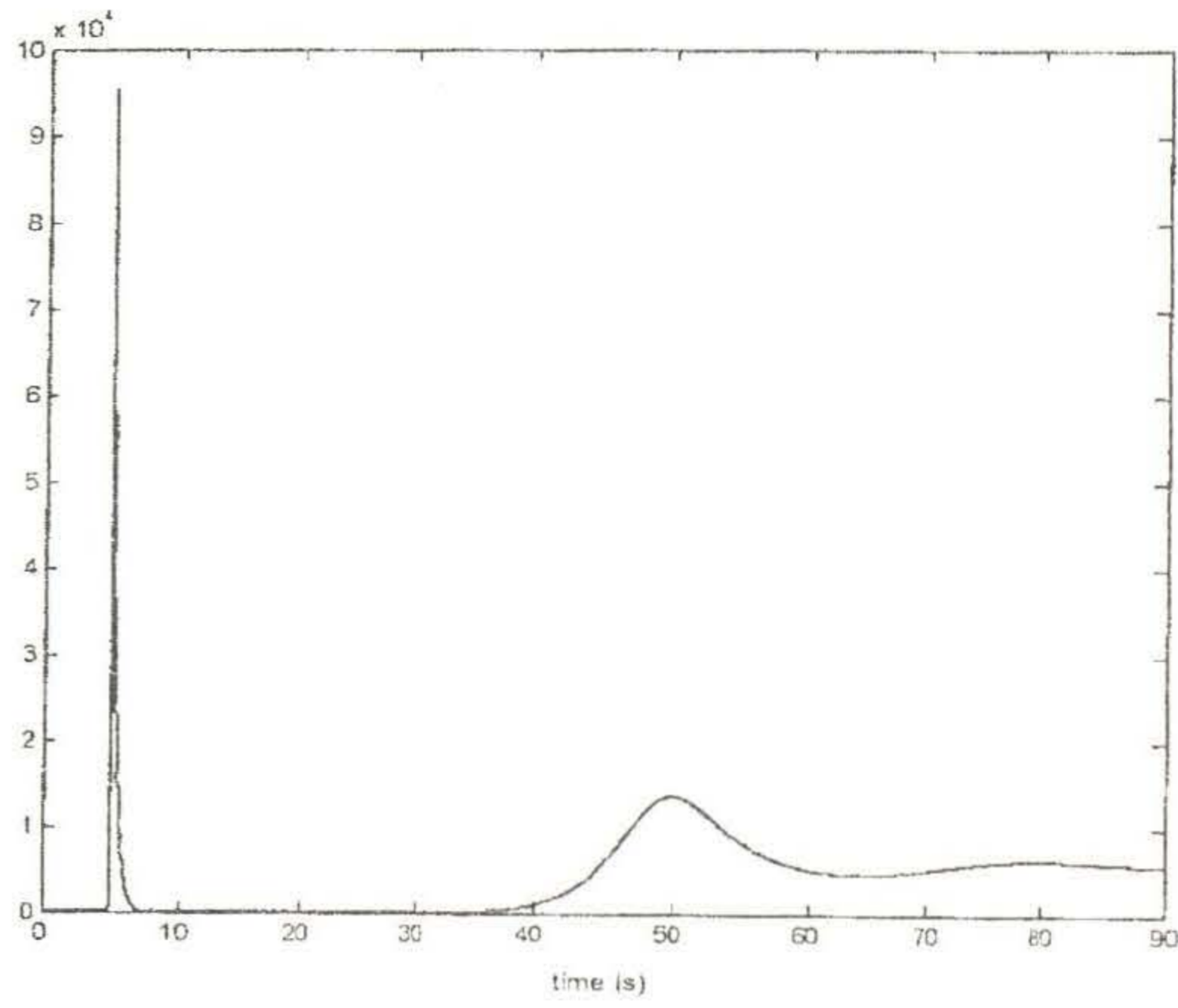
Şekil.7 Mekanik Türbin Momenti (pu)



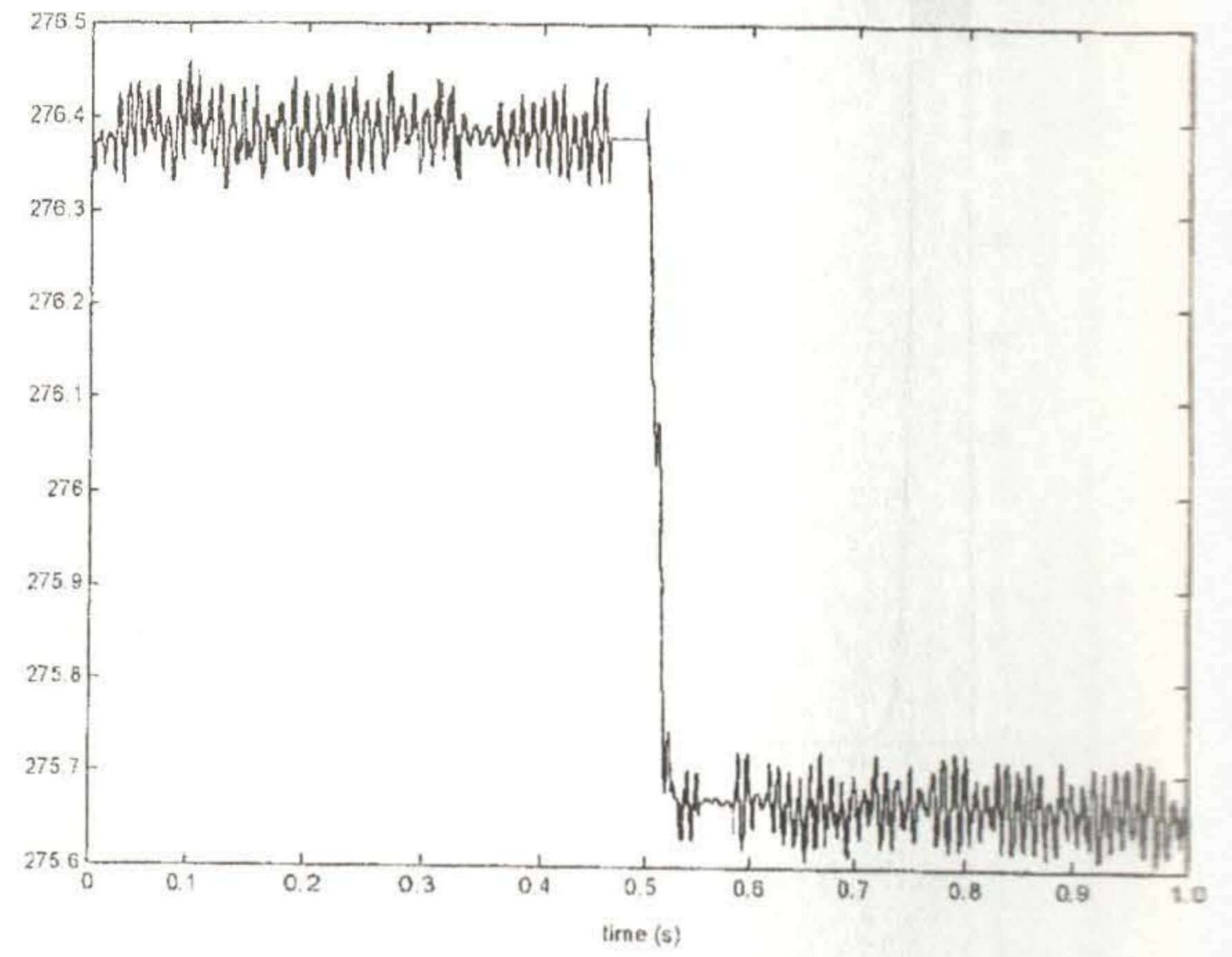
Şekil.5 Rotor Hızı (pu)



Şekil.8 Yük Barası Aktif Güç Değişimi (Watt)



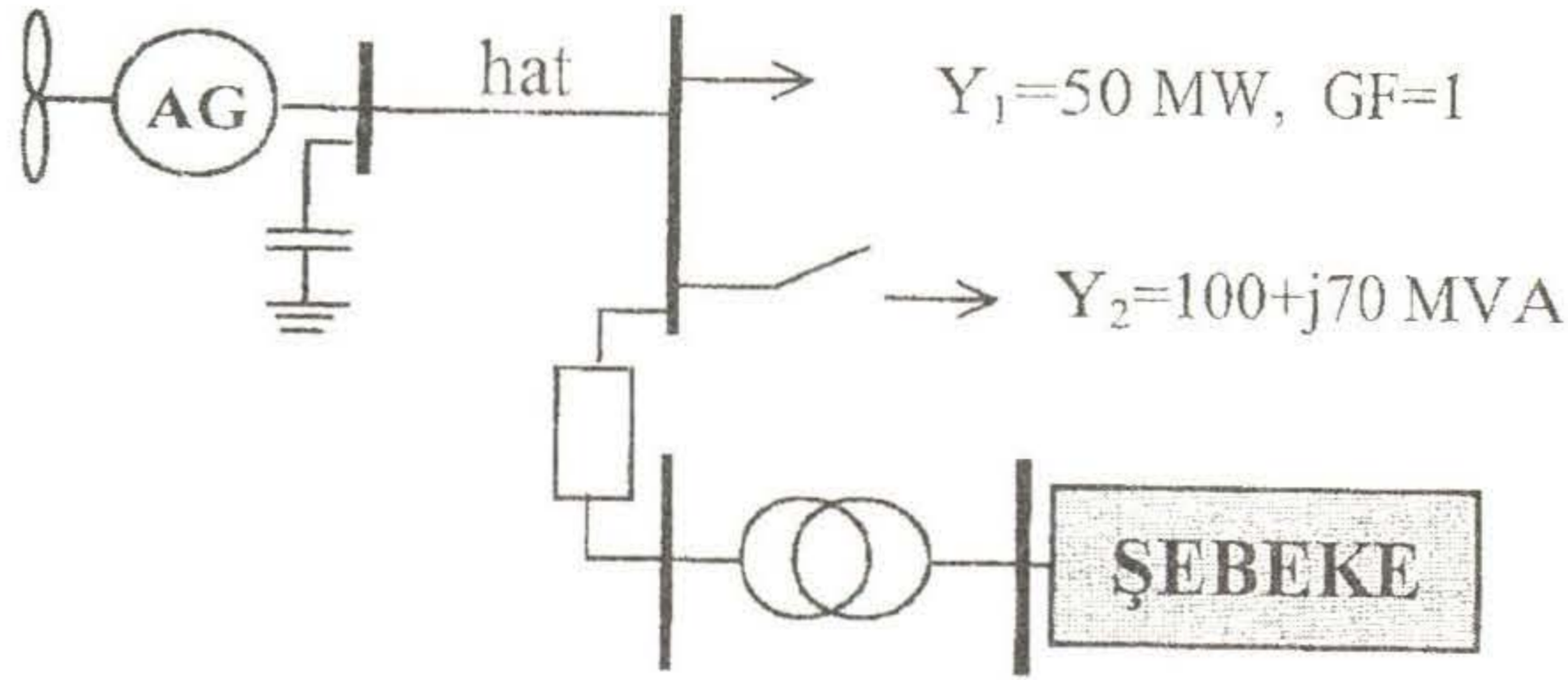
Şekil.9 Yük Barası Reaktif Güç Değişimi (Var)



Şekil.11 Yük Barası Efektif Gerilimi (Faz-Nötr, Volt)

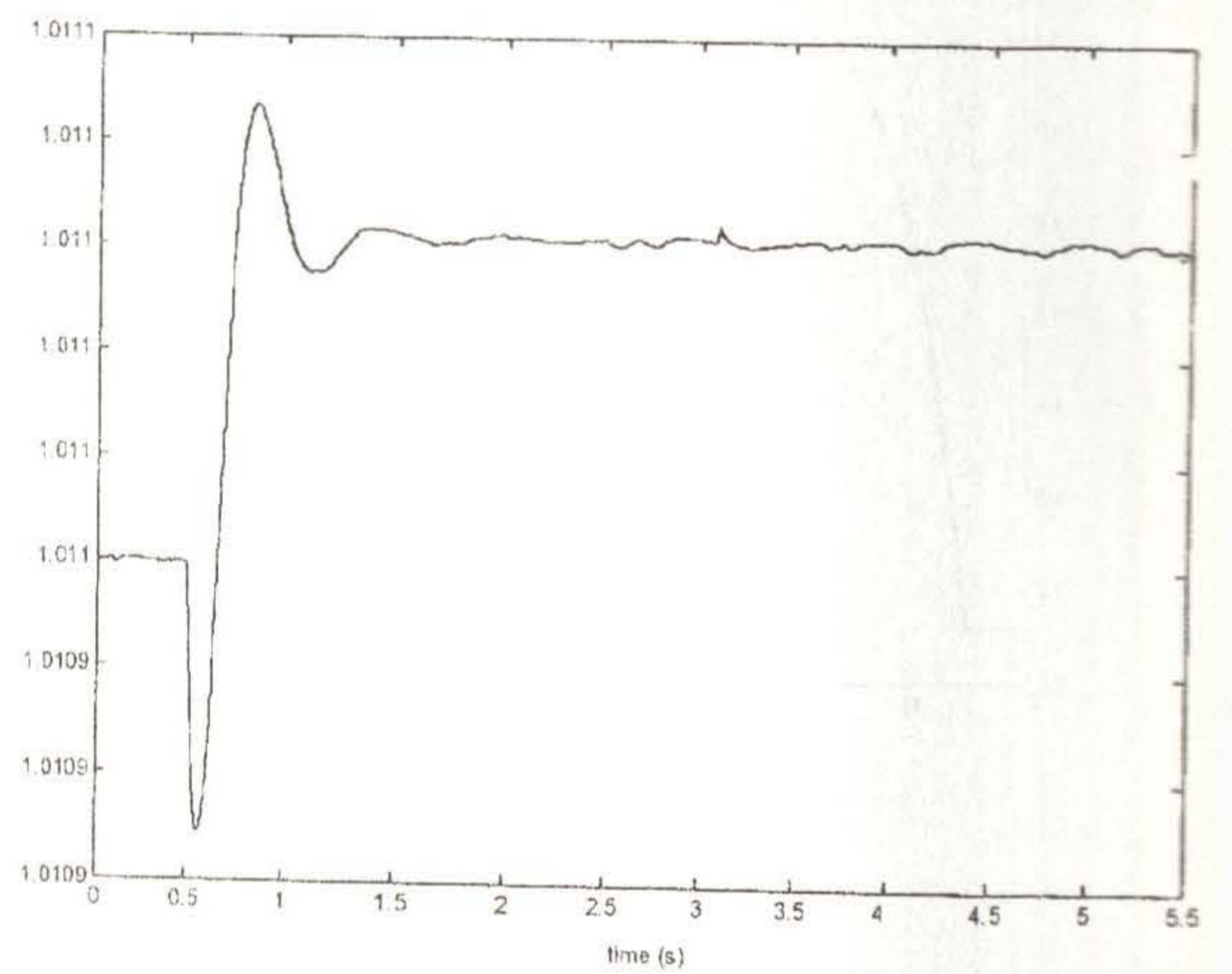
IV. ŞEBEKEYLE PARALEL ÇALIŞAN RÜZGAR SANTRALLERİ

Tek başına çalışma durumundan farklı olarak yük barası ile şebeke barası arasındaki bağlantıdır. İlk durumdaki yük değişiminden farklı olarak $t=0.5$ saniyede yük artışı gerçekleşmiştir.

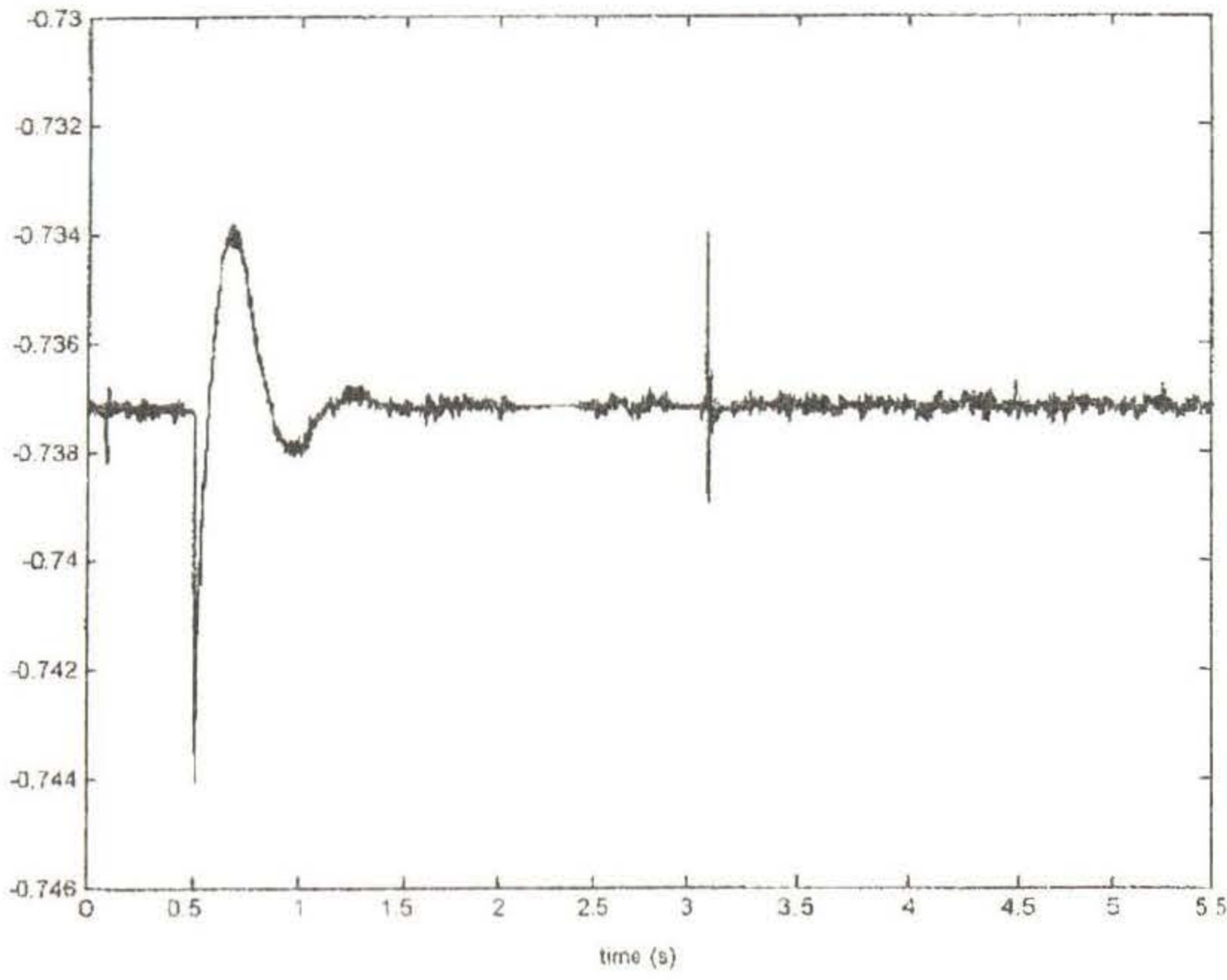


Şekil.10 Şebekeyle Çalışma Durumuna Ait Tek Hat Şeması

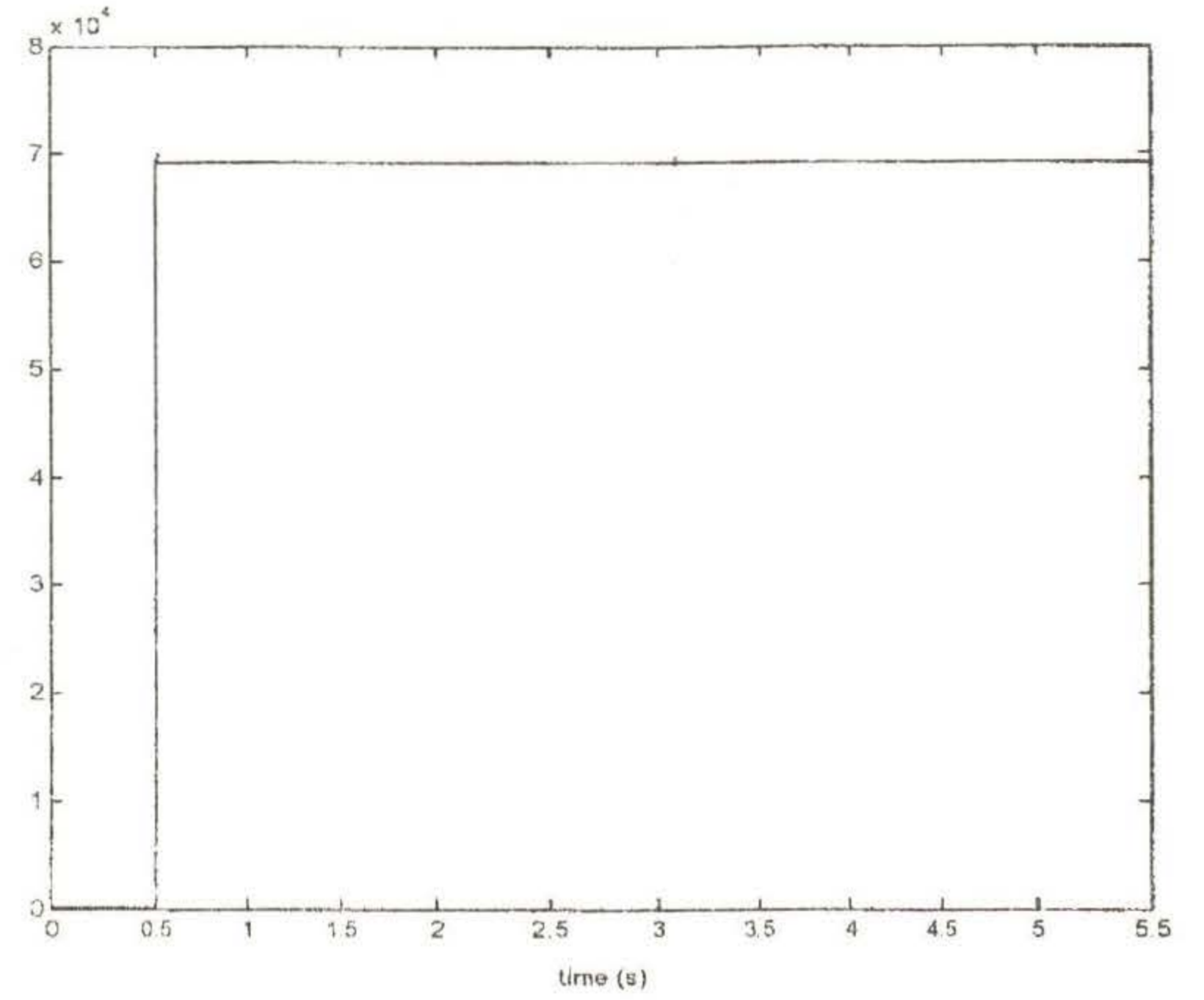
Bu durumda rüzgar türbininin mekanik momenti, asenkron generatörün uç gerilimi, hızı ve elektriksel moment değişimleri aşağıdaki gibi olmuştur.



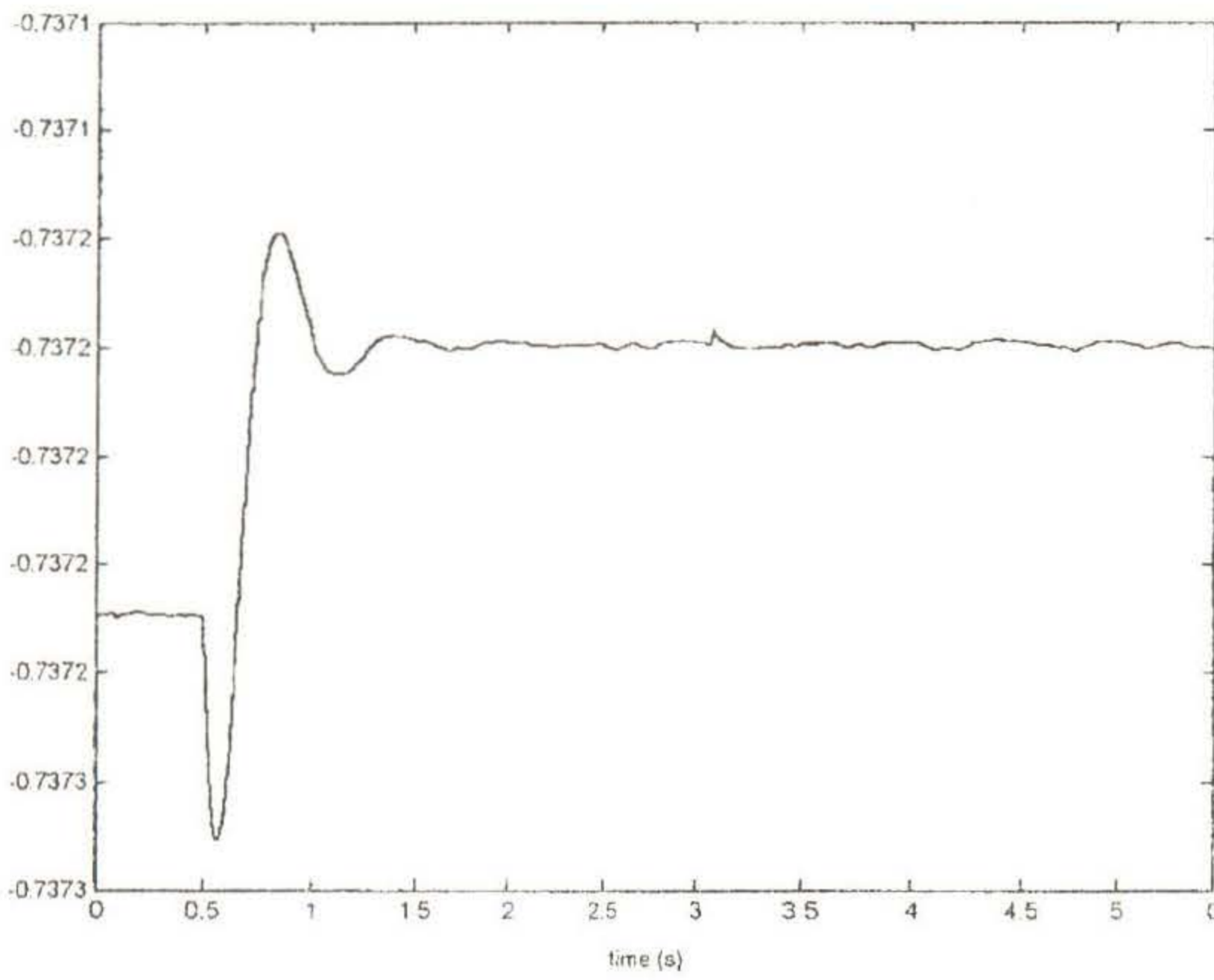
Şekil.13 Rotor Hızı (pu)



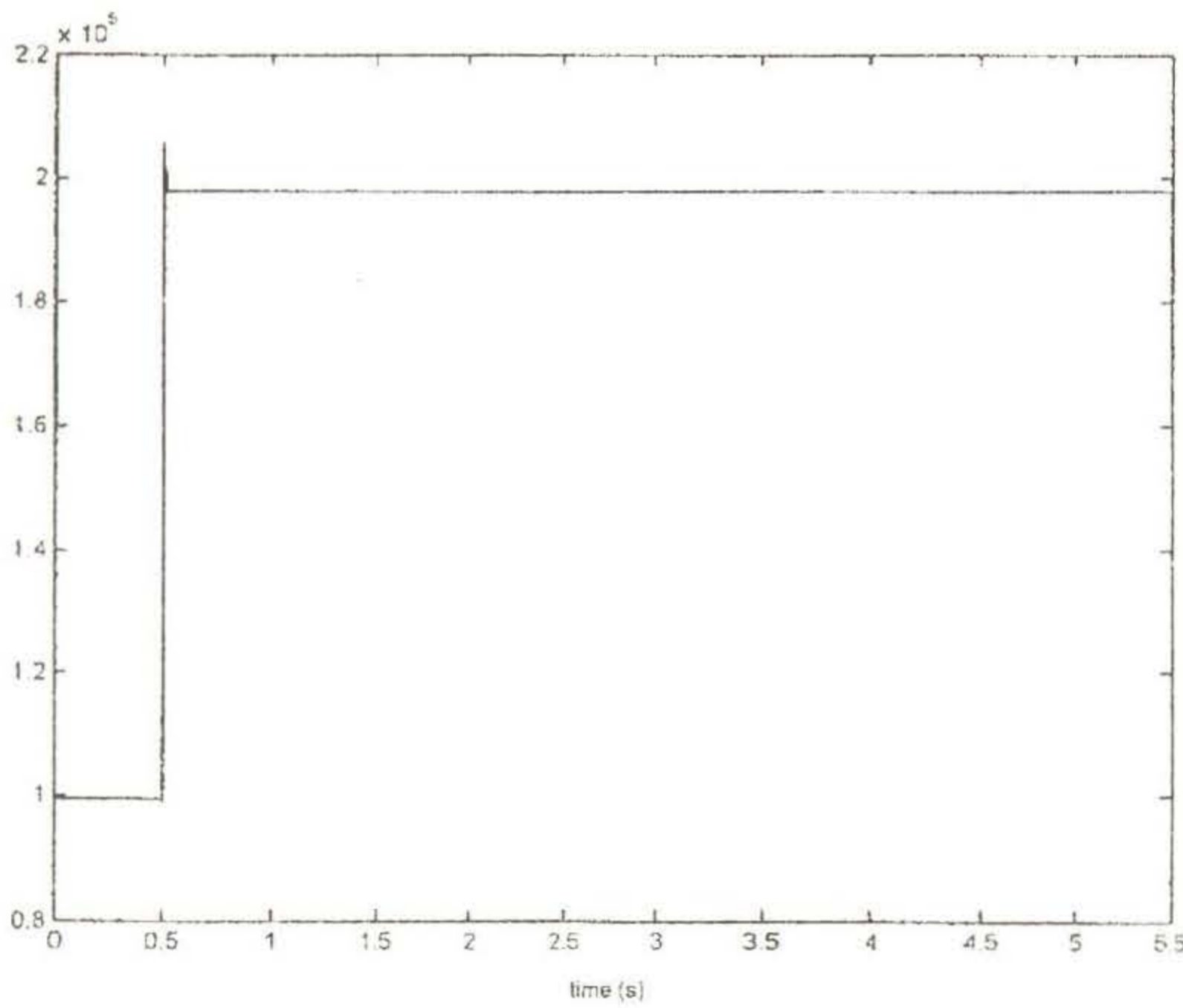
Şekil.14 Elektromekanik Moment Değişimi (pu)



Şekil.17 Yük Barası Reaktif Güç Değişimi (Var)



Şekil.15 Mekanik Türbin Momenti (pu)



Şekil.16 Yük Barası Aktif Güç Değişimi (Watt)

V. SONUÇLAR

Gerek tek başına çalışma ve gerekse şebekeyle birlikte çalışma durumları için yapılan benzetimler göstermiştir ki, kararlılık açısından şebekenin sağladığı destek oldukça yararlıdır. Tek başına çalışma durumunda meydana gelen yüklenmenin gerilimi düşürdüğü bu nedenle asenkron generatörün elektriksel güç aktarımı yapamadığı görülmektedir. Mekanik moment azalma göstermekle birlikte elektriksel moment gibi sıfır noktasına gelmemektedir. Bu geçici durumda rüzgarın sürekli türbine mekanik güç verdiği göz önünde bulundurulursa generatörün hızında önemli bir artma yaşanmaktadır. Ancak daha sonra kararlı bir noktada oturmaktadır.

Oysa şebeke ile paralel çalışma durumunda meydana gelen yük artışını karşılayacak ilave güç şebekeden alınabilmektedir. Bu durumda generatör daha az zarar görmekte hız ve moment kaybı daha az olmaktadır. Simülasyonlardan görüldüğü gibi (Şekil 10-17) şebeke ile çalışma durumunda generatör bu yük artışından çok az etkilenmiştir. Değişimler hissedilmeyecek kadar düşüktür.

Tek başına çalışma durumlarında üretilen ve tüketilen gücün dengeli ve eşit olması zorunluluktur. Herhangi bir şekilde yük talebi artarsa gerilimde önemli oranda azalma ve hatta çökme meydana gelebilir. Dinamik kararlılık açısından rüzgar türbinlerinin ayrı çalışması sorunlara yol açabilir. Çok sayıda generatörün yer aldığı devasa rüzgar çiftliklerinde ise sistemin kapasitesi ve kısa devre gücü arttığından biraz daha kararlı bir durum ortaya çıkabilmektedir. Şebekeye paralel bağlanma dinamik kararlılık açısından gereklidir.

KAYNAKLAR

- [1] Ackermann, T., Söder, L., An Overview of Wind Energy Status 2002, RENEWABLE & SUSTAINABLE ENERGY REVIEWS , Vol.6, pp 67-127, 2002.
- [2] Ekanayake, J.B., Induction Generators for Small Hydro Schemes, IEE POWER ENGINEERING JOURNAL, pp.61-67, April 2002.
- [3] Henderson, D.S., Synchronous or Induction Generators? The Choice for Small Scale Generation, OPPORTUNITIES AND ADVANCES IN INTERNATIONAL POWER GENERATION, IEE CONF.PUBLICATION NO : 419, pp.146-149, 1996.
- [4] Saad-Saoud, Z., Jenkins, N., Simple Wind Farm Dynamic Model, IEE PROC. GEN. TRANS. DISTRIBUTION, Vol.142, No.5, pp.545-548, Sept. 1995.
- [5] Bialasiewicz ve diğerleri, Modular Simulation of a Hybrid Power System with Diesel and Wind Turbine Generation, Proc. of the WINDPOWER 98, NREL/CP-500-24681, 1998.