

## BİR FAZLI SERİ KOMPAZASYONLU TESİS TASARIMI VE ANALİZLERİ

Mükremin AY, Yusuf GÖNCÜOĞLU, Naci İRİS

**Özet**–Seri kompanzasyon, reaktif güç kompanzasyonu yöntemlerinden biridir. Seri kompanzasyon ile; bir iletim hattında, endüktif reaktansın hat gerilimine etkisini, seri bağlanacak bir kapasitör ile kısmen veya tamamen kompanse edebiliriz.

Böylece, iletim hattında taşınabilecek maksimum güç artırılabilir veya belli bir güç transferi için iletim açısı( $\delta$ ) küçültülebilir ve hattın doğal yükü artar. Seri kompanzasyon enerji iletim hatlarının ısısal sınırlara yakın değerlerde yüklenmesini sağlar.

Bu makalede, seri kompanzasyonun faydaları ile bir fazlı iletim sistemine etkileri incelenmiştir.

**Anahtar kelimeler**–Güç katsayısı, Seri kompanzasyon, Gerilim düşümü, MOV (Metal Oksit Varistör), Seri kapasitör

**Abstract**- Series compensation is one of reactive power compensation methods. With the series compensation; on the one of transmitting line, effect of the inductive reactance to the line voltage is compensated partly or completely with series connected capacitor.

In this way, maximum power carried by the transmission line can be increase or transmitting angle( $\delta$ ) for a specific power transmitting can be decrease. Thus, natural load of the line is increased. Series compensation, fulfil loading the energy transmitting lines near the heat limitation values.

In this article, advantages of the series compensation and it's effects to the transmitting line are examined.

**Keywords**-Power coefficient, series compensation, voltage drops, MOV(Metal Oxide Varistor), Series capacitor

### I. GİRİŞ

Elektrik tesislerinde gerilim ve reaktif güç kontrolü önemli bir problemdir. Bu problem sorunsuz bir alternatif akım şebekesi için çözümlenmelidir. Elektrik tesislerinin ve yükün ihtiyacı olan reaktif gücün belli teknikler kullanılarak karşılanması reaktif güç kompanzasyonu olarak isimlendirilir.

Bir alternatif akım şebekesinin kalitesi beş ana ölçüt ile tanımlanabilir:

1. Gerilim ve frekans sabitliği
2. Güç faktörünün 1'e yakınlığı
3. Faz gerilim ve akımlarının dengeliliği
4. Sürekli enerji verebilmesi
5. Harmonik miktarının belirli sınırlar arasında kalması

Bu kaliteyi sağlamak için reaktif güç kompanzasyon cihazlarının kullanılması gerekir [1].

Reaktif kompanzasyon yöntemleri enerji kalitesini artırarak reaktif ve aktif güç akışını kontrol edebilmektedir.

Seri kompanzasyon enerji iletim hatlarının ısısal sınırlara yakın değerlerde yüklenmesini sağlar, güç akış kontrolünü sağlar ve kararlılığı artırır. Seri kompanzasyon sabit kapasitörlerle sağlanabildiği gibi mekanik anahtarlamalı veya tristör kontrollü kapasiteler tarafından sağlanabilmektedir. Tristör kontrollü seri kompanzasyon sisteminde seri kapasitif reaktans basamaksız ve daha hızlı kontrol sağlar [2].

### II. SERİ KOMPAZASYONUN AVANTAJLARI

Seri kompanzasyonun faydaları olmasına rağmen sebep olduğu bir takım sorunlar nedeniyle paralel kompanzasyona oranla daha az kullanılmaktadır. Teknolojinin gelişimine paralel olarak tristör kontrollü seri kompanzasyon sayesinde sakıncalar en aza indirilmiş ve kullanımını artmıştır [3].

Seri kompanzasyonun faydaları aşağıda verilmiştir;

1. Güç iletiminde en uygun şartları sağlar.
2. Kararlılığı artırır.
3. Hat gerilim profilini düzeltir [2].

### III. SERİ KOMPAZOSYONUN DEZAVANTAJLARI

Seri kompanzasyon gelişigüzel kullanıldığı takdirde çeşitli sorunlara neden olur. Seri kompanzasyon güç sistemine uygulanırken gerekli önlemler ve hesaplamalar yapılırsa dezavantajları ortadan kaldırılabilir.

Seri kompanzasyonun sebep olduğu sakıncalar şu şekilde sıralanabilir;

1. Senkron altı rezonans [4]
2. İletim sisteminin korunmasının güçleşmesi [4]
3. Geçici toparlanma geriliminin büyümesi [5].

Senkron altı rezonans; elektrik şebekesi ile türbin generatör mekanik biriminin aralarında ana frekansından küçük bir frekansta enerjinin değişimi olarak tanımlanabilir [6].

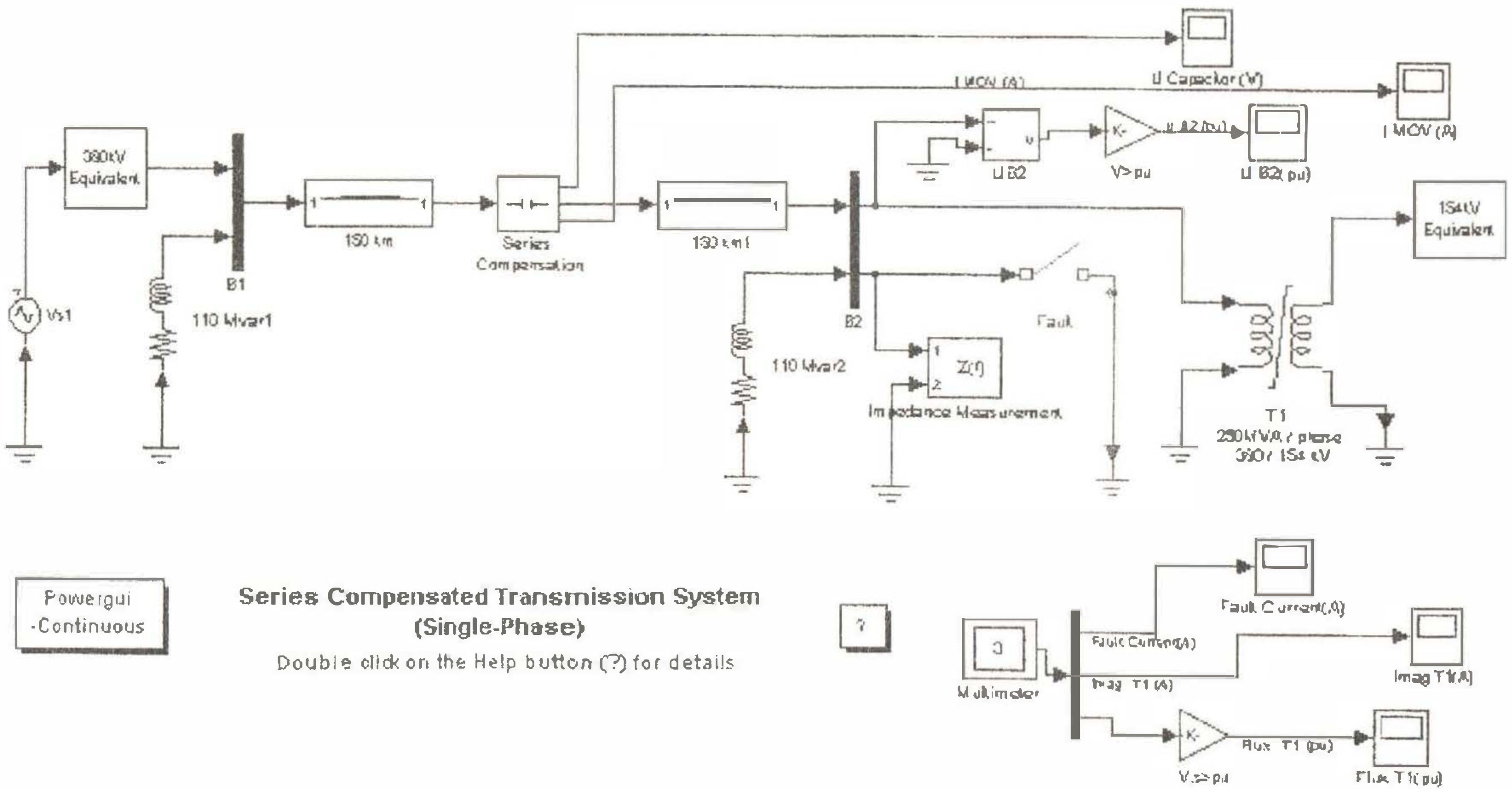
Tümü bu olumsuz etkiler gerekli önlemler alındığı takdirde ortadan kaldırılabilir.

### IV. TRİSTÖR KONTROLLÜ SERİ KOMPAZASYON

Seri kompanzasyon teknolojisinde en büyük gelişme, seri kompanzasyonun kontrol sistemlerinde görülmektedir. Seri kompanzasyonun ilk uygulamalarında seri kapasiteler, mekanik anahtarlarla bypass edilerek ve devreye alınarak seri kompanzasyon derecesi kontrol edilmekteydi [2]. Güç elektronığının gelişimi ile seri kompanzasyon kontrol elemanı olarak tristör kullanılmaya başlandı [7].

#### IV.1. Seri Kompanzasyonun Kontrol Yöntemleri

1. Mekanik anahtarlama seri kapasitörler
2. Tristör kontrollü seri kapasitörler
3. Tristör anahtarlama seri kapasitörler



Şekil 1 Bir Fazlı Seri Kompanzasyonlu İletim Hattı

#### IV.2. Tristör Kontrollü Seri Kompanzasyonun Güç Sistemine Ek Katkıları

Tristör kontrollü seri kompanzasyon sabit veya mekanik anahtarlama kompanzasyonun güç sistemine sağladığı yararların hepsini sağlar. Bu kompanzasyon sisteminin güç sistemine sağladığı ek yararlar aşağıda sıralanmıştır;

1. Güç akışının kontrolü [7,8]
2. Senkron altı rezonansın önlenmesi [2,7,8]
3. Güç salımlarının söndürülmesi [8]

olarak verilebilir.

#### V. BİR FAZLI SERİ KOMPANZASYONLU İLETİM SİSTEMİ

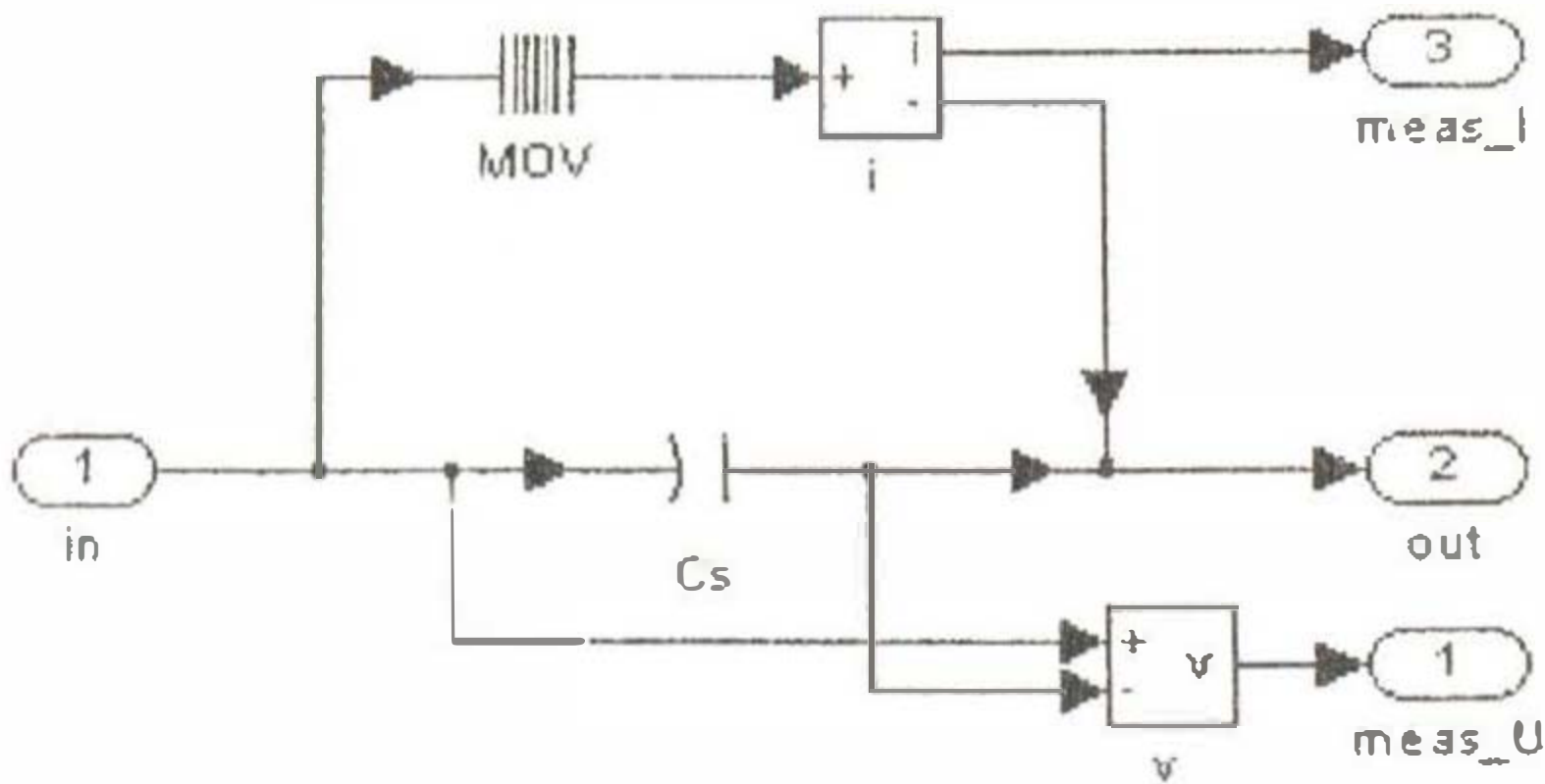
##### V.1. Sistemin Tanımı

B1 barasından B2 barasına güç iletimi için 380 KV, 300 Km lik seri kompanzasyonlu iletim hattı Matlab Simulink' de tasarlanmıştır. (Şekil 1.)

Sistemi basitleştirmek için şekilde sistemin sadece bir fazı gösterilmiştir.

İletim kapasitesini artırmak için, iletim hattı, merkezine yerleştirilen ve hat reaktansının %40' ını temsil eden bir kapasitör tarafından kompanze edilir. Ayrıca hat 330 MVar' lik şönt reaktans ile ( faz başına 110 MVar) kompanze edilir.

##### V.1.1. Seri Kompanzasyon Alt Sistemi

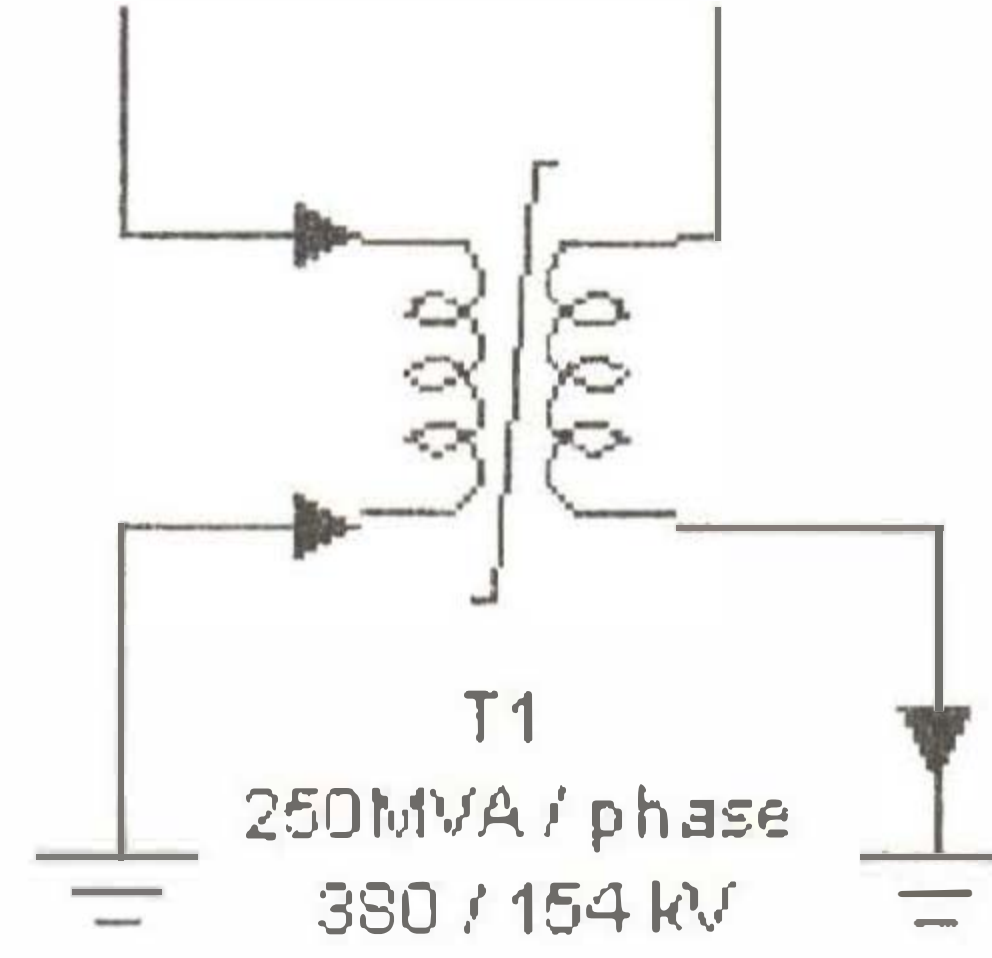


Şekil 2. Seri Kompanzasyon Alt Sistemi İç Yapısı

Sistemde seri kapasitör, MOV( Metal Oksit Varistör) tarafından korunmaktadır.

##### V.1.2. Transformator Bloğu

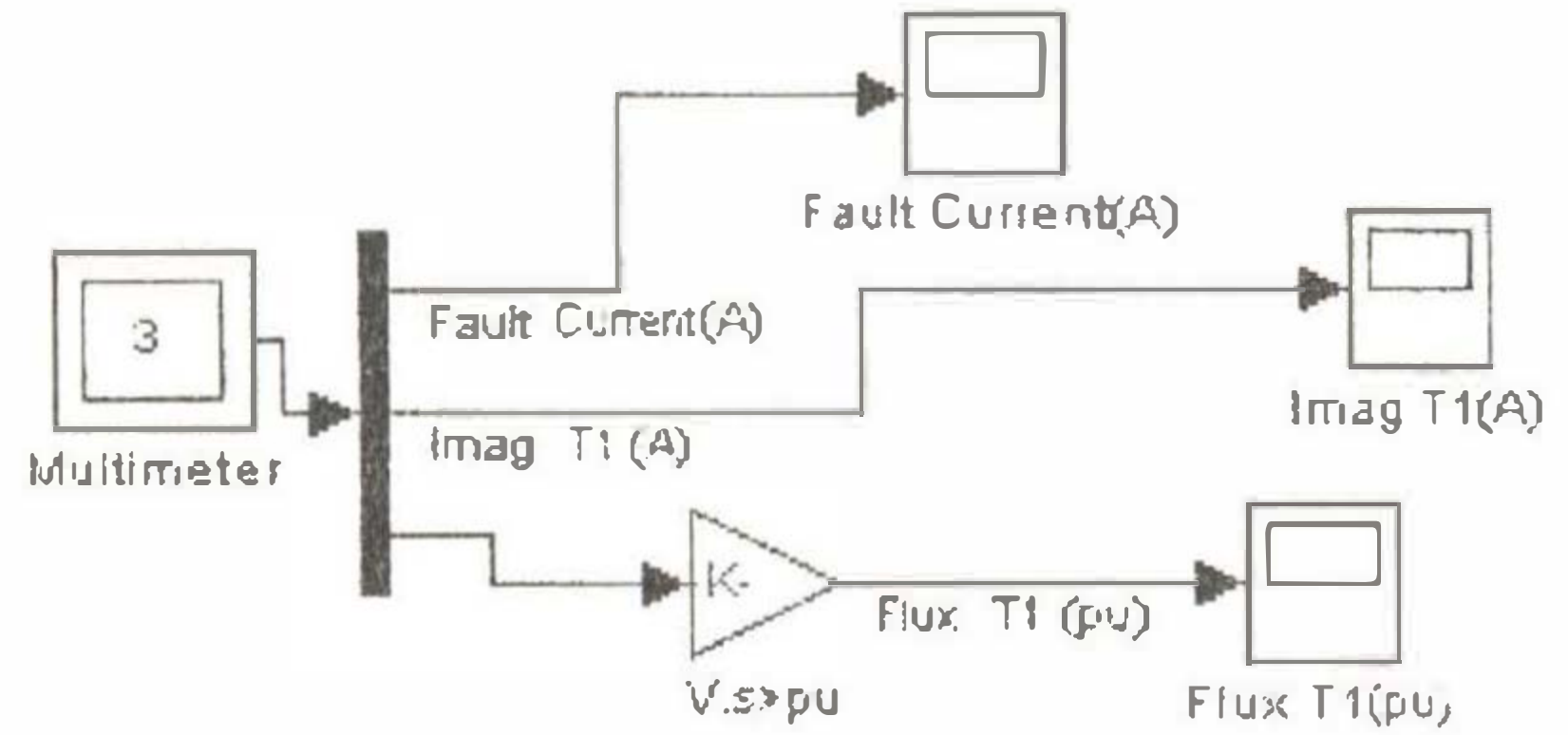
250 MVA, 380KV / 154KV ' luk transformator, 3 fazlı 750 MVA ' lik transformatorün bir fazını simüle eden bir fazlı doygunlu bir transformatördür.



Şekil 3. Transformator Bloğu

##### V.1.3 Multimetre Bloğu

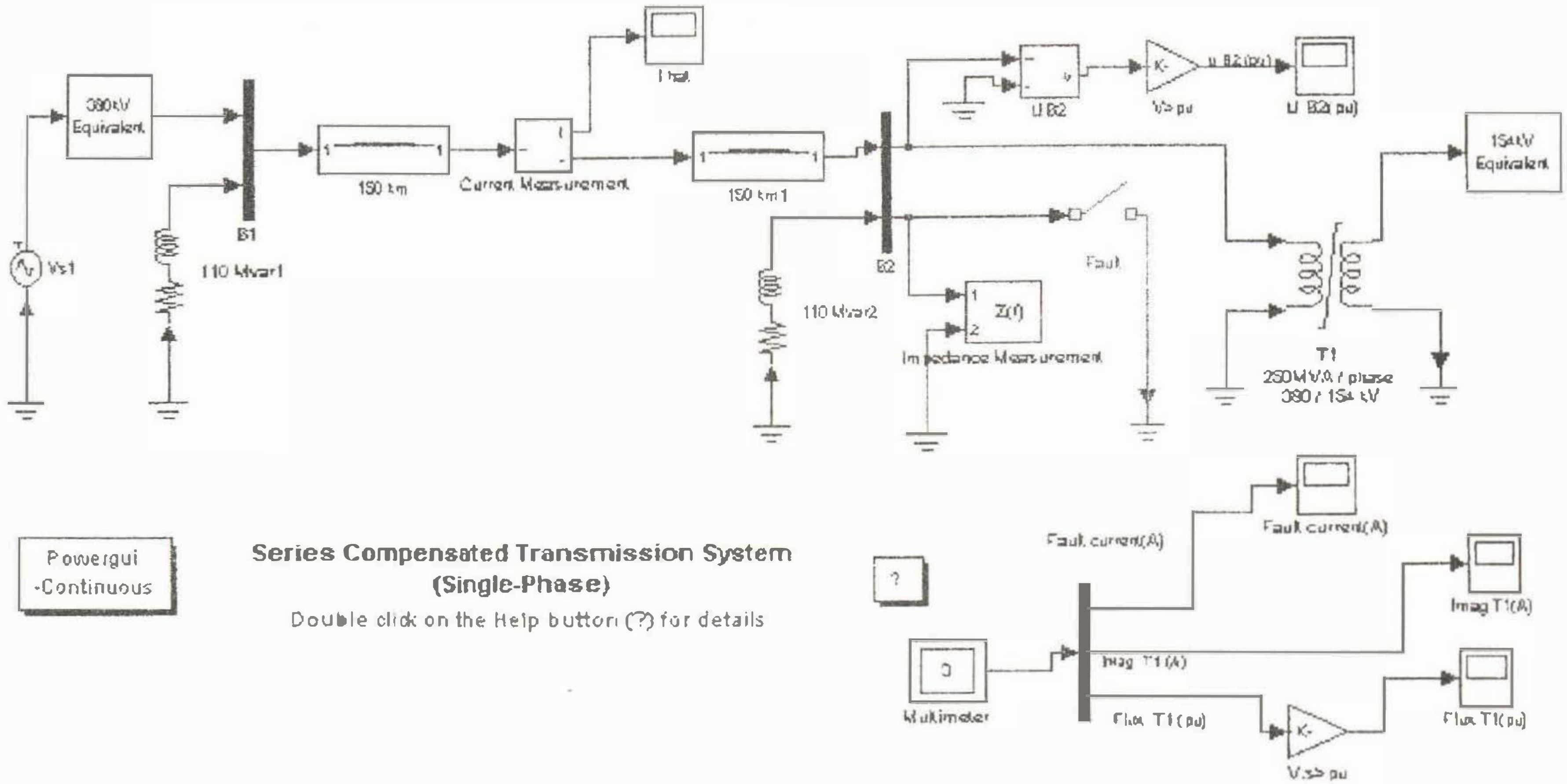
Multimetre bloğu, kısa devre akımı, transformator akısı ve transformator manyetizma akımını görüntülemek için kullanılır.



Şekil 4. Multimetre Bloğu

#### VI. SERİ KOMPANZASYONSUZ SİSTEM

Kompanzasyonlu ve kompanzasyonsuz sistemleri karşılaştırmak için, B1 barasından B2 barasına güç iletimi 380 KV, 300 Km lik kompanzasyonsuz iletim hattı ile Matlab Simulink' de tasarlanmıştır. (Şekil 5.)



Şekil 5. Seri Kompanzasyonsuz Bir Fazlı İletim Hattı

Kompanzasyonlu sistemde olduğu gibi yine B2 barasında kısa devre arızası durumu için simülasyon başlatılır ve göstergelerdeki dalga şekilleri gözlenir.

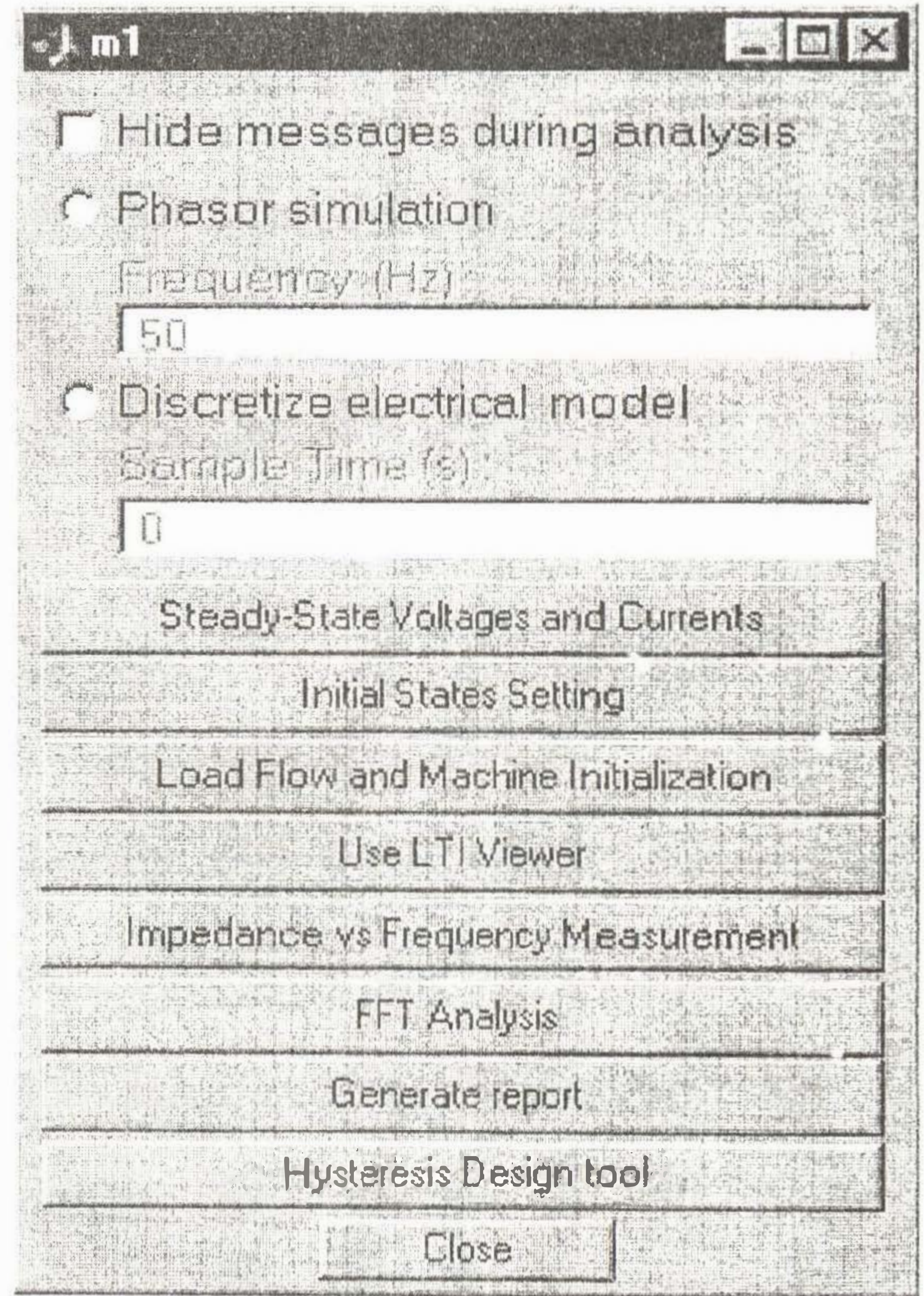
## VII.SİSTEMİN İNCELENMESİ

Sistemde B2 barasına 6 sayıklık bir arıza uygulayarak devrenin geçici hal performansı üzerinde çalışılabilir.

Arıza kesici blok tarafından oluşturulur. Anahtarlama zamanı kesici blok içerisinde tanımlanır. ( Burada anahtar 3.sayıkılda kapatılıp 9. sayıkılda açılır.)

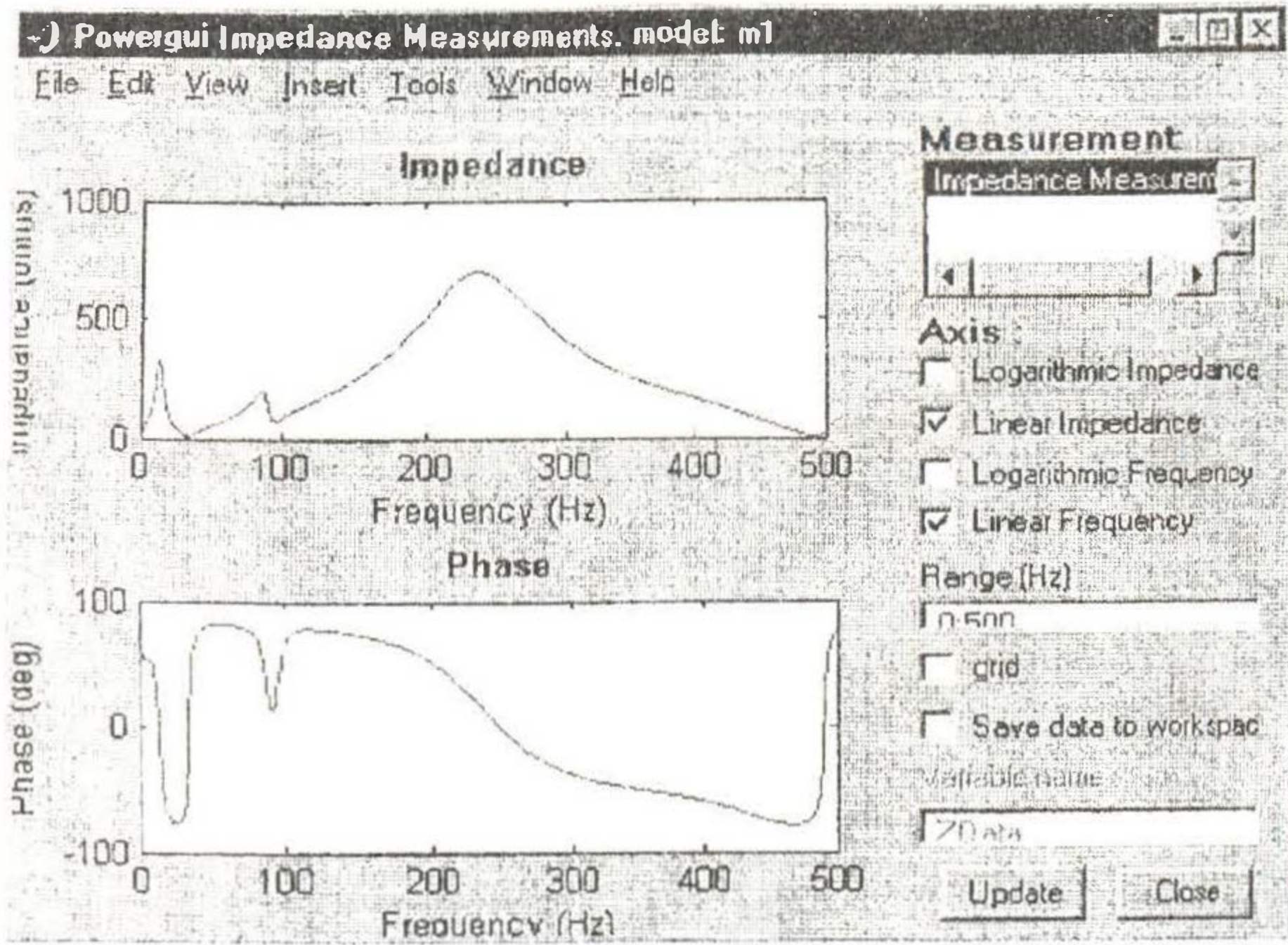
### VII.1. Sistemin Frekans Analizi

Seri kompanzasyon yapılmış şebekenin geçici hal davranışını anlayabilmek için B2 barasındaki empedansın ölçülmesi yoluyla frekans analizi gerçekleştirilir. Bu ölçüm, B2 barasına bağlı olan empedans ölçüm bloğu tarafından gerçekleştirilir. "Powergui" bloğu açılır.



Şekil 6. Powergui "Tools" menüsü

“Tools” menüsü içerisinde “Empedans ve frekans ölçümü” seçeneğine girilir. 0-500Hz. aralığındaki empedansı göstermek ve hesaplamak için “display” düğmesine tıklanır.



Şekil 7. Empedans ve Faz Çevrim Grafiği

Eğriler 15Hz ve 250Hz modlarına karşılık gelen iki ana paralel rezonansları (maksimum empedans ve faz çevrimi) gösterir. 15 Hz modu seri kapasitenin ve iki şönt reaktansın paralel rezonansına bağlıdır. 250 Hz modu ise genel olarak iletim sisteminin paralel hat kapasitesi ile seri reaktansının rezonansına bağlıdır.

## VII. 2. Zaman Domeni Simülasyonu

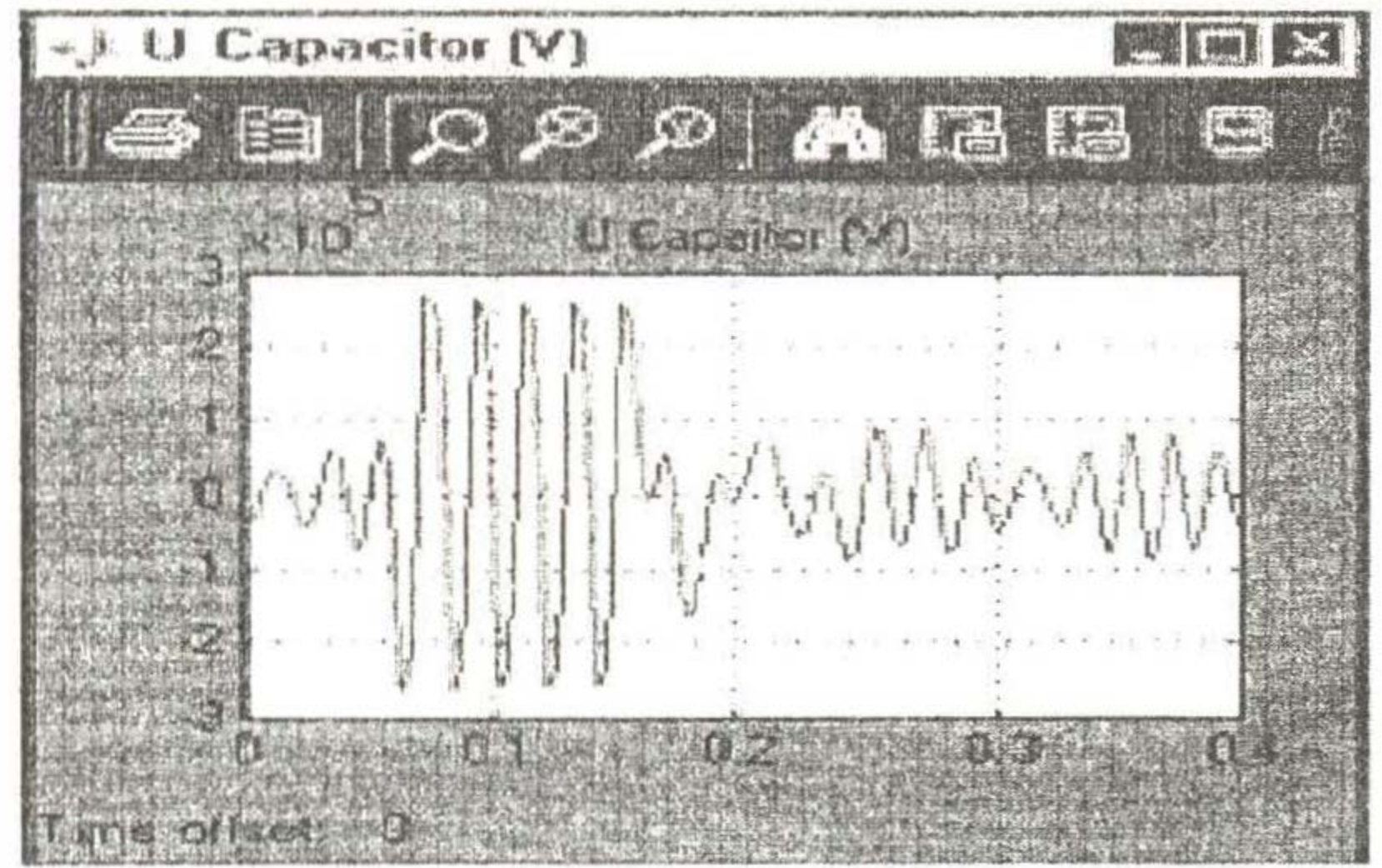
Hem kompanzasyonlu hem de kompanzasyonsuz sistemde, B2 barasında kısa devre arızası oluşması durumu için simülasyon başlatılıp, Şekil 8 - 18 arası göstergelerdeki dalga şekilleri gözlenmiştir.

Üçüncü saykılarda hat ile toprak arasında bir kısa devre arızası oluşturulur. Seri kompanzasyonsuz sistemde devre akımı 5 KA'e ulaşır (Şekil 10). Seri kompanzasyonlu sistemde arıza akımı MOV (Metal Oksit Varistör) tarafından sınırlandırılarak 3 KA' i geçmesi engellenir. Böylece hat arıza anında fazla akımdan korunmuş olur (Şekil 11).

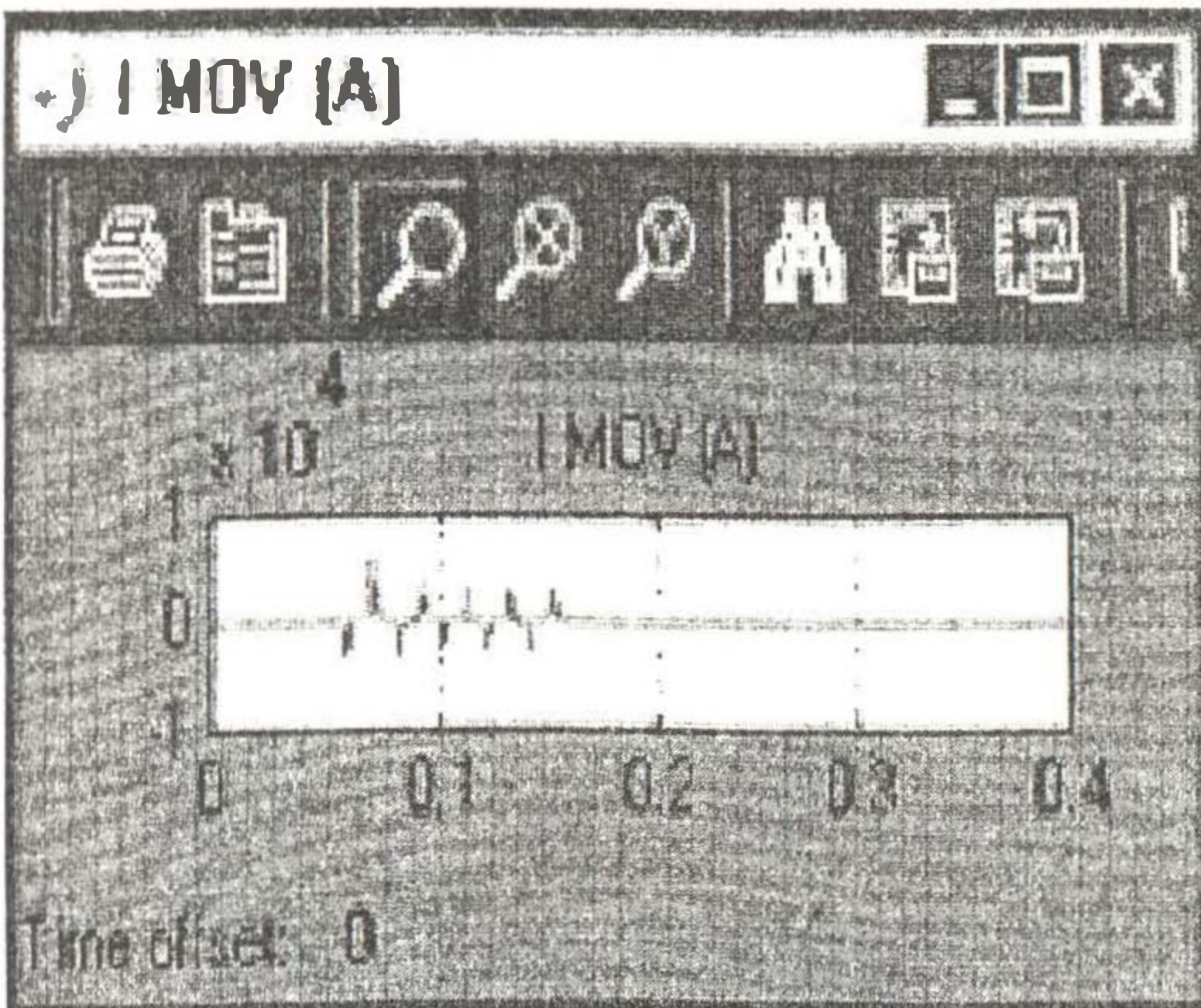
Yine arıza sırasında MOV, her yarım saykılı iletir (Şekil.9) ve kapasitör üzerindeki gerilim 263 KV ile sınırlı kalır (Şekil 8).

Dokuzuncu saykılarda anahtar açılarak hata giderilir. 15 Hz modu kapasitör voltajı üzerinde (Şekil 8) ve B2 barası voltajı üzerinde (Şekil 11) açıkça görülebilir.

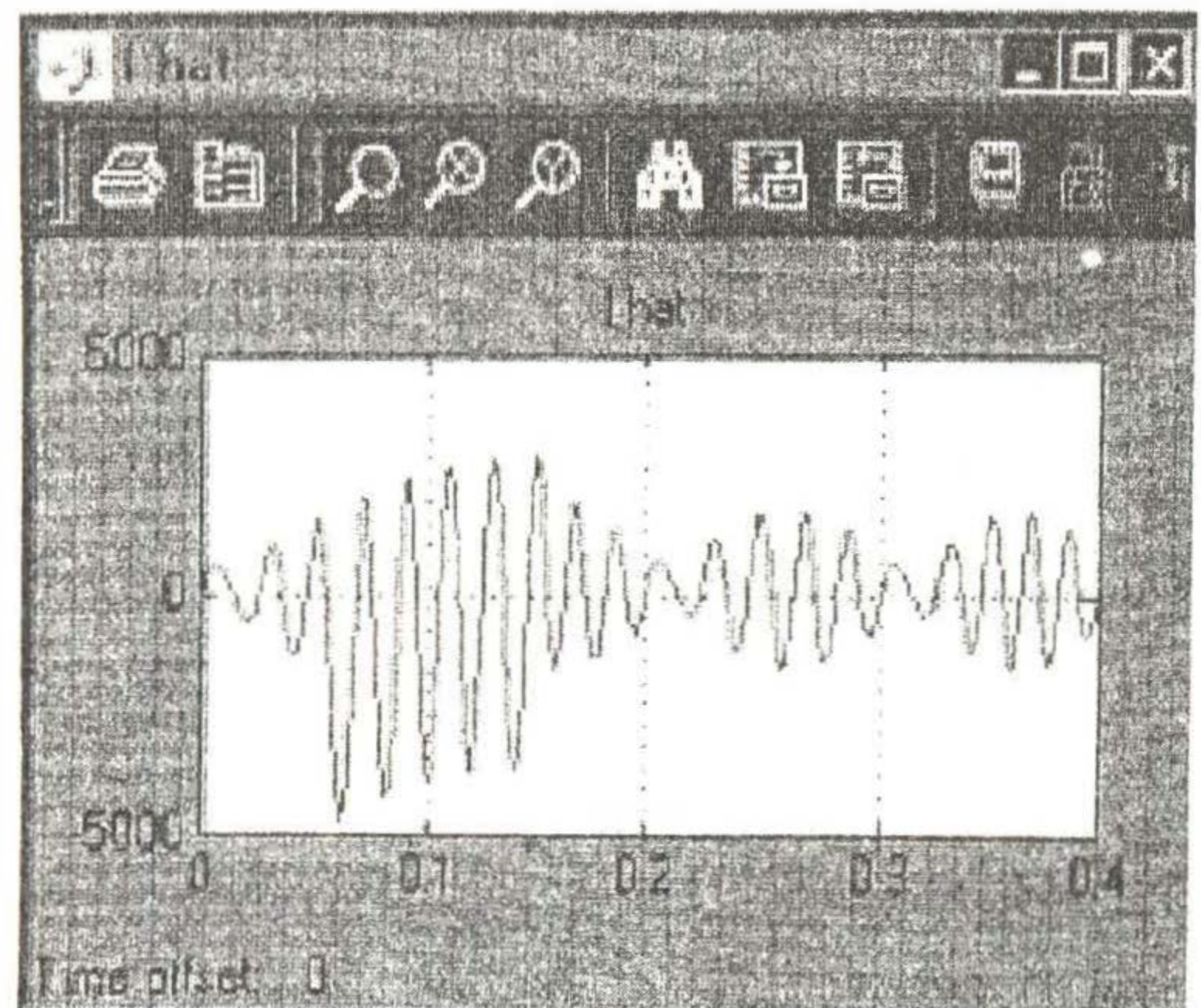
Arıza sırasında transformatördeki akı 0.8 pu civarına yükselir. Hata giderilirken akı dengesi ve 15 Hz bileşeni manyetizma akım palserini üreterek transformatörün doyumuna neden olur (Şekil 15). Akı 1.0 pu civarına ulaşır (Şekil 17).



Şekil 8. Kapasitör Gerilimi

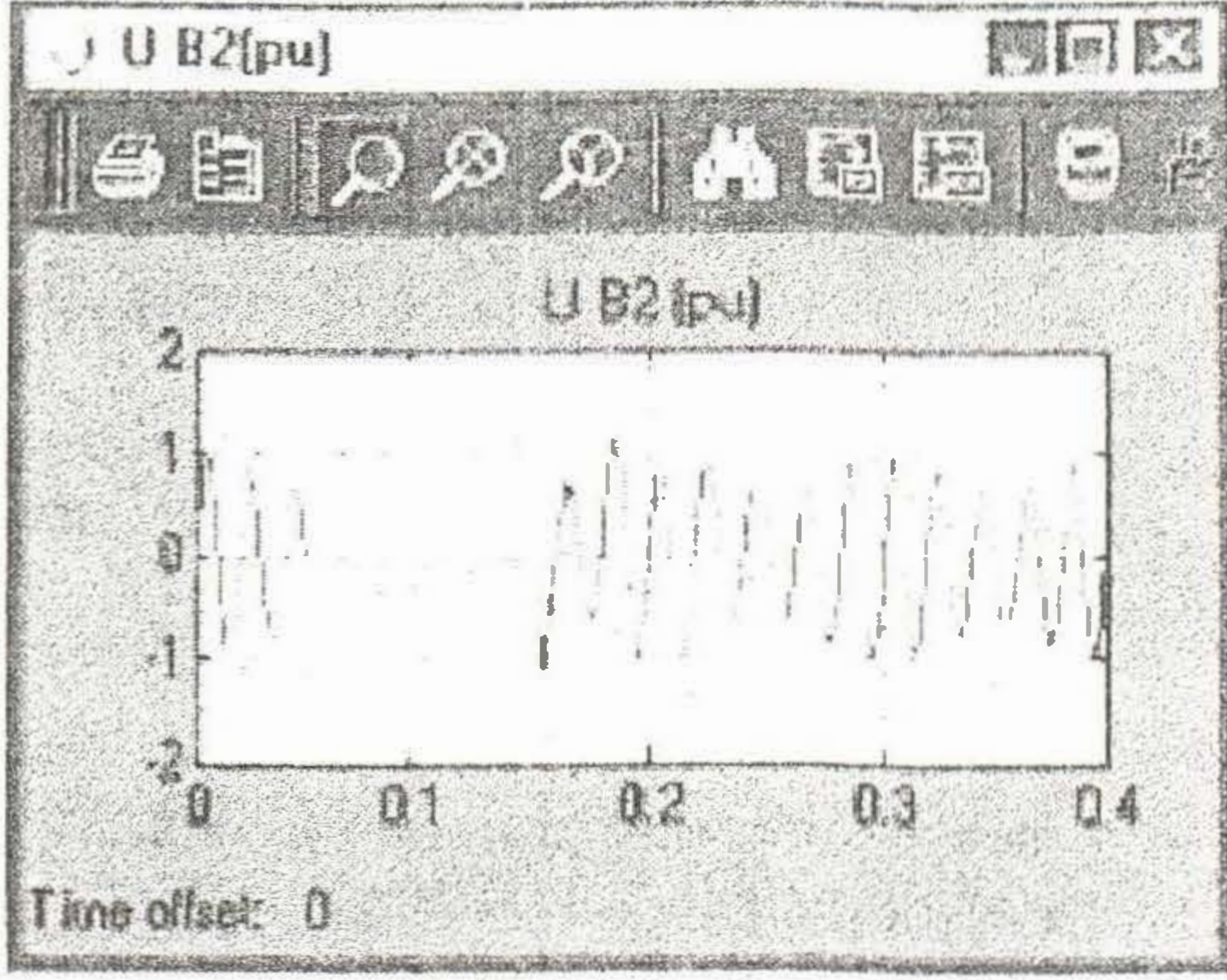


Şekil 9 Kompanzasyonlu Sistemin MOV (Metal Oxide Varistör) akımı



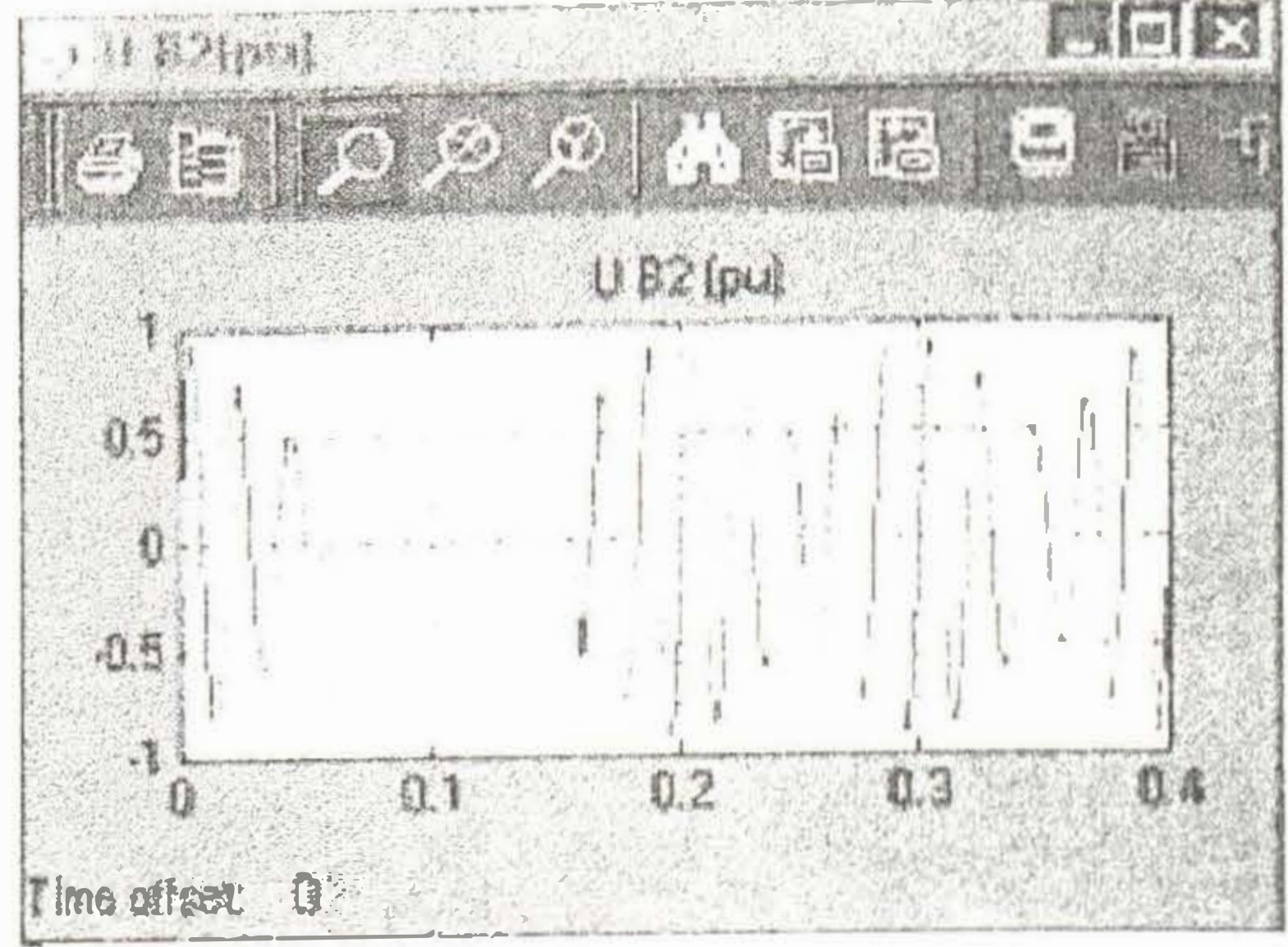
Şekil 10 Kompanzasyonsuz Sistemin Hat Akımı

### KOMPAZASYONLU SİSTEM

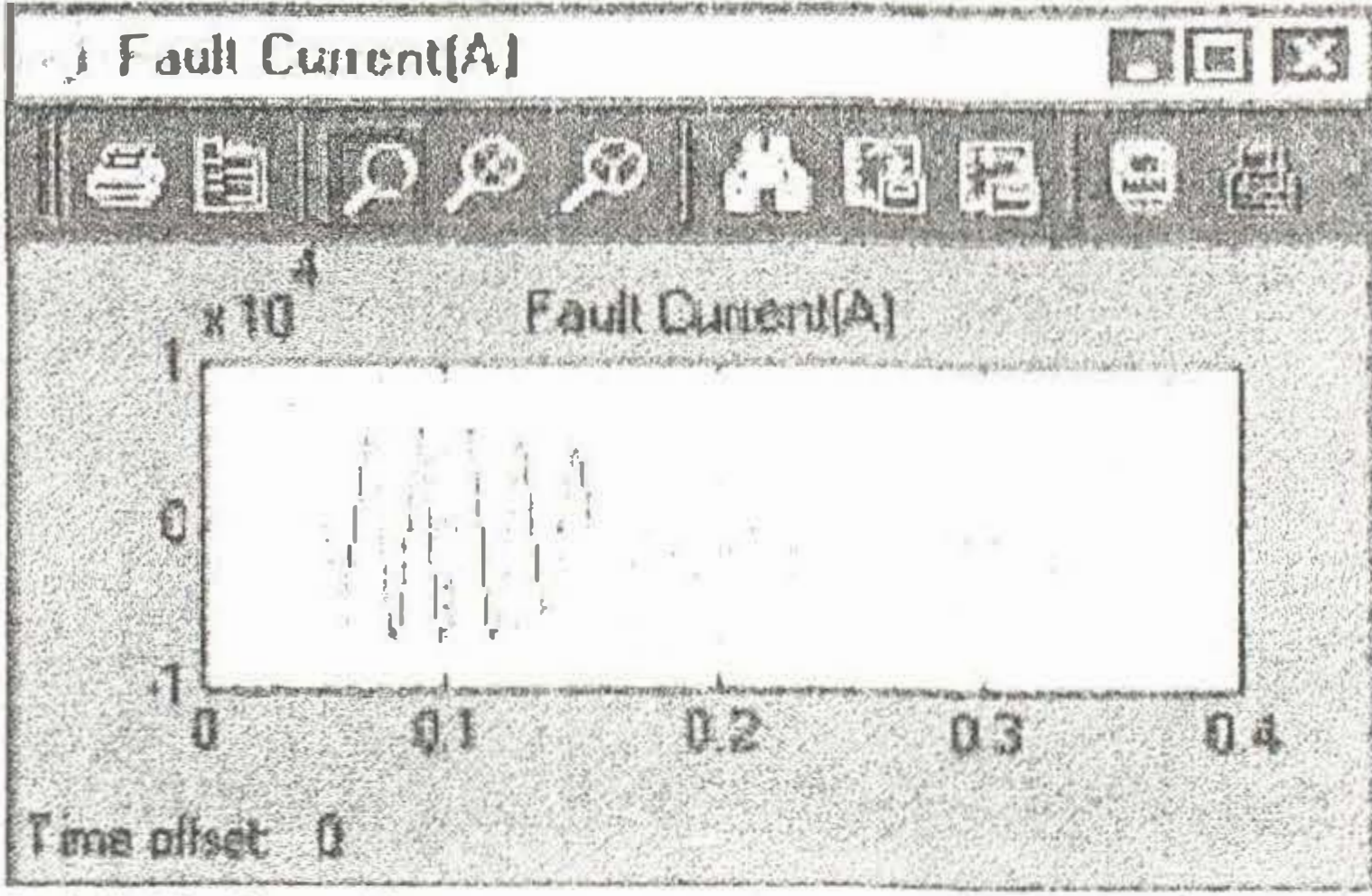


Şekil 11. B2 Bara Gerilimi

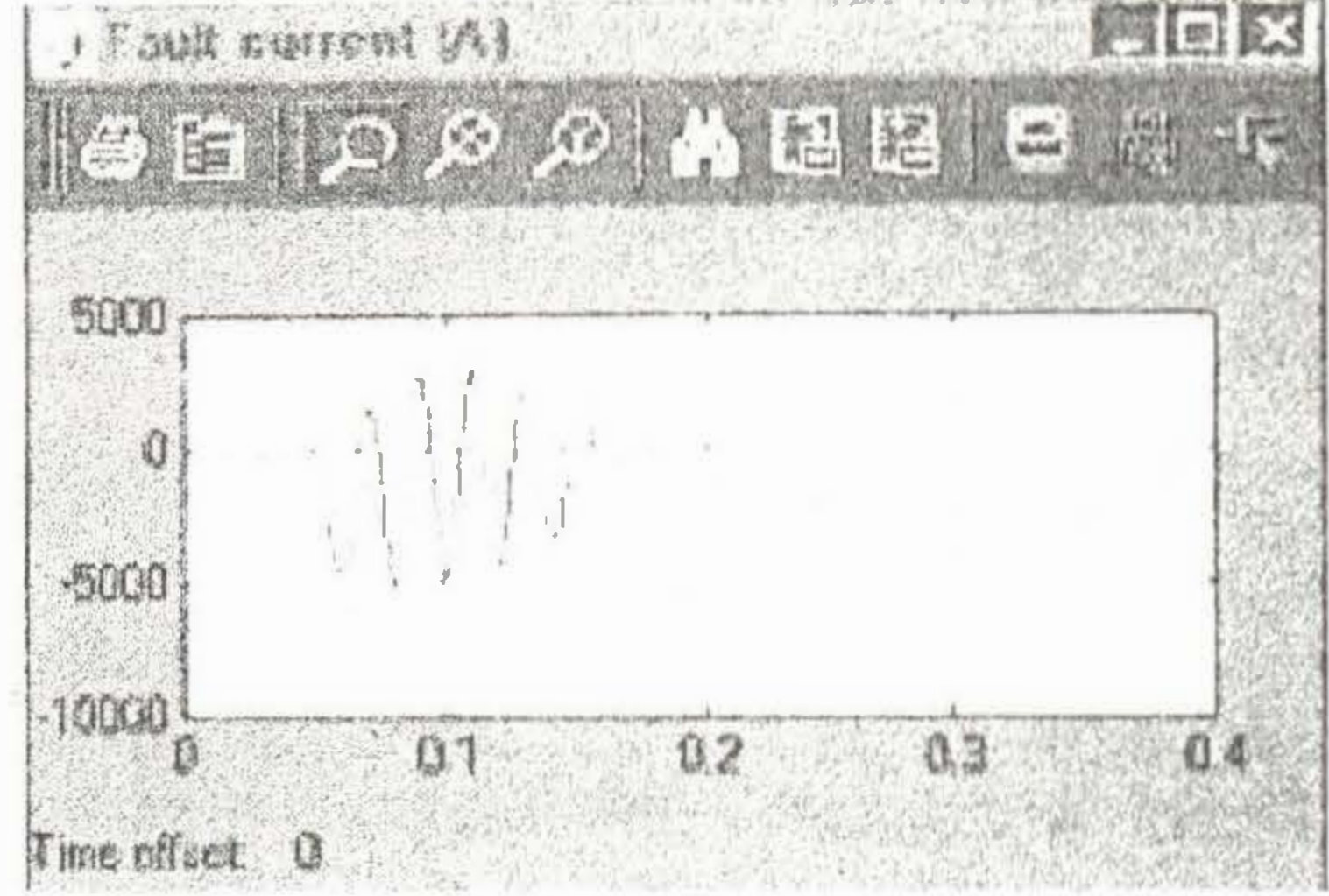
### KOMPAZASYONSUZ SİSTEM



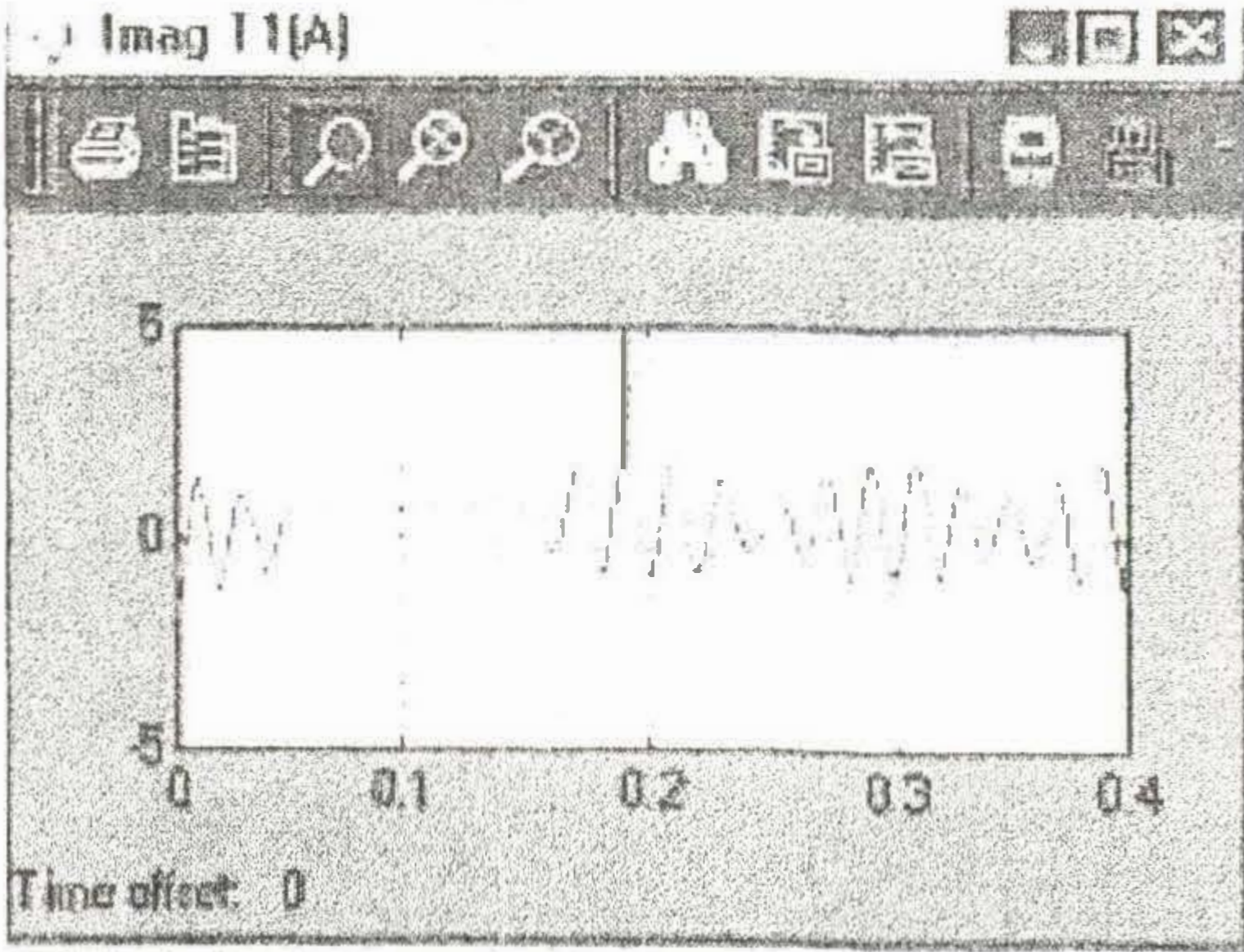
Şekil 12. B2 Bara Gerilimi



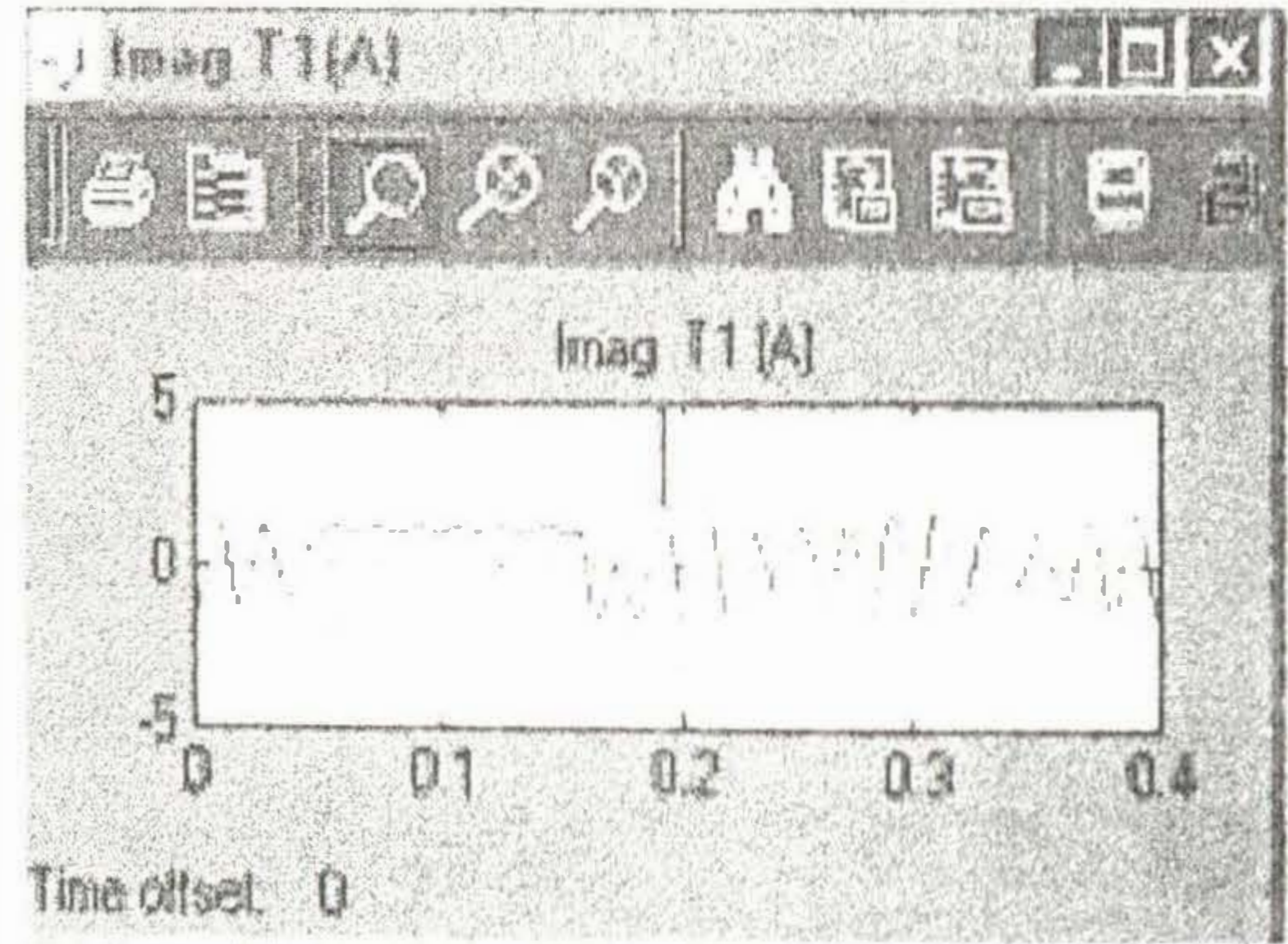
Şekil 13. Hata Akımı



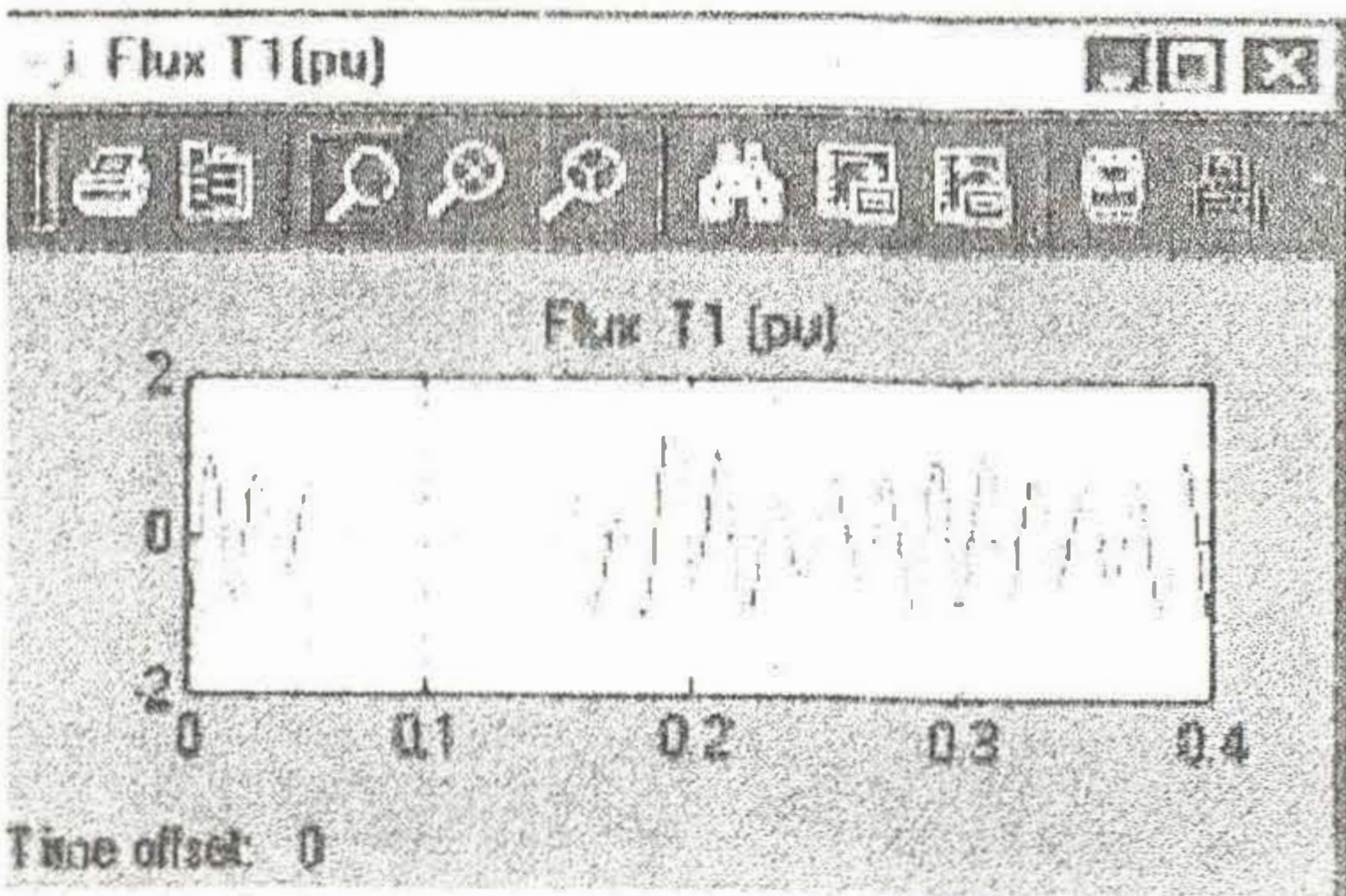
Şekil 14. Hata Akımı



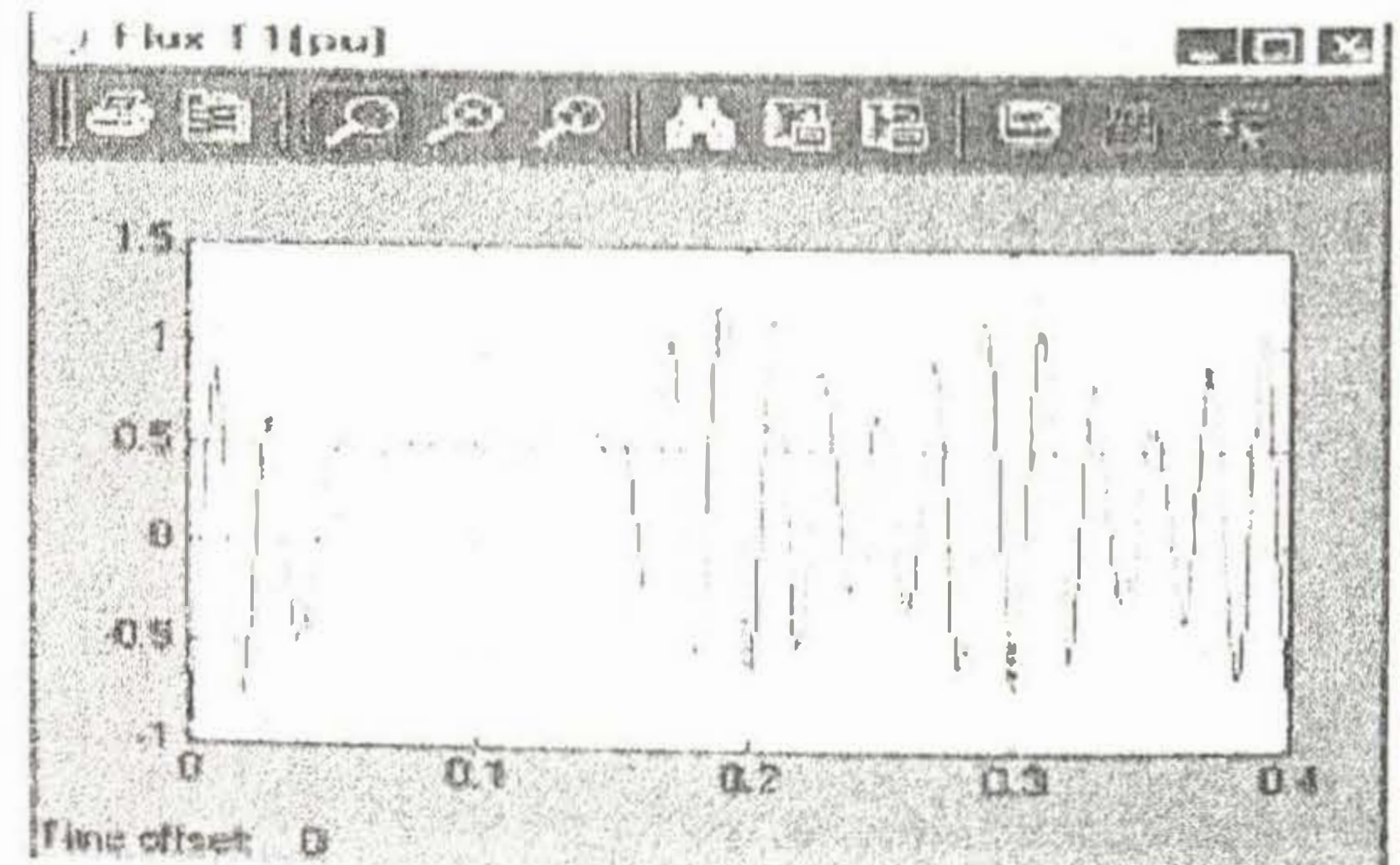
Şekil 15. Trafo Manyetizma Akımı



Şekil 16. Trafo Manyetizma Akımı



Şekil 17. Trafo Akısı



Şekil 18. Trafo Akısı

## VIII. SONUÇ VE YORUMLAR

Yapılan çalışmaların sonucunda reaktif güç kompanzasyonunda, seri kompanzasyonun önemli bir faktör olduğu görülmüştür.

Seri kompanzasyon, iletim hattının seri reaktansının değerini seri kapasitörler vasıtasıyla azaltarak iletim hattının kararlılığını olumlu yönde etkilemektedir.

Ayrıca seri kompanzasyon enerji iletim hatlarının ısısal sınırlara yakın değerlerde yüklenmesini sağlar. Güç akış kontrolünü sağlar ve sistemin kararlılığını artırır.

Seri kompanzasyon sabit kapasitörlerle sağlanabildiği gibi tristör kontrollü kapasitörlerle de sağlanabilmektedir.

Seri kompanzasyon hattın eşdeğer empedans değerini azaltarak hattın daha kısa gibi davranmasını sağlar. Arıza durumlarında yapısında bulunan MOV (Metal Oksit Varistör) yardımıyla hattın geçen akımını azaltır ve bara gerilimlerinin de daha kararlı olmasını sağlar.

## KAYNAKLAR

- [1] Bayram, M. ,1995 .Kuvvetli Akım Tesislerinde Reaktif Güç Kompanzasyonu, TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası
- [2] Anderson, P.M. ,1996 .Series Compansation of Power System, Inc.187,California
- [3] Miller, T.J.E. ,1982 .Reactive Power Control in Electric Systems, John Wiley & Sons
- [4] Anderson, P.M. , Agrawal B.L. ,Van Ness J.E. ,1980 .Subsynchronous Resonance in Power Systems, IEEE Press
- [5] Greenwood A. ,1991 .Electrical Transients in Power Systems, John Wiley & Sons
- [6] IEEE Commite Report, 1992. Reader's Guide to Subsynchronous Resonance, IEEE Trans., v.PWRS, n.1,p.150-157
- [7] Larsen E.V.,Clark K., Misk S.A., Urbanek J.,1994. Characteristics and Compensation, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.9, No.2.
- [8] Urbanek J., R. J. Larsen E. V., Dansky B.L., Furumasa B., 1993 .Thyristor Controlled Series Compensation at the Slat 500kV Substation, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 8, No.3.
- [9] www.mathworks.com