MİKROİŞLEMCİ TABANLI FAZ KİLİTLEME UYGULAMASI

Mesut KAHRAMAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK EĞİTİMİ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KASIM 2005
ANKARA

MİKROİŞLEMCİ TABANLI FAZ KİLİTLEME UYGULAMASI

(Yüksek Lisans Tezi)

Mesut KAHRAMAN

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Kasım 2005

ÖZET

Bu tezde, klasik uyarlanabilir metotlardan yinelenen en küçük kareler metodu kullanılarak şebekedeki faz kaymaları, ani gerilim sıçramaları, frekans değişimleri ve gerilim göçmeleri gibi durumlarda faz bilgisi elde edilerek şebekenin izlenmesi simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Simülasyon, yinelenen en küçük kareler metodunun unutma faktörü ile Kalman filtresi yaklaşımlarına göre MATLAB ara yüz kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu iki yaklaşımdaki unutma faktörünün ve R_1 matrisinin norm değerinin hesaplama üzerindeki etkileri farklı değerler için incelenmiştir. Frekans spektrumu analizi ile farklı değerler için karşılaştırmalar yapılmıştır.

Bilim Kodu : **626.01.03**
Anahtar Kelimeler : **Yinelenen en küçük kareler metodu, MATLAB GUI, Frekans spektrumu**
Sayfa Adedi : **90**
Tez Yöneticisi : **Yrd. Doç. Dr. Hasan Hüseyin SAYAN**

APPLICATION OF MICROPROCESSOR BASED PHASE LOCKED

(M.Sc. Thesis)

Mesut KAHRAMAN

GAZI UNIVERSITY
INSTITUE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
November 2005

ABSTRACT

In this thesis, observing of network such as situation of phase shifted of network, spike of voltage, changing of frequency and voltage collapse was simulated using one of classical adaptive method. Simulation has been realized according to recursive least square method of forgetting factor and approach of Kalman filter using MATLAB interface. Effect of calculate on forgetting factor of this two approach and norm value of R_1 matrix was examined for different values. Comparison of different values was done with analysis of frequency spectrum.

Science Code : **626.01.03**
Key Words : **Recursive least square method, MATLAB GUI, Frequency spectrum**
Page Number : **90**
Adviser : **Assist. Prof. Dr. Hasan Hüseyin SAYAN**

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca beni daima destekleyen, yüreklendiren ve yönlendiren saygı değer hocam Yard. Doç. Dr. Hasan Hüseyin SAYAN'a, değerli görüşleri ile beni yönlendiren hocam Yard. Doç. Dr. Şevki DEMİRBAŞ'a, ve Serdar BİROĞUL'a teşekkürü bir borç bilirim.

Manevi desteğini daima hissettiren arkadaşlarım Yusuf BAKIR'a, Aytek KOŞAR'a, Tahsin GENGÖRÜ'ye ve sonsuz hoşgörülerinden dolayı aileme teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET iii

ABSTRACT iv

TEŞEKKÜR v

İÇİNDEKİLER vi

ÇİZELGELER LİSTESİ viii

ŞEKİLLERİN LİSTESİ ix

SİMGELER VE KISALTMALAR xii

1. GİRİŞ 1

2. KİMLİKLENDİRME METODLARI 3

2.1. En Küçük Kareler Metodu 6

2.1.1. EKK metodu ile en iyi eğriyi bulma 7

2.2. YEKK Metodu 12

2.2.1. YEKK metodundan unutma faktörü yaklaşımının elde edilmesi 12

2.2.2. YEKK metoduna göre Kalman filtresinin elde edilmesi 16

2.2.3. Kalman filtresi ile parametre tahmini 21

2.2.4. Unutma faktörünün algoritmanın tepkisine etkisi 23

2.2.5. R_1 matrisinin norm değerinin algoritma tepkisine etkisi 25

3. YEKK METODUYLA BİR FAZLI SİNYALE KİLİTLENME ALGORİTMASININ GERÇEKLEŞTİRİLMESİ 29

3.1. Algoritmanın Harmonik İçermeyen Sinyale Tepkisinin İncelenmesi 31

3.2. Algoritmanın Harmonik İçeren Sinyale Tepkisinin İncelenmesi 41

3.3. Algoritmanın Belirli Bir Noktada Ani Sıçraması Olan Sinyale Tepkisini İncelenmesi 48

3.4. Algoritmanın Belirli Bir Süre İçin Değeri Sıfır Olan Sinyale Tepkisinin İncelenmesi 52

3.5. YEKK Metodu Algoritmasının Frekans Spektrumu İncelemesi 56

3.5.1. Unutma faktörü yaklaşımının frekans spektrumu 56

.

3.5.2. Kalman filtresi yaklaşımının frekans spektrumu 60

4. SONUÇ VE ÖNERİLER 64

KAYNAKLAR 66
EKLER 67
EK-1. YEKK Metodunun Unutma Faktörü Yaklaşımı İle Bir Fazlı Sinyale Kilitlenme Simülasyonunun Arayüz Yazılımı 68
EK-2 YEKK Metodunun Unutma Faktörü Yaklaşımı İle Bir Fazlı Sinyale Kilitlenme Simülasyonunun Arayüzü 72
EK-3. YEKK Metodunun Kalman Filtresi Yaklaşımı İle Bir Fazlı Sinyale Kilitlenme Simülasyonunun Arayüz Yazılımı 73
EK-4. YEKK Metodunun Kalman Filtresi Yaklaşımı İle Bir Fazlı Sinyale Kilitlenme Simülasyonunun Arayüzü 77
EK-5. YEKK Metodunun Unutma Faktörü Yaklaşımıyla Gerçekleştirilen Bir Fazlı Sinyale Kilitlenme Simülasyonunun Frekans Spektrumu Arayüzünün Yazılımı 78
EK-6 YEKK Metodunun Unutma Faktörü Yaklaşımıyla Gerçekleştirilen Bir Fazlı Sinyale Kilitlenme Simülasyonunun Frekans Spektrumu Arayüzü 83
EK-7. YEKK Metodunun Kalman Filtresi Yaklaşımıyla Gerçekleştirilen Bir Fazlı Sinyale Kilitlenme Simülasyonunun Frekans Spektrumu Arayüzünün Yazılımı 84
EK-8. YEKK Metodunun Kalman Filtresi Yaklaşımıyla Gerçekleştirilen Bir Fazlı Sinyale Kilitlenme Simülasyonunun Frekans Spektrumu Arayüzü 89
ÖZGEÇMİŞ 90

ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 2.1. *x* noktaları için fonksiyon çıkış değerleri 9

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil **Sayfa**

Şekil 2.1. Genel bir uyarlanabilir kontrol şeması 5

Şekil 2.2. İnterpolasyon doğrusu ile esas doğru 6

Şekil 2.3. $y(x) = 1{,}29 + 0{,}1429x - 0{,}0071x^2$ eğrisi ve tablo değerleri 11

Şekil 2.4. λ =0,95 değeri için YEKK metodunun faz açısı kaymasına ve gerilim göçmesine tepkisi 24

Şekil 2.5. λ =0,90 değeri için YEKK metodunun faz açısı kaymasına ve gerilim göçmesine tepkisi 24

Şekil 2.6. λ =0,85 değeri için YEKK metodunun faz açısı kaymasına ve gerilim göçmesine tepkisi 25

Şekil 2.7. Kalman filtresindeki $R_1=1\cdot I$ norm değeri için tepki eğrisi 27

Şekil 2.8. Kalman filtresindeki $R_1=0{,}01\cdot I$ norm değeri için tepki eğrisi 27

Şekil 2.9. Kalman filtresindeki $R_1=0{,}001\cdot I$ norm değeri için tepki eğrisi 28

Şekil 3.1. YEKK metodundan türetilen faz açısı hesaplama algoritması akış diyagramı 31

Şekil 3.2. İçerisinde harmonik bulunmayan sinyalin eğrisi 32

Şekil 3.3. Harmonik içermeyen kaynak geriliminde yaratılan faz açısı ve gerilim göçmesine algoritmanın tepkisi 33

Şekil 3.4. λ=0.8 değeri için algoritma tepkisi 34

Şekil 3.5. λ=0.95 değeri için algoritma tepkisi 35

Şekil 3.6. 2ms'lik faz açısı kayması için algoritma tepkisi..... 36

Şekil 3.7. Kalman filtresi yaklaşımının $R_1=0{,}1\cdot I$ norm değeri için faz açısı kaymasına tepkisi 38

Şekil 3.8. Kalman filtresi yaklaşımının $R_1=0{,}01\cdot I$ norm değeri için faz açısı kaymasına tepkisi 39

Şekil 3.9. Kalman filtresi yaklaşımında $R_1=0{,}001\cdot I$ norm değeri için faz açısı kaymasına algoritmanın tepkisi 40

Şekil 3.10. %15 3. derece, %8 5. derece, %7 7.derece harmonik içeren sinyal 41

Şekil 3.11. %15 3. derece, %8 5. derece, %7 7.derece harmonik içeren sinyalde yaratılan faz açısı ve gerilim göçmesine algoritmanın tepkisi 42

Şekil 3.12. λ=0,8 değeri için algoritmanın tepkisi 43

Şekil 3.13. λ=0,99 değeri için algoritmanın tepkisi 44

Şekil 3.14. Harmonik içeren sinyaldeki değişimlere Kalman filtresi yaklaşımının $R_1=1\cdot I$ norm değeri için tepkisi 45

Şekil 3.15. Harmonik içeren sinyaldeki değişimlere Kalman filtresi yaklaşımının $R_1=0{,}1\cdot I$ norm değeri için tepkisi.....46

Şekil 3.16. Harmonik içeren sinyaldeki değişimlere Kalman filtresi yaklaşımının $R_1=0{,}01\cdot I$ norm değeri için tepkisi.....47

Şekil 3.17. Algoritmanın unutma faktörü λ=0,90 değeri için ani sıçraması olan sinyale tepkisi 48

Şekil 3.18. Algoritmanın unutma faktörü λ=0,99 değeri için ani sıçraması olan sinyale tepkisi 49

Şekil 3.19. 1ms'lik sıçrama süresi için unutma faktörü yaklaşımının tepkisi 50

Şekil 3.20. Sinyaldeki 0.2ms'lik sıçrama için Kalman filtresi yaklaşımının tepkisi ……..…. 51

Şekil 3.21. Sinyaldeki 1ms'lik sıçrama için Kalman filtresi yaklaşımının tepkisi ……... 52

Şekil 3.22. λ =0,95 unutma faktörü değeri için algoritmanın tepkisi 53

Şekil 3.23. λ =0,99 unutma faktörü değeri için algoritmanın tepkisi 54

Şekil 3.24. $R_1=0{,}01\cdot I$ norm değeri için algoritmanın tepkisi 54

Şekil 3.25. $R_1=0{,}001\cdot I$ norm değeri için algoritma tepkisi 55

Şekil 3.26. λ =0,9 değeri için izlenen sinyal ile hesaplanan değerinin frekans spektrumu ile faz açısı değişimi 57

Şekil 3.27. λ =0,95 değeri için izlenen sinyal ile hesaplanan değerinin frekans spektrumu ile faz açısı değişimi 58

Şekil 3.28. λ =0,99 değeri için izlenen sinyal ile hesaplanan değerinin frekans spektrumu ile faz açısı değişimi 59

Şekil 3.29. R_1=1·I norm değeri için izlenen sinyal ile hesaplanan değerinin frekans spektrumu ile faz açısı değişimi 60

Şekil 3.30. R_1=0,01·I norm değeri için izlenen sinyal ile hesaplanan değerinin frekans spektrumu ile faz açısı değişimi 61

Şekil 3.31. R_1=0,01·I norm değeri için izlenen sinyal ile hesaplanan değerinin frekans spektrumu ile faz açısı değişimi 62

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılan bazı simge ve kısaltalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	**Açıklamalar**
Hz	Hertz
$\boldsymbol{I}$	Birim matris
$\boldsymbol{K}$	Kazanç
ms	Mili saniye
$\boldsymbol{P}$	Kovaryans matrisi
$\boldsymbol{S}$	Sapma
V	Volt
$\boldsymbol{\varepsilon}$	Hata
$\boldsymbol{\lambda}$	Unutma faktörü
ν	Beyaz gürültü
$\boldsymbol{\pi_0}$	Kovaryans sabiti

Kısaltmalar	**Açıklamalar**
DA	Doğru akım
EEG	Elektroensefalografi
EKK	En küçük kareler
UPS	Kesintisiz güç kaynağı
PLL	Phase locked loop
PWM	Darbe genlik modülasyonu
YEKK	Yinelenen en küçük kareler

1. GİRİŞ

Günümüzde hızla gelişen yarı iletken teknolojisi sayesinde her geçen gün daha iyi performansa sahip dijital sinyal işlemcileri geliştirilmektedir. Böylece çeşitli hesap yöntemleri kullanılarak geliştirilen algoritmalar sayesinde sistemlerin ihtiyacı olan parametreler kolaylıkla elde edilebilmektedir. Sistem parametrelerinin tahminine dayanan hesaplama teknikleri günümüzde kendine oldukça fazla kullanım alanı bulmaktadır. Bu parametre tahmini ve hesaplamasında kullanılan yöntemlerden biri ardışık tahmin yöntemleridir.

Song, Nam ve Mutschler (2002), bir fazlı şebeke geriliminde olabilecek ani faz açısı kaymaları, gerilim göçmeleri ve bölgesel frekans değişimleri durumları için yaptıkları çalışmada faz bilgilerinin hesaplanması üzerinde durmuşlardır. Basamak tarzındaki bir değişimde: PLL gibi kullanılan faz açısı dedektörleri, alçak geçiren filtreler veya çentik tipi filtrelerin faz kaymaları meydana getirdiğini belirtmişlerdir. Bunun sonucunda da yavaş sistem tepkileri ve bazı cihazlarda kritik zamanlama hataları meydana geleceğini yazmışlardır. Ölçme gürültülerine duyarsız yapılar oluşturmak ve hızlı faz izleme isteklerinin her ikisini aynı anda gerçekleştirmek zordur. Şebekede olabilecek basamak tarzındaki faz açısı değişimlerini hesaplamak amacıyla, ağırlıklı en küçük kareler metodundan türettikleri kovaryans resetleme tekniğini geliştirmişlerdir (1). Yaptıkları simülasyon çalışmaları sonucunda dijital sinyal işlemci kullanarak geliştirdikleri bu teknik ile faz bilgilerinin elde edilebileceğini ve bu faz bilgilerinin darbe genlik modülasyonu (PWM) doğrultucuları, aktif güç filtreleri, kesintisiz güç kaynakları (UPS), aktif-reaktif güç kontrolü yapan sistemler gibi daha pek çok kontrol sisteminde kullanılabileceğini belirtmişlerdir (1).

Chung (2000) ise üç fazlı şebeke için *dq* transformu kullanarak bir PLL tekniği geliştirmiştir. *dq* transformundan elde ettiği algoritma ile faz bilgilerinin dijital sinyal işlemciler kullanılarak elde edilebileceğini ve bu bilgilerin kontrol sistemlerinde kullanılabileceğini yaptığı simülasyon çalışması ile göstermiştir (2).

Torun (2005) tezinde, uyku elektroensefalografi'si (EEG) verilerinin parametre tahminleri için ardışık tahmin yöntemlerini karşılaştırmıştır. Yaptığı çalışmada parametre tahmini için en iyi algoritma yaklaşımını bulmaya çalışmıştır (3). Buna benzer bir çalışmada Özer, Sarıoğlu ve Kaplan (2004), geliştirdikleri sayısal tabu araştırma algoritmasının performans analizi ile yinelenen en küçük kareler (YEKK), en küçük kafes kareler gibi uyarlanabilir klasik metotların yanı sıra yapay sinir ağlarını karşılaştırmıştır. Bu çalışma sonucunda uyarlanabilir klasik metotların performansının diğerlerine göre daha iyi olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca çalışmalarında uyarlanabilir klasik metotların bazı istatistiki değerlerin bilinmesi durumunda sistem modellemesinde oldukça iyi çözümler sunduğunu belirtmişlerdir (4).

Bu tezde klasik uyarlanabilir metotlardan yinelenen en küçük kareler metodu kullanılacaktır. Öncelikle YEKK metodunun iki yaklaşımı için matematiksel analiz yapılacaktır. YEKK metodunun iki yaklaşımı kullanılarak bir fazlı sinyalin faz bilgilerinin elde edilmesine çalışılacaktır. Elde edilecek faz bilgileri ile izlenen sinyale kilitlenme süreci üzerinde durulacaktır. Kilitlenme süreci, sinyaldeki farklı değişimler ve algoritmanın belirleyici parametreleri için ayrı ayrı incelenecektir. YEKK metodunun iki farklı yaklaşımı için MATLAB'da birer ara yüz oluşturulacaktır.

2. KİMLİKLENDİRME METOTLARI

Kimliklendirme metotları, parametre hesaplamalarını zaman içerisinde sürekli tekrar ederek yaparlar. Bunun anlamı, eğer (t-1) artan zamanında bir $\hat{\theta}(t\text{-}1)$ tahmininiz varsa bu durumda $\hat{\theta}(t\text{-}1)$ in basit bazı modifikasyonları ile $\hat{\theta}(t)$'yi hesaplayabilirsiniz.

Yinelenen kimliklendirme metotları aşağıdaki genel özelliklere sahiptirler (1):

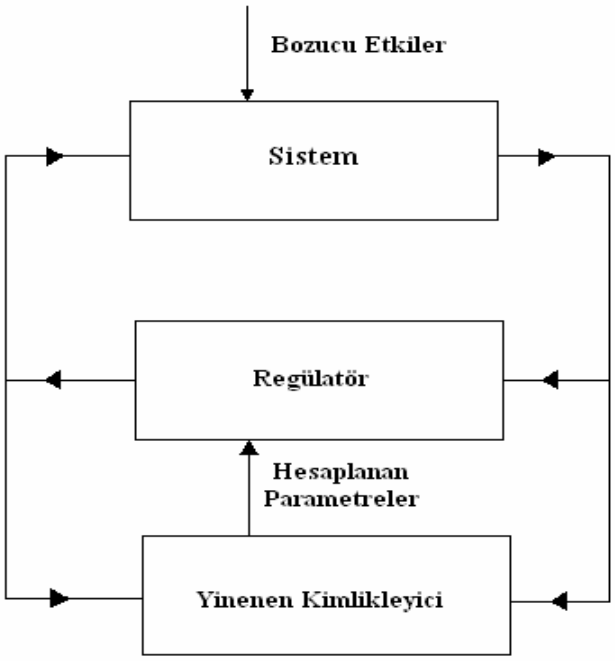
1. Bu metotlar uyarlanabilir sistemlerin merkezi parçalarıdır. Uyarlanabilir sistemlere kontrol sistemleri, sinyal işleme sistemleri veya filtreleme sistemleri örnek olarak gösterilebilirler.
2. Tüm datalar depolanmadığı sürece bu metotların hafıza gereksinimi oldukça azdır.
3. Amacımız olan zamana bağlı değişen parametrelerin izlenmesinde bu metotlar gerçek zaman algoritmaları içerisinde kolaylıkla değişiklik yapabilirler.
4. Bu metotlar sistem çıkışında önemli değişimleri bulmak amacıyla kullanıldıklarında, hata belirleme algoritmalarının ilk basamağında kullanılabilirler**.**

Uyarlanabilir sistemler çevre şartlarına göre kendi kendisini en iyiye doğru kanalize edebilen sistemlerdir. Uyarlanabilir sistemlerin en önemli özelliği zamanla değişen sistemlere rahatlıkla uygulanabilmesi ve yeni durumlara göre kendi kendini ayarlayabilmesidir. Doğrusal sistemlerde belirli girişlere karşı çıkışın istenen şekilde olması, diğer tür girişlerin uygulandığı durumlarda veya kontrol edilen sistemin zamanla çevre şartlarından etkilenerek özelliklerinin değişmesi durumunda sistemlerin kararsız davranması uyarlanabilir sistemlerde daha az gözlenmektedir. Bu şekilde sistemden beklenilen ile elde edilen çıkış arasındaki fark, uyarlanabilir sisteme giriş olarak verilmektedir. Bu farkın sıfır olması, sistemin arzu edilen şekilde çalışması anlamına gelir. Uyarlanabilir modelleme, sistem parametrelerini, hatayı

sıfır yapacak şekilde ayarlamak için kullanılır (4). Şekil 2.1.'de gösterilen uyarlanabilir kontrol sisteminde olduğu gibi uyarlanabilir sistemlerin çoğu yinelenen kimliklendirme metodu temellidir. Zamana bağlı olarak değişen sistem modeli, regülatörün parametrelerinin belirlenmesinde kullanılır. Bu yolla regülatör, sistemin önceki davranışına bağımlı olur. Eğer regülatör dizaynında uygun bir prensip kullanılırsa, regülatör sistem karakteristiğindeki değişimlere kolaylıkla adapte olur.

Bu sistemlerde hata belirleme şemaları çeşitli yollarla yapılabilir. Bunun bir yöntemi, sistemde hata oluştuğunda on-line çıkıştaki hata tanı sistemidir. Hata belirleme, yaygın olarak sistemdeki ani ve beklenmedik değişimleri yakalamak için dizayn edilen gerçek zaman kimliklendirme metotlarında da kullanılır. Bir hata oluştuğu zaman, hata belirleme algoritması sayesinde bu hatanın farkına varılır. Sistem kimliklendirme algoritması kendini değiştirir.

Pek çok yinelenen kimliklendirme metodu off-line metotlara yakın olan metotlardan elde edilir. Böylece istenilen seviyede doğruluk için maliyet azaltılmış olur. Bununla beraber kullanıcılar on-line metotlar ile off-line metotlar arsında tercih yapabilirler (5).



Şekil 2.1. Genel bir uyarlanabilir kontrol şeması

Uyarlanabilir algoritmalar iki gruba ayrılır. Birinci grup, en küçük ortalamalar karesi algoritmalarına dayalı olan algoritmalardır. En küçük ortalamalar karesi algoritması, bir azaltım arama algoritması ile sistem hatasının karesinin ortalamasını minimize eder ve hesap karmaşıklığının az olmasından dolayı çok popülerdir. Fakat en küçük ortalamalar karesi algoritmalarının yakınsama oranı sisteme ve giriş istatistiklerine bağlıdır. Sistem parametrelerinin tahminindeki düşük yakınsama oranından dolayı en küçük ortalamalar karesi algoritması her zaman tatmin edici çözümler vermemektedir. İkinci grup, hatanın karesinin deterministik toplamını en aza indiren YEKK algoritmasına dayanır. YEKK algoritması, en küçük ortalamalar karesi algoritmasından daha hızlı yakınsama özelliği göstermesine rağmen hesaplama karmaşıklığı fazladır (4).

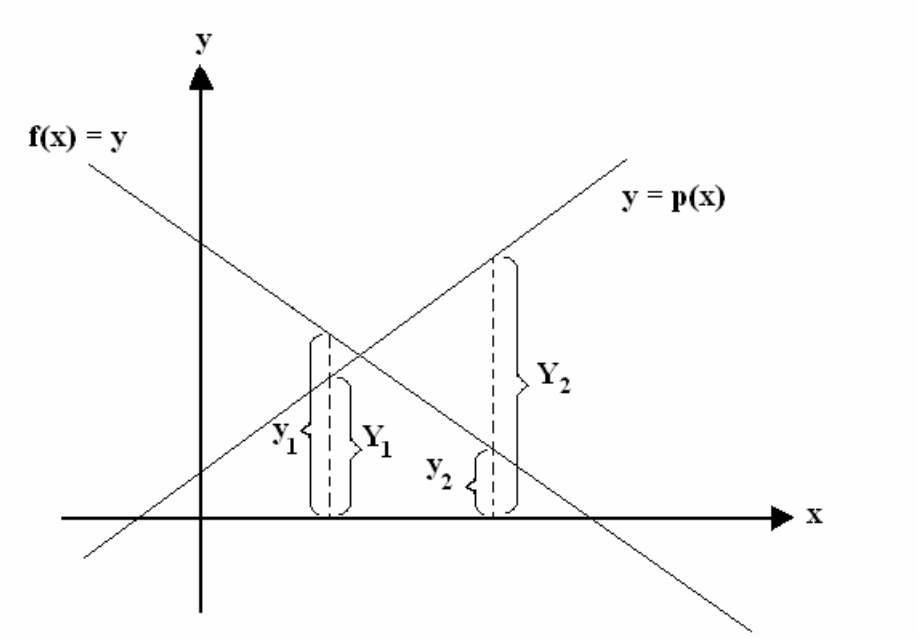
Bir fazlı sinyale kilitlenme simülasyonu YEKK metodunun Kalman filtresi ve unutma faktörü yaklaşımına göre geliştirilecektir. Bu nedenle YEKK metodunun bu iki yaklaşımı üzerinde durulacaktır. Ama öncelikle, en küçük kareler (EKK) metodu incelenecektir.

2.1. En Küçük Kareler Metodu

EKK metodu istenen dereceden en iyi polinom yaklaşımını veren bir metottur. En iyi yaklaşımı bulabilmek için sapma miktarları toplamının minimum olması gerekir. Tablo noktaları (x_i, y_i) ve yaklaşım noktaları (X_i, Y_i) olsun. Bu taktirde,

$$\sum_{i=1}^{n}(Y_i - y_i) = \text{minimum} \qquad [2.1]$$

şartı yazılır. Eğer n=2 alınırsa



Şekil 2.2. İnterpolasyon doğrusu ile esas doğru

$$\sum_{i=1}^{2}(Y_i - y_i) = \text{minimum} \qquad [2.2]$$

sağlar. Ancak $y=p(x)$ interpolasyon doğrusu ile $y=f(x)$ esas doğrusu arasında hiçbir yakınlık yoktur. Bu nedenle Eş. 2.1 yerine

$$\sum_{i=1}^{2} \left| Y_i - y_i \right| = \text{minimum} \qquad [2.3]$$

ifadesini almak gerekir. Ancak mutlak değerli fonksiyonların minimum yerlerinde türevleri olmadığından, minimumu bulmak için türev alamayız. İşte bu nedenle türev almamıza imkan veren Eş. 2.2 ifadesine denk olan

$$S = \sum_{i=1}^{n} (Y_i - y_i)^2 = \text{minimum} \qquad [2.4]$$

ifadesini ele alacağız. Son ifadede türev de alınabileceğinden minimumu da bulabiliriz.

İşte Eş. 2.3 ifadesini kullanarak yaklaşım bulmaya çalışan metotlara bu ifadenin yapısı nedeni ile EKK metodu denir. Burada EKK metodunun en iyi eğri denklemini bulma yaklaşımı incelenecektir.

2.1.1. EKK metodu ile en iyi eğriyi bulma

(x_i, y_i), $i=1(1)n$, verilen tablo noktaları olmak üzere bu noktalardan geçen ve m.($m \leq n$) dereceden olan bir polinom eğrisini EKK metodu ile bulalım:

$$Y = C_0 + C_1 x + C_2 x^2 + ... + C_m x^m \qquad [2.5]$$

olsun. Bu taktirde

$$S = S(C_0, C_1, ... C_m) = \sum_{i=1}^{n} (Y_i - y_i)^2 \qquad [2.6]$$

olacaktır. Buradan

$$\frac{\partial S}{\partial C_0} = \sum_{i=1}^{n} 2(C_0 + C_1 x + C_m x^m - y_i)1 = 0 \qquad [2.7]$$

$$\frac{\partial S}{\partial C_1} = \sum_{i=1}^{n} 2(C_0 + C_1 x + C_m x^m - y_i) x_i = 0 \qquad [2.8]$$

.

.

.

$$\frac{\partial S}{\partial C_m} = \sum_{i=1}^{n} 2(C_0 + C_1 x + C_m x^m - y_i) x_i^{\,m} = 0 \qquad [2.9]$$

sistemini buluruz. Bu sistem daha açık olarak

$$nC_0 + \left(\sum_{i=1}^{n} x_i\right) C_1 + \left(\sum_{i=1}^{n} x_i^{\,2}\right) C_2 + \ldots + \left(\sum_{i=1}^{n} x_i^{\,m}\right) C_m = \sum_{i=1}^{n} y_i \qquad [2.10]$$

$$\left(\sum_{i=1}^{n} x_i\right) C_0 + \left(\sum_{i=1}^{n} x_i^{\,2}\right) C_1 + \left(\sum_{i=1}^{n} x_i^{\,3}\right) C_2 + \ldots + \left(\sum_{i=1}^{n} x_i^{\,m+1}\right) C_m = \sum_{i=1}^{n} x_i y_i \qquad [2.11]$$

$$\left(\sum_{i=1}^{n} x_i^{\,2}\right) C_0 + \left(\sum_{i=1}^{n} x_i^{\,3}\right) C_1 + \left(\sum_{i=1}^{n} x_i^{\,4}\right) C_2 + \ldots + \left(\sum_{i=1}^{n} x_i^{\,m+2}\right) C_m = \sum_{i=1}^{n} x_i^{\,2} y_i \qquad [2.12]$$

....

$$\left(\sum_{i=1}^{n} x_i^{\,m}\right) C_0 + \left(\sum_{i=1}^{n} x_i^{\,m+1}\right) C_1 + \left(\sum_{i=1}^{n} x_i^{\,m+2}\right) C_2 + \ldots + \left(\sum_{i=1}^{n} x_i^{\,m+m}\right) C_m = \sum_{i=1}^{n} x_i^{\,m} y_i \qquad [2.13]$$

şeklinde yazılır. Bu sistem (m+1) tane denklem ve (m+1) tane bilinmeyenden oluşmuştur ve lineer denklem sistemlerinin çözüm metotlarından birisiyle çözülür. Böylece elde edilen C_0, C_1, ... , C_m değerleri ile birlikte

$$Y = C_0 + C_1 x + C_2 x^2 + \ldots + C_m x^m \qquad [2.14]$$

en iyi yaklaşım eğrisi olur.

Yapacağımız bir örnek ile EKK metodunu daha iyi anlayabiliriz.

Aşağıdaki tablo değerlerini kullanarak *f* fonksiyonuna en iyi 2. dereceden eğrisel yaklaşımı bulalım.

Çizelge 2.1. *x* noktaları için fonksiyon çıkış değerleri

x_i	1	2	3	4	5
$y_i=f(x_i)$	1,4	1,6	1,65	1,70	1,85

Bu tabloya göre: n=5 ve k=2 olacaktır. Bulunacak 2. dereceden polinom $Y= C_0 + C_1x + C_2x^2$ şeklinde olacaktır. Buna göre,

$$S = \sum_{i=1}^{5}(C_0 + C_1x_i + C_2x_i^{\,2} - y_i)^2 = S(C_0,\, C_1,\, C_2) \qquad [2.15]$$

olacaktır.

$$S_{C0} = 2\sum_{i=1}^{5}(C_0 + C_1x_i + C_2x_i^{\,2} - y_i) = 0 \qquad [2.16]$$

$$S_{C1} = 2\sum_{i=1}^{5}(C_0 + C_1x_i + C_2x_i^{\,2} - y_i)x_i = 0 \qquad [2.17]$$

$$S_{C2} = 2\sum_{i=1}^{5}(C_0 + C_1x_i + C_2x_i^{\,2} - y_i)x_i^{\,2} = 0 \qquad [2.18]$$

buradan da

$$5C_0 + C_1\sum_{i=1}^{5}x_i + C_2\sum_{i=1}^{5}x_i^{\,2} = \sum_{i=1}^{5}y_i \qquad [2.19]$$

$$C_0\sum_{i=1}^{5}x_i + C_1\sum_{i=1}^{5}x_i^{\,2} + C_2\sum_{i=1}^{5}x_i^{\,3} = \sum_{i=1}^{5}x_iy_i \qquad [2.20]$$

$$C_0\sum_{i=1}^{5}x_i^{\,2} + C_1\sum_{i=1}^{5}x_i^{\,3} + C_2\sum_{i=1}^{5}x_i^{\,4} = \sum_{i=1}^{5}x_i^{\,2}y_i \qquad [2.21]$$

elde edilir.

Denklemde değerler yerine konulursa,

$$5C_0+15C_1+55C_2=8,2 \quad [2.22]$$

$$15C_0+55C_1+225C_2=25,6 \quad [2.23]$$

$$55C_0+225C_1+979C_2=96,1 \quad [2.24]$$

sonucu çıkar. Bunlar matris formunda ifade edilirse,

$$\begin{bmatrix} 5 & 15 & 55 \\ 15 & 55 & 225 \\ 55 & 225 & 979 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C_0 \\ C_1 \\ C_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 8,2 \\ 25,6 \\ 96,1 \end{bmatrix} \quad [2.25]$$

olur.

$$\begin{bmatrix} C_0 \\ C_1 \\ C_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 5 & 15 & 55 \\ 15 & 55 & 225 \\ 55 & 225 & 979 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} 8,2 \\ 25,6 \\ 96,1 \end{bmatrix} \quad [2.26]$$

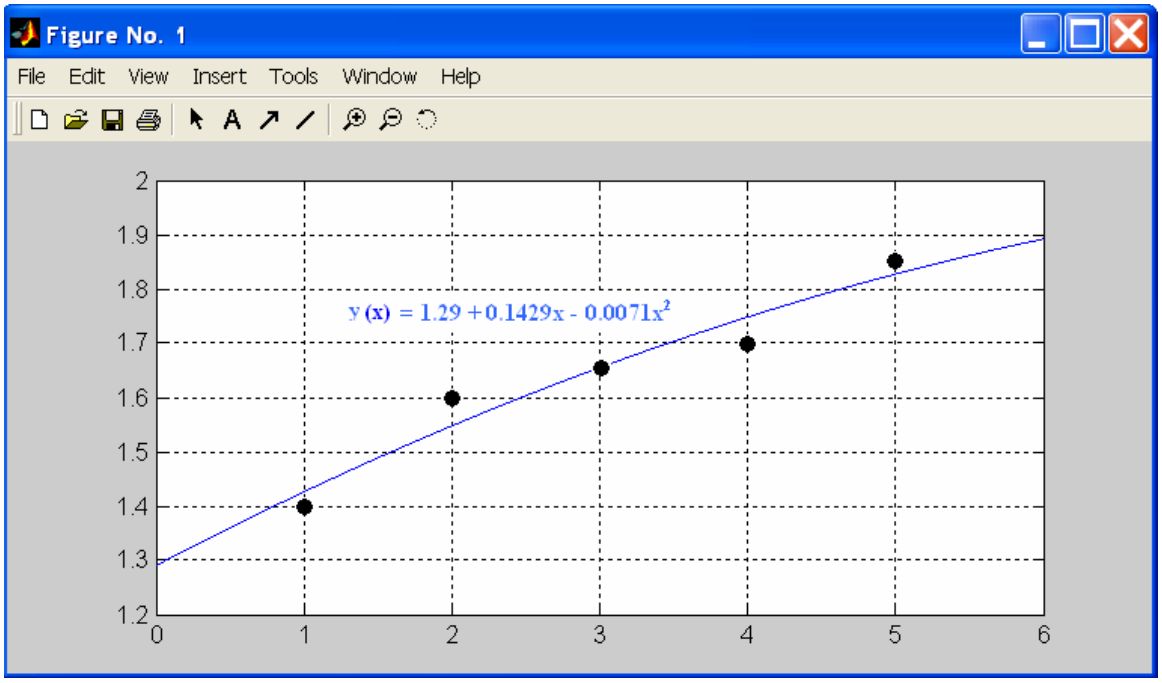
$$\begin{bmatrix} C_0 \\ C_1 \\ C_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 4.600 & -3.300 & 0.500 \\ -3.300 & 2.671 & -0.489 \\ 0.500 & -4.89 & 0.071 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 8,2 \\ 25,6 \\ 96,1 \end{bmatrix} \quad [2.27]$$

$$\begin{bmatrix} C_0 \\ C_1 \\ C_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1,2900 \\ 0,1429 \\ -0,0071 \end{bmatrix} \quad [2.28]$$

Sonuç olarak tablodaki değerleri en iyi temsil eden 2. dereceden denklem,

$$y = 1,29 + 0,1429x - 0,0071x^2 \quad [2.29]$$

elde edilir. Aşağıda bize verilen tablo değerlerine karşılık gelen en iyi $y(x)$ fonksiyonunun eğrisi ve tablo değerleri gösterilmiştir (6).



Şekil 2.3. $y(x) = 1{,}29 + 0{,}1429x - 0{,}0071x^2$ eğrisi ve tablo değerleri

Tablo değerleri ve bu tablo değerlerine en iyi uyan eğriyi incelediğimizde, açıkça görüldüğü gibi $y(x)$ fonksiyonunun eğrisi çoğu noktada tablo değerlerimizi karşılamamaktadır. Tablo noktalarımızı tam anlamıyla karşılayan eğri için çok daha fazla örnekleme ihtiyacımız olduğu açıktır. Dolayısıyla bu yaklaşımı sadece bu haliyle gerçek zaman uygulamalarında kullanamayacağımız açıktır.

Klasik EKK yöntemiyle bir fazlı şebekeye ait gerilimi izlemeniz mümkün değildir. Klasik EKK yöntemiyle şebeke gerilimini hesaplamaya kalkarsanız doğru sonuçlar için tüm ölçüm bilgilerini sürekli depolamalısınız. Bu da zamana bağlı olarak her an bellek ihtiyacınızın artması demektir. Bu nedenle YEKK metodu geliştirilerek bu sorunlar giderilmiştir.

2.2. YEKK Metodu

Bu metot unutma faktörü yaklaşımı ve Kalman filtresi yaklaşımına göre geliştirilecektir.

2.2.1. YEKK metodundan unutma faktörü yaklaşımının elde edilmesi

Çıktısı $\{y(t)\}$ olan bir sistemin

$$y(t) = a_1y(t\text{-}1)+a_2y(t\text{-}2)+...+a_ny(t\text{-}n)+v(t) \qquad [2.30]$$

doğrusal fark denklemleri ile modellendiği kabul edilsin. Burada $\{y(t)\}$ beyaz gürültü sürecini ve t=1,2,.....n zaman noktalarını göstermektedir. Eş. 2.30 eşitliğini q^{-1} gecikme işleyici

$$q^{-1}y(t) = y(t\text{-}1) \qquad [2.31]$$

olmak üzere

$$A(q^{-1})y(t) = v(t) \qquad [2.32]$$

biçiminde yazabiliriz. Burada,

$$A(q^{-1}) = 1+a_1q^{-1}+...+a_nq^{-n} \qquad [2.33]$$

ve n modelin mertebesi, $a_1,....,a_n$ modelin bilinmeyen parametreleridir. Eş. 2.30 veya Eş. 2.31 modeli

$$\theta^T = (a_1,.....,a_n) \qquad [2.34]$$

$$\varphi^T(t) = (-y(t\text{-}1),...,-y(t\text{-}n)) \qquad [2.35]$$

olmak üzere

$$y(t) = \theta^T \varphi(t) + \nu(t) \qquad [2.36]$$

şeklinde yazılır.

Eş. 2.35 ile verilen modelde, parametreleri tahmin etmek amacıyla

$$V_n(\theta) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} \beta(n,t)[y(t) - \theta^T \varphi(t)]^2 \qquad t=1,2,...,n \qquad [2.37]$$

olarak verilen maliyet fonksiyonu θ'ya göre minimize edilirse EKK tahmin edicisi,

$$\frac{\partial V_n(\theta)}{\partial \theta} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} \beta(n,t) 2[y(t) - \theta^T \varphi(t)](-\varphi(t)) = 0 \qquad [2.38]$$

$$\frac{-2}{n} \sum_{i=1}^{n} \beta(n,t)[y(t) - \theta^T \varphi(t)]\varphi(t) = 0 \qquad [2.39]$$

$$\sum_{i=1}^{n} \beta(n,t)\, y(t)\varphi(t) - \sum_{i=1}^{n} \beta(n,t)\theta^T \varphi(t)\varphi^T(t) = 0 \qquad [2.40]$$

$$\sum_{i=1}^{n} \beta(n,t)\, y(t)\varphi(t) = \sum_{i=1}^{n} \beta(n,t)\theta^T \varphi(t)\varphi^T(t) \qquad [2.41]$$

$$\hat{\theta}(n) = [\sum_{i=1}^{n} \beta(n,t)\varphi(t)\varphi^T(t)\,]^{-1} [\sum_{i=1}^{n} \beta(n,t)\varphi(t)\, y(t)\,] \qquad [2.42]$$

olarak bulunur. Yeni verinin geçmişteki veriye göre daha çok bilgi içereceği varsayımı altında

$$\beta(t,k) = \prod_{j=k+1}^{t} \lambda(j), \qquad \beta(k,k) = 1 \qquad [2.43]$$

şeklinde tanımlanır. Eğer her k için $\lambda(k) \le 1$ ve $\lambda(k) \le k$ alınırsa Eş. 2.43 eşitliğinden

$$\beta(t,k) = \lambda^{\text{t-k}} \qquad [2.44]$$

elde edilir. Eş. 2.44 eşitliği $V_n(\theta)$ maliyet fonksiyonunda kullanılırsa, yeni verilerin etkisinin maliyet fonksiyonunda daha fazla olduğu varsayımı yapılır. Yani eski veriler unutuluyormuş gibi düşünülebilir. Bu nedenle λ'ya unutma faktörü denir.

Bulunan $\hat{\theta}$(n) ardışık bir tahmin edici değildir. Ardışık tahmin ediciyi elde etmek için,

$$R(t) = \sum_{k=1}^{t} \beta(t,k)\varphi(t)\varphi(t)^T \qquad [2.45]$$

olarak alınırsa

$$R(t) = \lambda(t)R(t\text{-}1) + \varphi(t)\varphi(t)^T \qquad [2.46]$$

elde edilir. Eş. 2.45 ve Eş. 2.46 eşitliği Eş. 2.42'de kullanılarak gerekli işlemler yapıldıktan sonra,

$$\hat{\theta}(t) = \hat{\theta}(t\text{-}1) + R^{-1}(t)\varphi(t)[y(t) - \varphi(t)^T\hat{\theta}(t\text{-}1)] \qquad [2.47]$$

olarak bulunur. $P(t)=R^{-1}(t)$ alınıp Eş. 2.47 eşitliğine matris tersi uygulanırsa,

$$P(t) = \frac{1}{\lambda(t)}\left[P(t-1) - \frac{P(t-1)\varphi(t)\varphi(t)^T P(t-1)}{\lambda(t) + \varphi(t)^T P(t-1)\varphi(t)}\right] \qquad [2.48]$$

elde edilir. Böylece YEKK algoritması,

$$\hat{\theta}(t) = \hat{\theta}(t\text{-}1) + K(t)[\, y(t) - \varphi(t)^T\hat{\theta}(t\text{-}1)] \qquad [2.49]$$

$$K(t) = P(t)\varphi(t) = \frac{P(t-1)\varphi(t)}{\lambda(t) + \varphi(t)^T P(t-1)\varphi(t)} \qquad [2.50]$$

$$P(t) = \frac{1}{\lambda(t)}\left[P(t-1) - \frac{P(t-1)\varphi(t)\varphi(t)^T P(t-1)}{\lambda(t) + \varphi(t)^T P(t-1)\varphi(t)}\right] \qquad [2.51]$$

olarak verilir. Eş. 2.49-Eş. 2.51 algoritması çoğunlukla sistem parametreleri zamanla değişen sistemler için kullanılır. Algoritmadan görüleceği gibi P matrisi küçüldüğü zaman algoritma kazancı azalmakta, dolayısı ile tahmin gerçek değerinden uzaklaşabilmektedir. λ unutma faktörü, bu problemi ortadan kaldırmak amacıyla kullanılır (3).

Unutma faktörü λ, 1 den küçük ama 1'e oldukça yakın bir değerdir (5, 7). Song, Nam ve Mutschler yaptıkları bir fazlı sistemlerde olan, ani faz açısı atlamalarının hesaplama algoritmasında unutma faktörü λ'yı: 0,95, 0,99 ve 0,999 olarak önermişlerdir. Soderström ve Stocia'da unutma faktörü λ'yı 0,95-0,99 olarak önermişlerdir. $\alpha_0 = 0{,}99$ ve $\lambda(0) = 0{,}95$ olmak üzere

$$\lambda(t) = \alpha_0 \lambda(t\text{-}1) + (1\text{-}\alpha_0) \qquad [2.52]$$

olarak, $\varepsilon(t)=y(t)-\varphi(t)^T\hat{\theta}(t\text{-}1)$ öngörü hatası, $\bar{\varepsilon}$; $\varepsilon(t)$'nin beklenen değeri ve α=1/1000 (oldukça küçük bir değer) olmak üzere

$$\lambda(t) = 1\text{-}\alpha\frac{\varepsilon(t)^2}{\bar{\varepsilon}^2} \qquad [2.53]$$

olarak, $\sum_0$ küçük bir sabit (örneğin $\sum_0$ = 0.05) olmak üzere

$$\lambda(t) = 1\text{-}\frac{[1-\varphi^T(t)K(t)]\varepsilon(t)^2}{\sum_0} \qquad [2.54]$$

olarak seçilebileceği önerilmiştir (3).

Burada analizi yapılan YEKK metodunun kullanılabilir son hali aşağıdaki gibidir (5).

$$\hat{\theta}(t) = \hat{\theta}(t\text{-}1)+K(t)\,\varepsilon(t) \quad [2.55]$$

$$\varepsilon(t) = y(t)\text{-}\varphi^{T}(t)\,\hat{\theta}\,(t\text{-}1) \quad [2.56]$$

$$K(t) = P(t)\,\varphi^{T}(t) = P(t\text{-}1)\,\varphi(t)/[\,\lambda+\varphi^{T}(t)P(t\text{-}1)\,)\,\varphi(t)] \quad [2.57]$$

$$P(t) = \{P(t\text{-}1) - P(t\text{-}1)\,\varphi(t)\,\varphi^{T}(t)P(t\text{-}1)/[\,\lambda+\varphi^{T}(t)P(t\text{-}1)\;\varphi(t)]\}/\,\lambda \quad [2.58]$$

2.2.2. YEKK metoduna göre Kalman filtresinin elde edilmesi

Durum-uzay modeli,

$$\theta(t+1) = \Phi(t)\,\theta(t)+G(t)w(t),\ t=1,2,...,n \quad [2.59]$$

$$y(t) = \varphi(t)\,\theta(t) + y(t) \quad [2.60]$$

olmak üzere hata teriminin

$$w_{\mathrm{t}} \sim N(0,R_1) \quad [2.61]$$

$$\nu_t \sim N(0,R_2) \quad [2.62]$$

$$\theta_t \sim N(0,P_0) \quad [2.63]$$

şeklinde normal dağılıma sahip olduğu, hata terimlerinin ve başlangıç durumunu aşağıdaki varsayımları sağladığı kabul edilsin.

$$E\,[\nu_{\mathrm{t}}] = 0 \quad [2.64]$$

$$E\,[w_{\mathrm{t}}] = 0 \quad [2.65]$$

$$E\,[w(\mathrm{t})w(\mathrm{s})^{T}] = R_1(t)\,\delta_{ts} \quad [2.66]$$

$$E\,[\nu(\mathrm{t})\,\nu(\mathrm{s})^{T}] = R_2(t)\,\delta_{ts} \quad [2.67]$$

$$E\,[w(\mathrm{t})\,\nu(\mathrm{s})^{T}] = 0 \quad [2.68]$$

$$E\,[\theta(0)] = \bar{\theta}\ (0) \quad [2.69]$$

$$E\,[(\theta_0\text{-}\bar{\theta}_0)(\theta_0\text{ - }\bar{\theta}_0)^{T}] = P(0) \quad [2.70]$$

$$E[\theta_0 w_t^T] = 0 \quad [2.71]$$

$$E[\theta_0 \nu_t^T] = 0 \quad [2.72]$$

$y(t\text{-}1)=\{y(0),\ y(1),.....,\ y(t\text{-}1)\}$ gözlemle gözlemleri verildiğinde, $\theta(t)$ durumunun $\bar{\theta}(t|t\text{-}1)$ tahmininin iyiliği hatanın

$$P(t|t\text{-}1) = E[(\theta(t) - \bar{\theta}(t|t\text{-}1))(\theta(t) - \hat{\theta}(t|t\text{-}1))^T \mid y(t\text{-}1)] \quad [2.73]$$

kovaryans matrisi ile açıklansın. Bu durumda, $\hat{\theta}(t|t\text{-}1)$ tahminine karşılık gelen hatanın koşullu kovaryansı için

$$izP(t|t\text{-}1) = E\left[iz(\theta(t) - \bar{\theta}(t|t\text{-}1))^T(\theta(t) - \hat{\theta}(t|t\text{-}1)) \mid y(t-1)\right]$$

$$= E\left[\left\|\theta(t) - \hat{\theta}(t \mid t-1\right\|^2 \mid y(t-1)\right] \quad [2.74]$$

olacağından, koşullu beklenen değer tahmini hatanın bu kovaryans matrisini en küçük yapar. Yani hata kareleri ortalaması,

$$E\left[\left\|\theta(t) - \hat{\theta}(t \mid t-1\right\|^2 \mid y(t-1)\right] \quad [2.75]$$

Ölçütünü en küçük yapan tahmin

$$\hat{\theta}(t|t\text{-}1) = E[\theta(t) \mid y(0),\ y(1),....,y(t\text{-}1)] = E[\theta(t) \mid y(t\text{-}1)] \quad [2.76]$$

$$\hat{\theta}(t|t) = E[\theta(t) \mid y(0),\ y(1),....,y(t)] = E[\theta(t)|y(t)] \quad [2.77]$$

$$P(t|t\text{-}1) = E\left[(\theta(t) - \hat{\theta}(t \mid t\text{-}1))(\theta(t) - \hat{\theta}(t|t\text{-}1))^T|y(t\text{-}1)\right] \quad [2.78]$$

$$P(t|t) = E\left[(\theta(t) - \hat{\theta}(t \mid t))(\theta(t) - \hat{\theta}(t|t))^T|y(t)\right] \quad [2.79]$$

değerlerinin belirlenmesi aşağıdaki adımların uygulanması ile elde edilir.

Adım-1. Durum uzay modelinde yer alan hata terimleri ve başlangıç durumu normal dağılıma sahip olduğundan t=0 için,

$$\begin{bmatrix} \theta_{(0)} \\ y_{(0)} \end{bmatrix} \qquad [2.80]$$

rasgele vektörü, beklenen değeri

$$\begin{bmatrix} \bar{\theta}(0) \\ \varphi_{(0)}\bar{\theta}(0) \end{bmatrix} \qquad [2.81]$$

ve kovaryans matrisi

$$\begin{bmatrix} P(0) & P(0)\varphi^T(0) \\ \varphi(0)P(0) & \varphi(0)P(0)\varphi^T(0) + R_2(0) \end{bmatrix} \qquad [2.82]$$

ile normal dağılıma sahiptir. Bu durumda $\theta(0)$'ın $y(0)$ ile koşullu dağılımı da normaldir.

Beklenen değerleri

$$\hat{\theta}(0|0) = \bar{\theta}(0)+P(0)\varphi^T(0)[\varphi(0)P(0)\varphi^T(0)+ R_2(0)]^{-1}[y(0) - \varphi(0)\bar{\theta}(0)] \qquad [2.83]$$

ve kovaryans matrisi

$$P(0|0) = P(0)- P(0)\varphi^T(0)[\varphi(0)P(0)\varphi^T(0)+R_2(0)]^{-1}y(0)P(0) \qquad [2.84]$$

dır.

Adım-2. Benzer düşünce ile t=0 için, $y(0)$ gözlemi verildiğinde, $\theta(1)$'in $y(0)$ ile koşullu dağılımı da normal dağılıma sahiptir. Beklenen değeri

$$\hat{\theta}(1|0) = \Phi(0)\hat{\theta}(0|0) \qquad [2.85]$$

ve kovaryans matrisi

$$P(1|0) = \Phi(0)P(0|0)\Phi^{T}(0)+G(0)R_1(0)G^{T}(0) \qquad [2.86]$$

dır.

Adım-3. Yine benzer düşünce ile t=1 için, $y(1)$'in $y(0)$ ile koşullu dağılımı da normal dağılıma sahiptir. Beklenen değeri

$$\hat{y}(1|0) = \varphi(1)\hat{\theta}(1|0) \qquad [2.87]$$

ve kovaryans matrisi

$$\varphi(1)P(1|0)\varphi^{T}(1) + R_2(1) \qquad [2.88]$$

dir.

Adım-4. Yukarıdaki adımların benzer düşüncesi ile t=1 için, $y(0)$ ve $y(1)$ gözlemleri verildiğinde, $\theta(1)$'in $y(0)$ ve $y(1)$ ile koşullu dağılımı da normal dağılıma sahiptir. Beklenen değeri

$$\hat{\theta}(1|1) = \hat{\theta}(1|0)+P(1|0)\varphi^{T}(1)[\varphi(1)P(1|0)\varphi^{T}(1)+ R_2(1)]^{-1}[y(1)-\varphi(1)\hat{\theta}(1|0)] \qquad [2.89]$$

ve kovaryans matrisi

$$P(1|1)=P(1|0)-P(1|0)\,\varphi^{T}(1)[\,\varphi(1)P(1|0)\,\varphi^{T}(1)+ R_2(1)]^{-1}\,\varphi(1)P(1|0) \quad [2.90]$$

dır.

Adım-5. t=1 için Adım 2 tekrar uygulanırsa

$$\hat{\theta}(1|1) = \Phi(1)\,\hat{\theta}(1|1) \quad [2.91]$$

ve

$$P(2|1) = \Phi(1)P(1|1)\,\Phi^{T}(1)+G(1)R_1(1)\mathrm{G}^{T}(1) \quad [2.92]$$

elde edilir.

Herhangi bir t anında Adım-2 ile Adım-4 arasındaki işlemler genelleştirilirse

$$\hat{\theta}(t|t)=\hat{\theta}(t|t\text{-}1)+P(t|t\text{-}1)\,\varphi^{T}(t)[\,\varphi(t)P(t|t\text{-}1)\,\varphi^{T}(t)+ R_2(t)]^{-1}[y(t)-\varphi(t)\,\hat{\theta}(t|t\text{-}1)] \quad [2.93]$$

$$\hat{\theta}(t|t+1) = \Phi(\mathrm{t})\,\hat{\theta}(\mathrm{t}|\mathrm{t}) \quad [2.94]$$

$$P(t|t) = P(t|\,t\text{-}1)-P(t|t\text{-}1)\,\varphi^{T}(t)[\,\varphi(t)P(t|t\text{-}1)\,\varphi^{T}(t)+ R_2(t)]^{-1}(\,\varphi(t)P(t|t\text{-}1)) \quad [2.95]$$

$$P(t|t+1) = \Phi(t)P(t|t)\,\Phi^{T}(t)+G(t)R_1(t)G^{T}(t) \quad [2.96]$$

olarak bulunur. Burada,

$$K(t) = P(t|t\text{-}1)\,\varphi^{T}(t)[\,\varphi(t)\,P(t|\,t\text{-}1)\,\varphi^{T}(t) + R_2(t)]^{-1} \quad [2.97]$$

ve

$$\hat{\theta}(t|t) = \hat{\theta}(t|t\text{-}1) + K(t)[y(t) - \varphi(t)\,\hat{\theta}(t|t\text{-}1)] \quad [2.98]$$

elde edilir. Algoritmanın başlangıç değerleri olarak

$$P(0|-1) = P(0) \quad [2.99]$$

$$\hat{\theta}(0|-1) = \bar{\theta}(0) \quad [2.100]$$

alınır (5).

2.2.3. Kalman filtresi ile parametre tahmini

Eş. 2.36 ile verilen modeldeki parametrelerin tahmin edilmesinde kullanılan yöntemlerden birisi de Kalman filtresidir. Bu amaçla parametre vektörü rasgele yürüyüş süreci olarak kabul edilirse Eş. 2.36 ,

$$\theta(t+1) = \theta(t) + w(t) \quad [2.101]$$

$$y(t) = \varphi^T(t)\,\theta(t) + \nu(t) \quad [2.102]$$

durum uzay modeli biçiminde yazılabilir. Burada durum vektörü parametre vektörüdür. $\{w(t)\}$, $\{\nu(t)\}$ beyaz gürültü süreçlerini göstermektedir. Hata teriminin ve başlangıç durumunun Eş. 2.64-Eş. 2.72 varsayımlarını sağladığı kabul edilsin. Sistem geçiş matrisi birim matristir. En iyi filtreleme problemi $y(t)$, $y(t\text{-}1)$,..., $y(1)$ gözlemleri verildiğinde, $\theta(t)$ durumunun en iyi tahminini belirleme problemidir. $y(t\text{-}1)$,..., $y(1)$ verildiğinde $\theta(t)$'nin en küçük varyanslı tahmini $\hat{\theta}(t|(t\text{-}1))$ olmak üzere Kalman filtresi,

$$\hat{\theta}(t|t\text{-}1) = \hat{\theta}(t\text{-}1|t\text{-}1) \quad [2.103]$$

$$\hat{\theta}(t|t) = \hat{\theta}(t|t\text{-}1) + K(t)[\,y(t) - \varphi^T(t)\,\hat{\theta}(t|t\text{-}1)] \quad [2.104]$$

$$K(t) = P(t|t\text{-}1)\,\varphi(t)[\,\varphi^T(t)\,P(t|t\text{-}1)\,\varphi(t) + R_2(t)]^{-1} \quad [2.105]$$

$$P(t|t+1) = P(t) + R_1(t) \quad [2.106]$$

$$P(t) = [I - K(t)\,\varphi^T(t)]P(t|t\text{-}1)] \quad [2.107]$$

eşitlikleri elde edilir.

Sistem durum ve kovaryans tahminlerinin hesaplanması için, durum ve ölçüm gürültülü kovaryans ve varyanslarının bilinmesi gerekmektedir. Çoğu zaman bunların geçek değerleri bilinmediğinden ardışık tahminleri kullanılır.

Eş. 2.102'de gürültülü kovaryans matrisinin, $R_1(t)=q\cdot I$ şeklinde olduğu varsayımı altında q parametresi,

$$q = h\left(\frac{e(t)^2 - E[e(t)^2]}{\varphi^T(t)\varphi(t)}\right) \qquad [2.108]$$

ile hesaplanır. Burada,

$$E\,[e(t)^2 | q \equiv 0] = R_2(t) + \varphi^T(t)P(t|t\text{-}1)\,\varphi(t) \qquad [2.109]$$

biçimindedir. α düzeltme parametresi ve ölçüm gürültü varyansı $R_2(t)$'nin ardışık tahmini,

$$R_2(t) = \alpha\, R_2(t\text{-}1) + (1\text{-}\alpha)h(e(t)^2 - \varphi^T(t)P(t|t\text{-}1)\,\varphi(t)) \qquad [2.110]$$

olmak üzere q'nun ardışık tahmini,

$$\begin{aligned} q(t) &= \alpha\, q(t\text{-}1) + (1\text{-}\alpha)h\left(\frac{e(t)^2 - E[e(t)^2]}{\varphi^T(t)\varphi(t)}\right) \\ &= \alpha\, q(t\text{-}1) + (1\text{-}\alpha)h\left(\frac{e(t)^2 - R_2(t) - \varphi^T(t)P(t-1)\varphi(t)}{\varphi^T(t)\varphi(t)}\right) \end{aligned} \qquad [2.111]$$

Eş. 2.103-Eş. 2.107 denklemlerinde $R_1(t)$ yerine;

$$R_1(t) = \left(\frac{1}{\lambda(t)-1}\right)[I - K(t)\,\varphi^T(t)]P(t) \qquad [2.112]$$

ve $R_2(t)$ yerine de;

$$R_2(t) = \lambda(t) \qquad [2.113]$$

alınırsa, Eş. 2.103-Eş. 2.107 denklemlerine geçiş sağlanmış olur (3).

Burada YEKK metoduna göre Kalman filtresi elde edilmiştir. YEKK metodundan elde edilen Kalman Filtresi yaklaşımının kullanılabilir algoritması aşağıdaki gibidir. Bu algoritmada unutma faktörü λ'nın değeri 1'e eşittir (5).

$$\hat{\theta}(t) = \hat{\theta}(t\text{-}1) + K(t)\,\varepsilon(t) \qquad [2.114]$$

$$\varepsilon(t) = y(t) - \varphi^T(t)\,\hat{\theta}(t\text{-}1) \qquad [2.115]$$

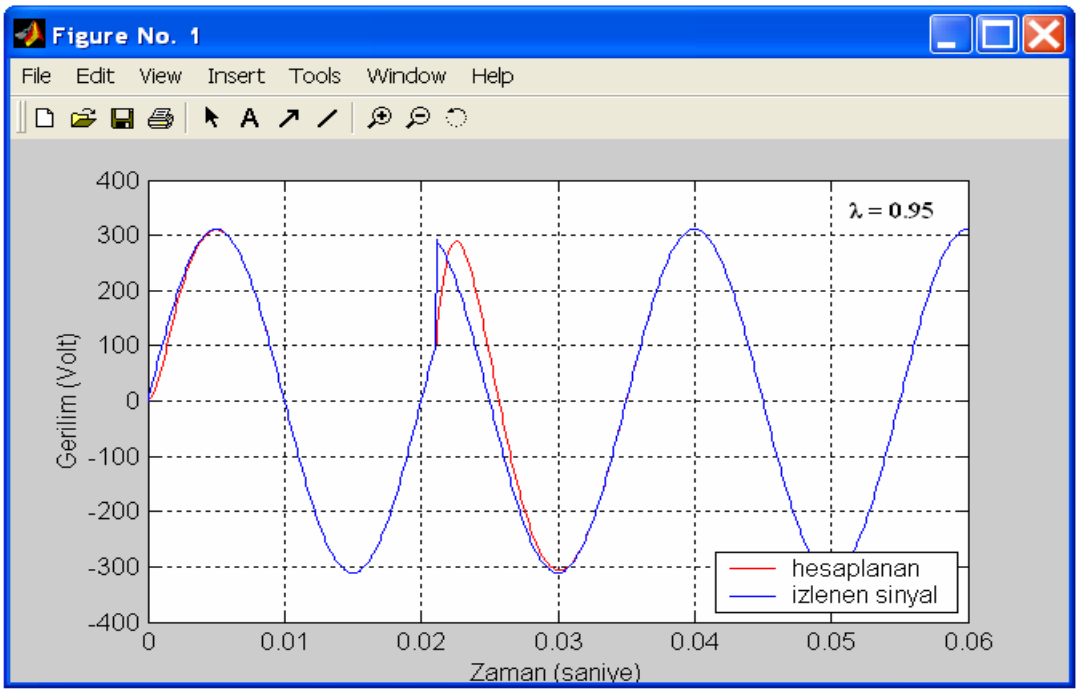
$$K(t) = P(t)\,\varphi^T(t) = P(t\text{-}1)\,\varphi(t)/[\,1 + \varphi^T(t)P(t\text{-}1)\,)\,\varphi(t)] \qquad [2.116]$$

$$P(t) = P(t\text{-}1) - P(t\text{-}1)\,\varphi(t)\,\varphi^T(t)P(t\text{-}1)/[1 + \varphi^T(t)P(t\text{-}1)\,\varphi(t)] + R_1 \qquad [2.117]$$

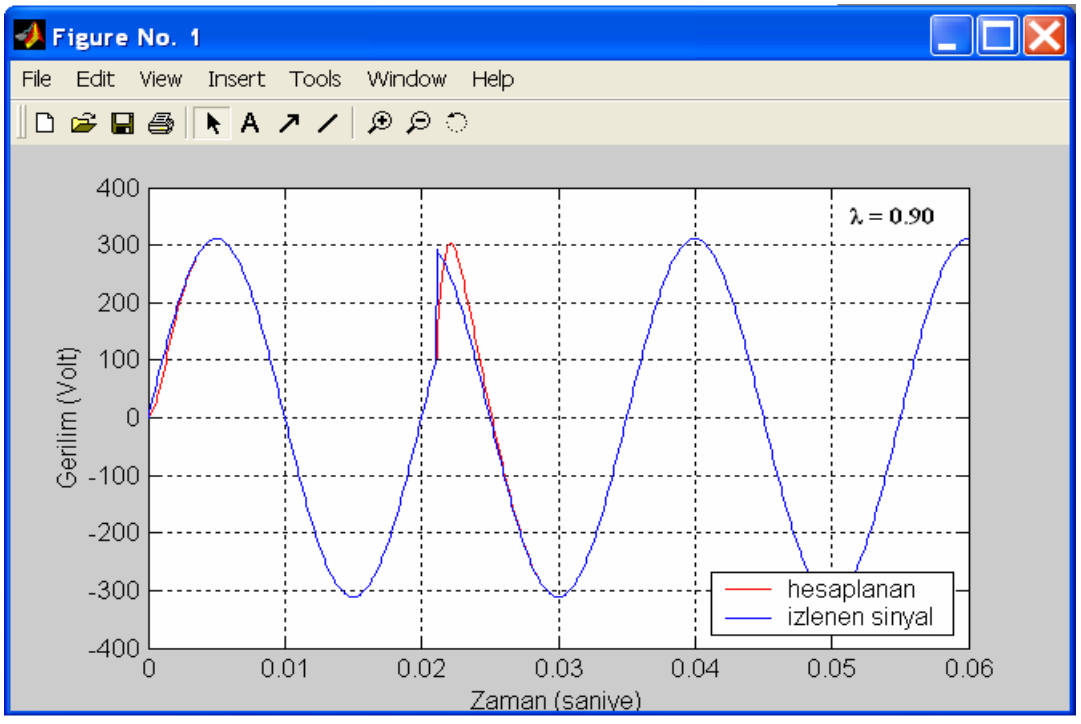
Algoritmada yer alan R_1 matrisinin norm eğerinin algoritma tepkisine nasıl etki ettiği sonraki bölümlerde incelenecektir.

2.2.4. Unutma faktörünün algoritmanın tepkisine etkisi

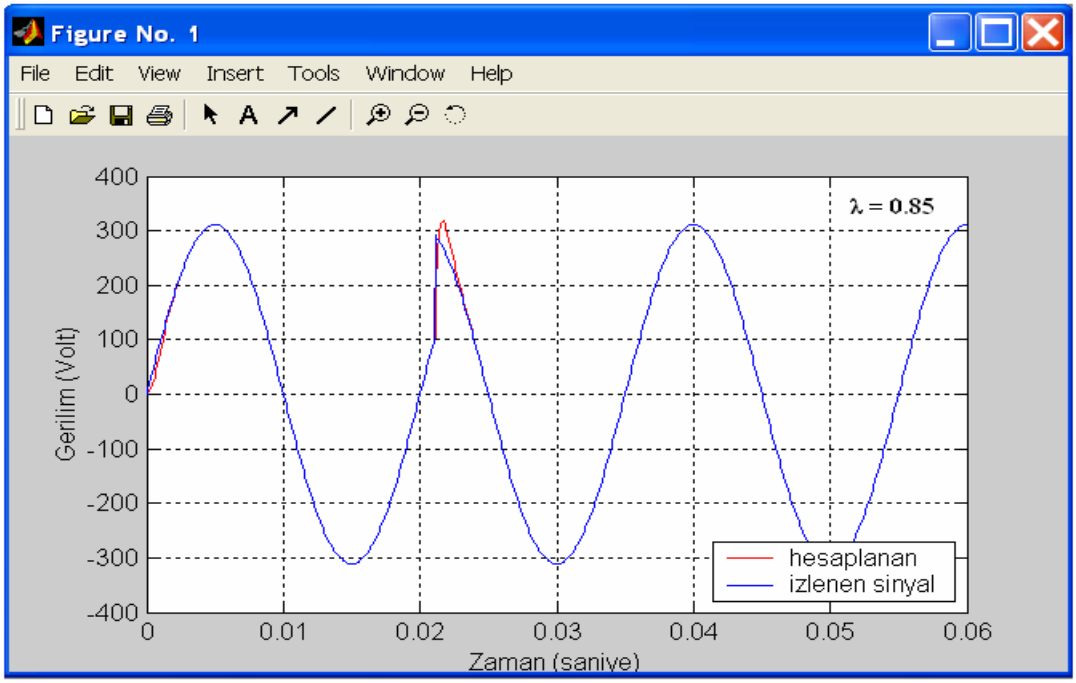
Burada kayıp faktörünün minimum olmasında unutma faktörünün etkisi üzerinde durulmuştur. Unutma faktörü λ, 1'e oldukça yakın ancak 1'den daha küçüktür. Unutma faktörü genellikle λ=0,90, λ=0,95 veya λ=0,99 olarak alınmaktadır (1, 5, 7). Unutma faktörünün değeri bir önceki örneklemin ağırlığını belirler. 1'e yakın unutma faktörü değerleri bir önceki örneklemi daha düşük oranda ağırlıklandırır iken 0'a yakın değerleri bir önceki örneklemi daha büyük oranda ağırlıklandırır. Seçilecek büyük λ değerleri YEKK hesaplama metodunun gürültü dayanıklılığını arttırır. Aşağıdaki şekillerde λ'nın farklı değerleri için izlenen sinyale kilitlenme tepkisi incelenmiştir.



Şekil 2.4. λ =0,95 değeri için YEKK metodunun faz açısı kaymasına ve gerilim göçmesine tepkisi



Şekil 2.5. λ =0,90 değeri için YEKK metodunun faz açısı kaymasına ve gerilim göçmesine tepkisi



Şekil 2.6. λ =0,85 değeri için YEKK metodunun faz açısı kaymasına ve gerilim göçmesine tepkisi

Yukarıdaki şekillerden de görüldüğü gibi λ değerindeki azalma izlenen sinyaldeki değişimlere hızlı ve sert bir kilitlenmeyi sağlar. λ'nın büyük değerleri için kilitlenme hızı yavaş fakat kilitlenme yumuşak olmaktadır. Unutma faktörü λ'nın değeri (t-1) zamanında elde edilen bilgiyi ağırlıklandırır (5).

2.2.5. R_1 matrisinin norm değerinin algoritma tepkisine etkisi

Alttaki modelin parametrelerinin birer sabit olduğu farz edilsin,

$$y(t) = \varphi^T(t)\,\theta\,(t)+\varepsilon(t) \qquad [2.118]$$

bu, durum uzay denklemi gibi tanımlanırsa,

$$x(t+1) = x(t) \qquad [2.119]$$

$$y(t) = \varphi^T(t)\,\theta\,(t)+\varepsilon(t) \qquad [2.120]$$

olur. Burada durum uzay vektörü $x(t)$ aşağıdaki gibidir.

$$x(t) = (a_1 \ldots a_{na} \quad b_1 \ldots b_{nb})^T = \theta(t) \qquad [2.121]$$

En iyi $x(t+1)$ hesabı, Kalman filtresi kullanılarak t zamanına kadar yapılan ölçme sonuçlarının bir fonksiyon gibi hesaplanmasıdır. Kalman filtresi zamanla değişen, fakat dataya ihtiyacı olmayan durum uzay denklemi matrisleri için kullanılmıştır. Eşitlik Eş. 2.117 ve Eş. 2.118'deki modele Kalman filtresi uygulandığında yinelenen en küçük kareler algoritmasına hassaslık kazandırılmış olur. Böylece zamanla değişen parametreler durum denklemlerinde değişim olduğu zaman daha iyi takip edilmiş olur.

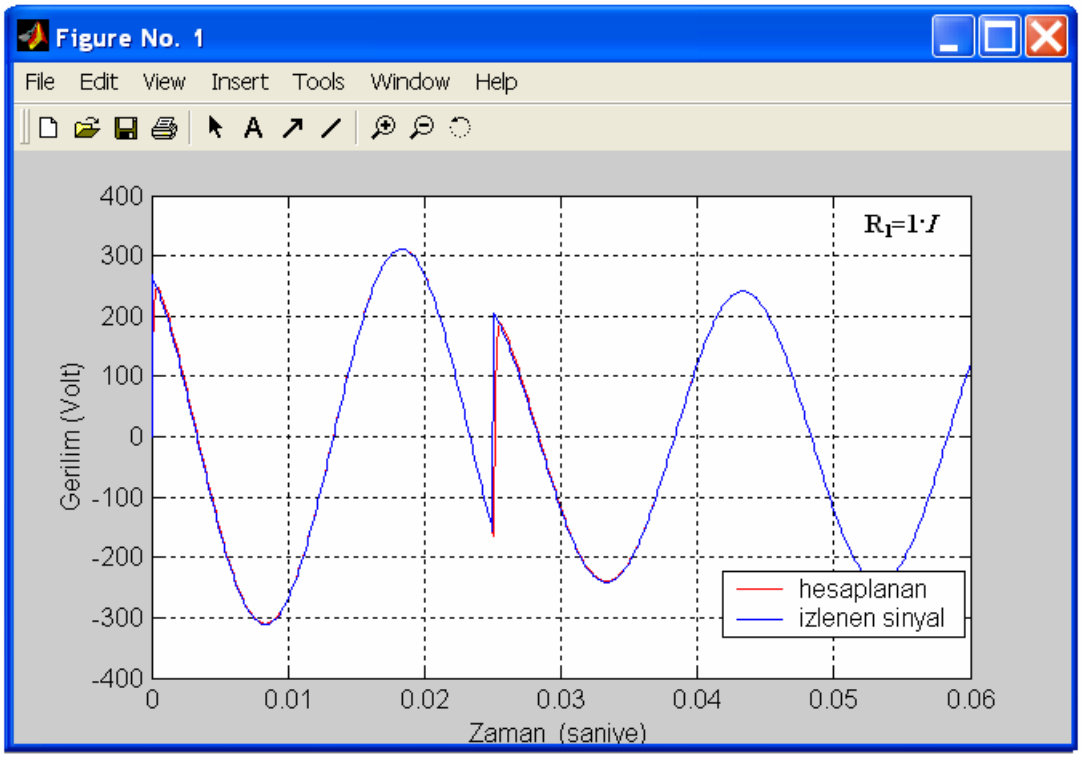
$$x(t+1) = x(t)+v(t) \qquad [2.122]$$

$$Ev(t)v(t)^T(s) = R_1\delta_{t,s} \qquad [2.123]$$

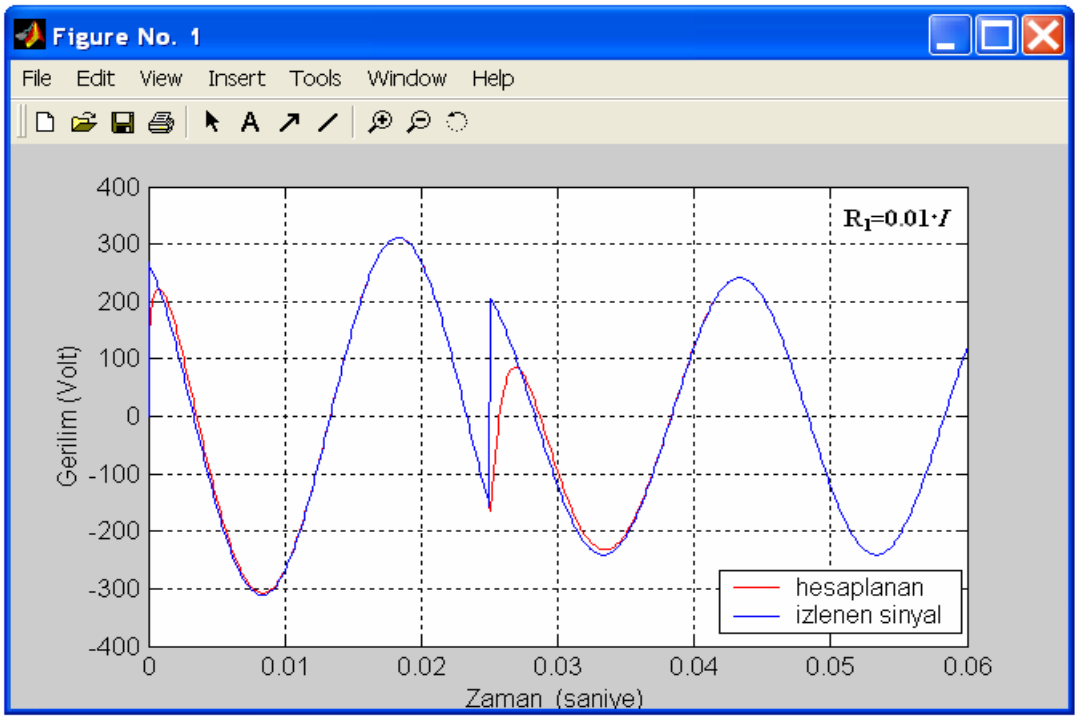
Parametre vektörü rasgele örneklenir. Kovaryans matrisi R_1, $\theta(t)$'yi meydana getiren etkenlerin daha hızlı tanımlanmalarında kullanılır (1).

Kalman filtresi ve unutma faktörü yaklaşımlarının her ikisi için de $P(t)$'nin değeri sıfıra düşmez. Böylece $K(t)$'nıın sıfır değerine düşmesi önlenmiş olur. Hesaplanan parametre bu yüzden sürekli değişkendir. Unutma faktörü yaklaşımındaki λ'nın etkisine benzer bir etki burada R_1 matrisi tarafından yaratılır (1, 5, 7).

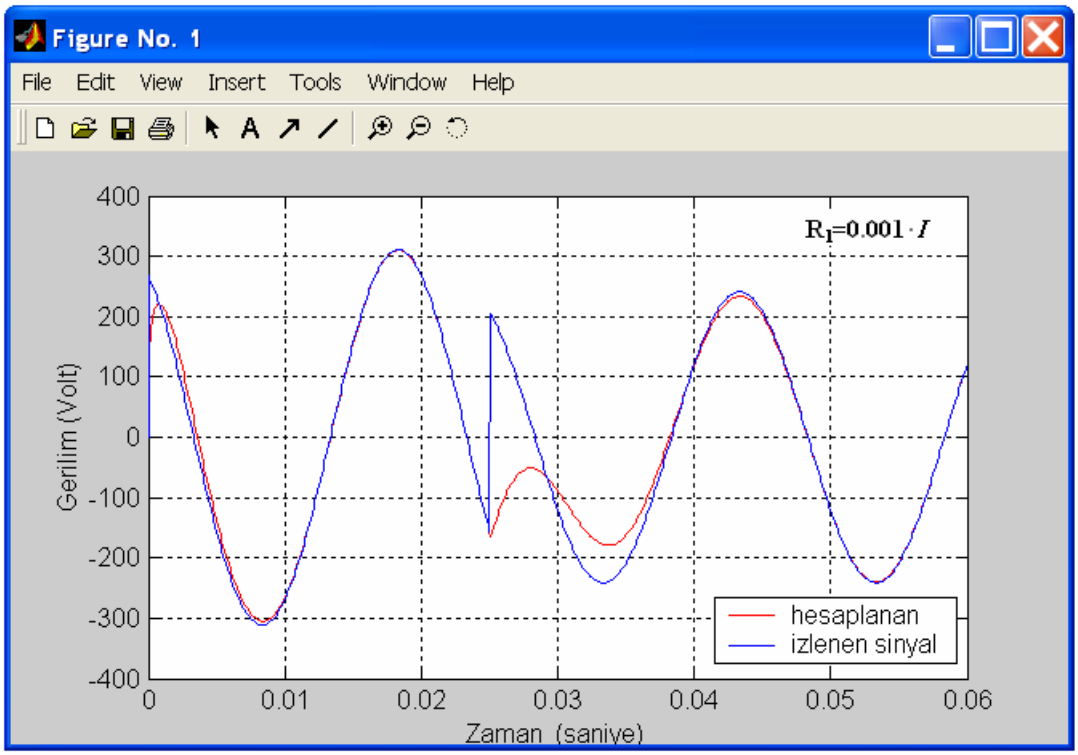
Aşağıdaki şekillerde YEKK yönteminin Kalman filtresi yaklaşımı ile gerçekleştirilmesinde R_1 matrisinin $1 \cdot I$, $0{,}01 \cdot I$ ve $0{,}001 \cdot I$ norm değerleri için sinüssel sinyalde yaratılan basamak tarzındaki faz açısı kayması ve gerilim göçmesine tepkisi gösterilmiştir.



Şekil 2.7. Kalman filtresindeki R_1=1·I norm değeri için tepki eğrisi



Şekil 2.8. Kalman filtresindeki R_1=0,01·I norm değeri için tepki eğrisi



Şekil 2.9. Kalman filtresindeki $R_1 = 0{,}001 \cdot I$ norm değeri için tepki eğrisi

Yukarıdaki şekillerden de anlaşılacağı üzere YEKK metodunun Kalman filtresi yaklaşımında R_1 matrisinin norm değeri unutma faktörü yaklaşımındaki λ'nın değeri gibi algoritma adaptasyonunda belirleyici bir faktördür. Şekiller incelendiğinde R_1 matrisinin büyük norm değerleri için izlenen sinyale kilitlenme kısa sürede ve sert bir biçimde olmaktadır. R_1 matrisinin norm değeri sıfıra yaklaştıkça kilitlenme zamanı artmakta ancak kilitlenme yumuşak bir şekilde olmaktadır. Uygulama alanına göre kilitlenmenin sert mi olacağına yoksa yumuşak bir şekilde mi olacağına kullanıcı deneysel sonuçlarla karar vermelidir.

3. YEKK METODUYLA BİR FAZLI SİNYALE KİLİTLENME ALGORİTMASININ GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

Bu bölümde bir fazlı sistemler için, YEKK metoduyla bir fazlı sinyale kilitlenme algoritmasının geliştirilmesi üzerinde durulmuştur. Bu algoritma ile bir fazlı sinyale kilitlenilir ve sinyalde olabilecek değişikliklere adaptasyon sağlanmış olur. Bu algoritma ani faz atlamaları olabilecek işletim şartlarında, kesintisiz güç kaynaklarında, aktif filtrelerde kullanılabilir.

Bir fazlı sistemler için faz gerilimi aşağıdaki gibi formüle edilebilir.

$$E(t) = \overline{E}\cos(\omega t + \phi)$$
$$= \overline{E}(\cos\phi\ \cos\omega t - \sin\phi\ \sin\omega t) \qquad [3.1]$$

Burada $\overline{E}$ gerilimin maksimum değeri, ω açısal frekans ve ϕ faz açısıdır. Bu formül

$$E_d = \overline{E}\cos\phi \qquad [3.2]$$
$$E_q = \overline{E}\sin\phi \qquad [3.3]$$

yazılarak yeniden düzenlenirse,

$$E(t) = E_d\cos\omega t - E_q\sin\omega t \qquad [3.4]$$

faz gerilim formülü elde edilebilir. Burada $\overline{E}$, ω, ϕ, E_d ve E_q durum uzayında birer sabittir. Eş. 3.1'deki ifadeyi

$$\varphi^T(t) = [\cos(\omega t)\ \ -\sin(\omega t)] \qquad [3.5]$$
$$\theta(t) = [Ed(t)\ \ Eq(t)]^T \qquad [3.6]$$

Biçiminde ifade edersek, bir fazlı gerilim

$$y(t) = \varphi^T(t)\,\theta\,(t) \qquad [3.7]$$

şeklinde olur.

Aşağıda Song, Nam ve Mutschler tarafından YEKK metodundan türetilen algoritma sunulmuştur.

$$\hat{\theta}\,(t) = \theta\,(t) + K(t)[\,y(t) - \varphi^T(t)\,\hat{\theta}\,(t\text{-}1)] \qquad [3.8]$$

$$r(t) = 1 + \varphi^T(t)P(t\text{-}1)\,\varphi(t) \qquad [3.9]$$

$$K(t) = P(t\text{-}1)\,\varphi(t)r(t)^{-1} \qquad [3.10]$$

$$P(t) = \lambda^{-1}P(t\text{-}1) - \lambda^{-1}K(t)\,\varphi^T(t)P(t\text{-}1) \qquad [3.11]$$

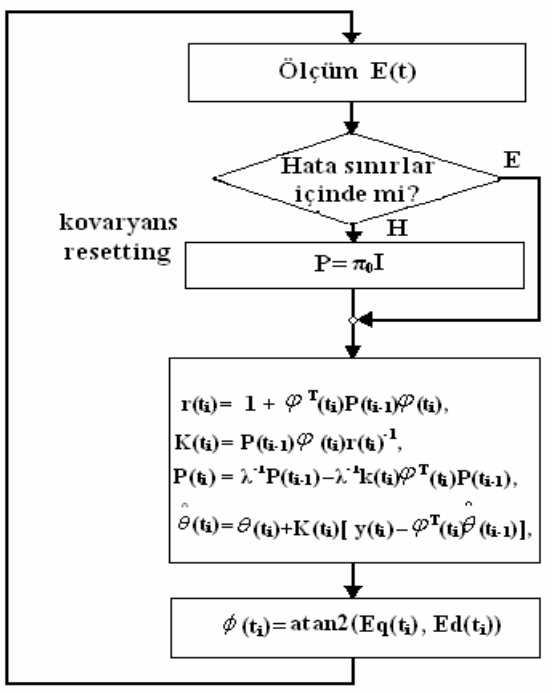
Burada $x(t\text{-}1)=0$ ve $P(t\text{-}1) = \pi_0 \cdot I$ 'dır. π_0 başlangıç değeri sıfırdan büyük bir değerdir. Bu algoritmada faz açısı

$$\phi\,(t) = atan2(\,Eq(t),\, Ed(t)\,) \qquad [3.12]$$

formülü ile hesaplanır.

Song, Nam ve Mutschler bu YEKK algoritmasına hesaplama hızını arttırmak için kovaryans resetleme tekniğini de eklemişlerdir (2)**.** Bu yöntemde ani değişiklikler tanımlandığı zaman, *P* büyük bir değer ile reset edilerek *K* kazancı belirli bir noktaya kadar arttırılır ve geriliminde oluşabilecek ani faz açısı değişimlerinin hesaplanma hızı arttırılmış olur. Gerilimin genliğinde veya faz açısında ani değişimler olduğu zaman hata değerinin hesaplaması ile bu normal durumdan ayırt edilir. Eğer hesaplanan hata önceden belirlenen değerden büyükse *P*, başlangıç kovaryans değeri olan $\pi_0 \cdot I$ değeri ile reset edilir. Önceden belirlenen hata değeri nominal gerilimin tepe değerinin %20 ila %40'ı arasındaki bir değerdir (2). Ayrıca bu metotta λ'nın seçilecek büyük değerleri için hesaplamanın gürültüye karşı dayanıklılığı

arttırılabilir. Aşağıda YEKK metodundan yararlanılarak geliştirilen faz açısı hesaplama algoritmasının akış diyagramı gösterilmiştir.



Şekil 3.1. YEKK metodundan türetilen faz açısı hesaplama algoritması akış diyagramı

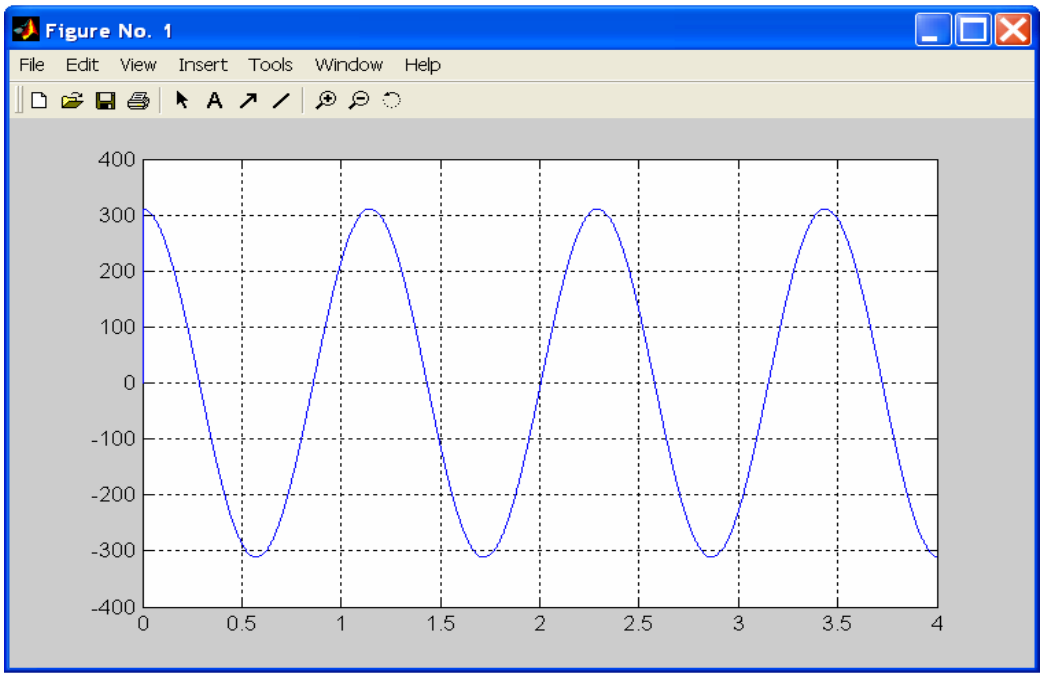
3.1. Algoritmanın Harmonik İçermeyen Sinyale Tepkisinin İncelenmesi

Simülasyonda ilk olarak harmonik içermeyen sinyal kullanılmıştır. Bu sinyalin denklemi

$$E(t) = 311{,}1\cos(\omega t + \phi) \qquad [3.13]$$

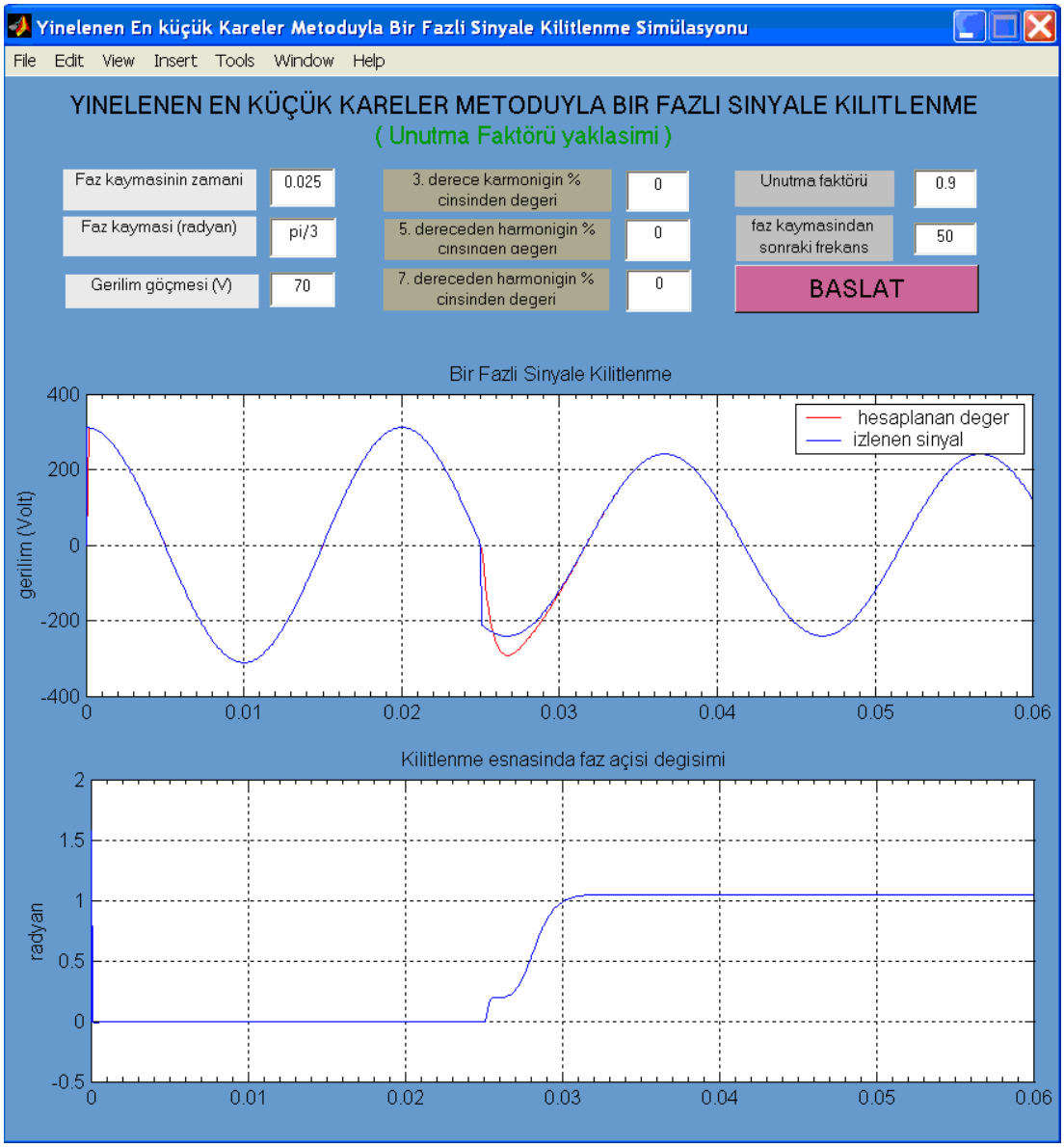
şeklindedir.

Aşağıda simülasyonda kullanılan sinyalin şekli gösterilmiştir.



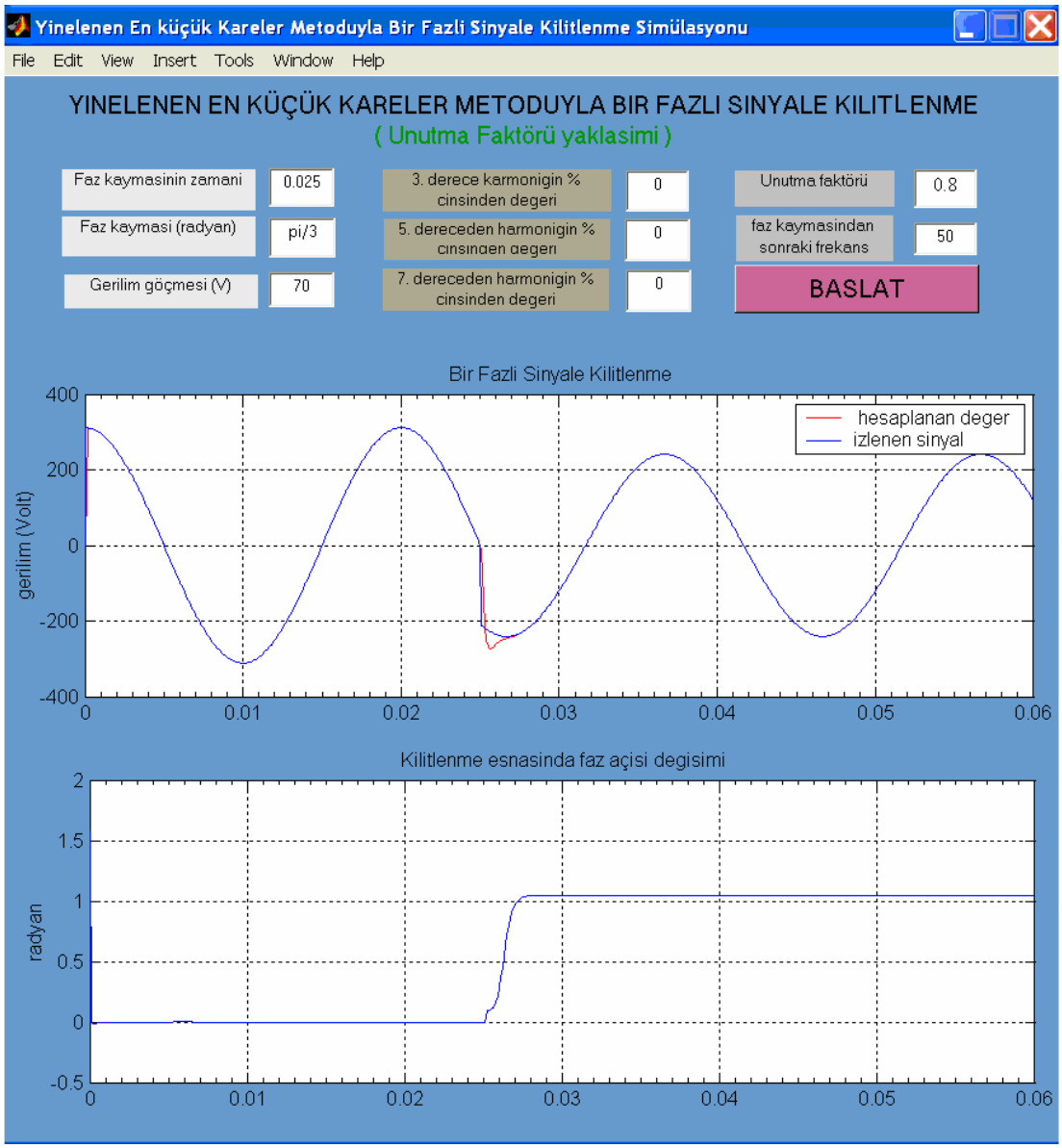
Şekil 3.2. İçerisinde harmonik bulunmayan sinyalin eğrisi

Simülasyonda algoritmanın sinyaldeki faz açısı kaymasına ve gerilim göçmesine nasıl tepki verdiğini incelemek için kaynak geriliminde t=0,025'de 70V'luk bir gerilim göçmesi ve 60°'lik bir faz açısı kayması yaratılmıştır. Bu ani değişikliklere, harmonik içermeyen sinyalde algoritmanın tepkisi aşağıdaki gibi olmuştur.

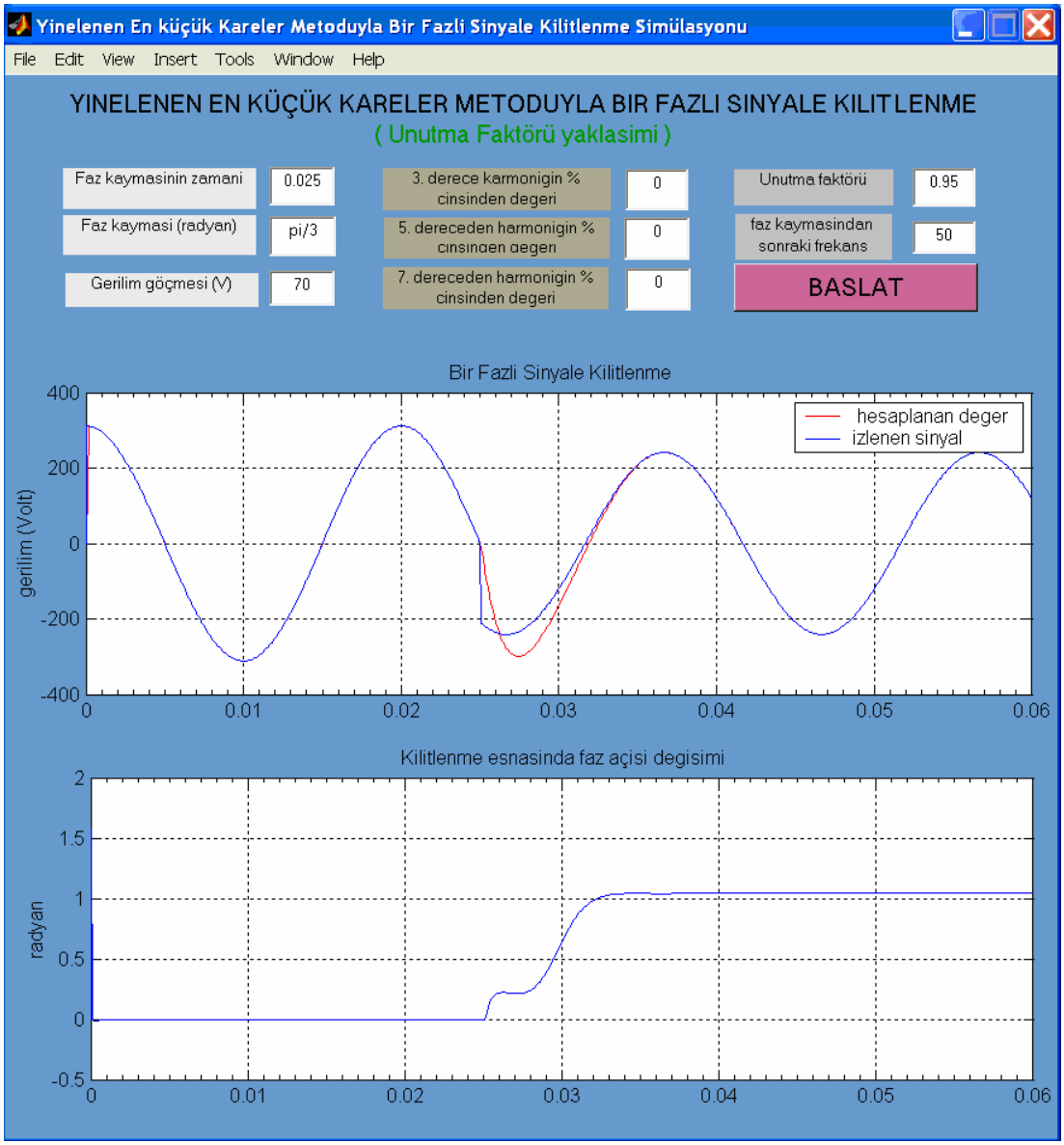


Şekil 3.3. Harmonik içermeyen kaynak geriliminde yaratılan faz açısı ve gerilim göçmesine algoritmanın tepkisi

Yukarıdaki grafikten de görüldüğü gibi t=0,025'te yaratılan faz açısı kayması ve gerilim göçmesine YEKK algoritması, kısa sürede adapte olmuş ve izlenen sinyale kısa süre içerisinde kilitlenme sağlanmıştır. Yukarıdaki grafik unutma faktörü λ=0,9 değeri için elde edilmiştir. λ'nın farklı değerlerinin, algoritmanın tepkisini değiştirdiği belirtilmiştir. Aşağıda λ'nın 0,8 ve 0,95 değerleri için algoritma tepkisinin grafikleri gösterilmiştir.

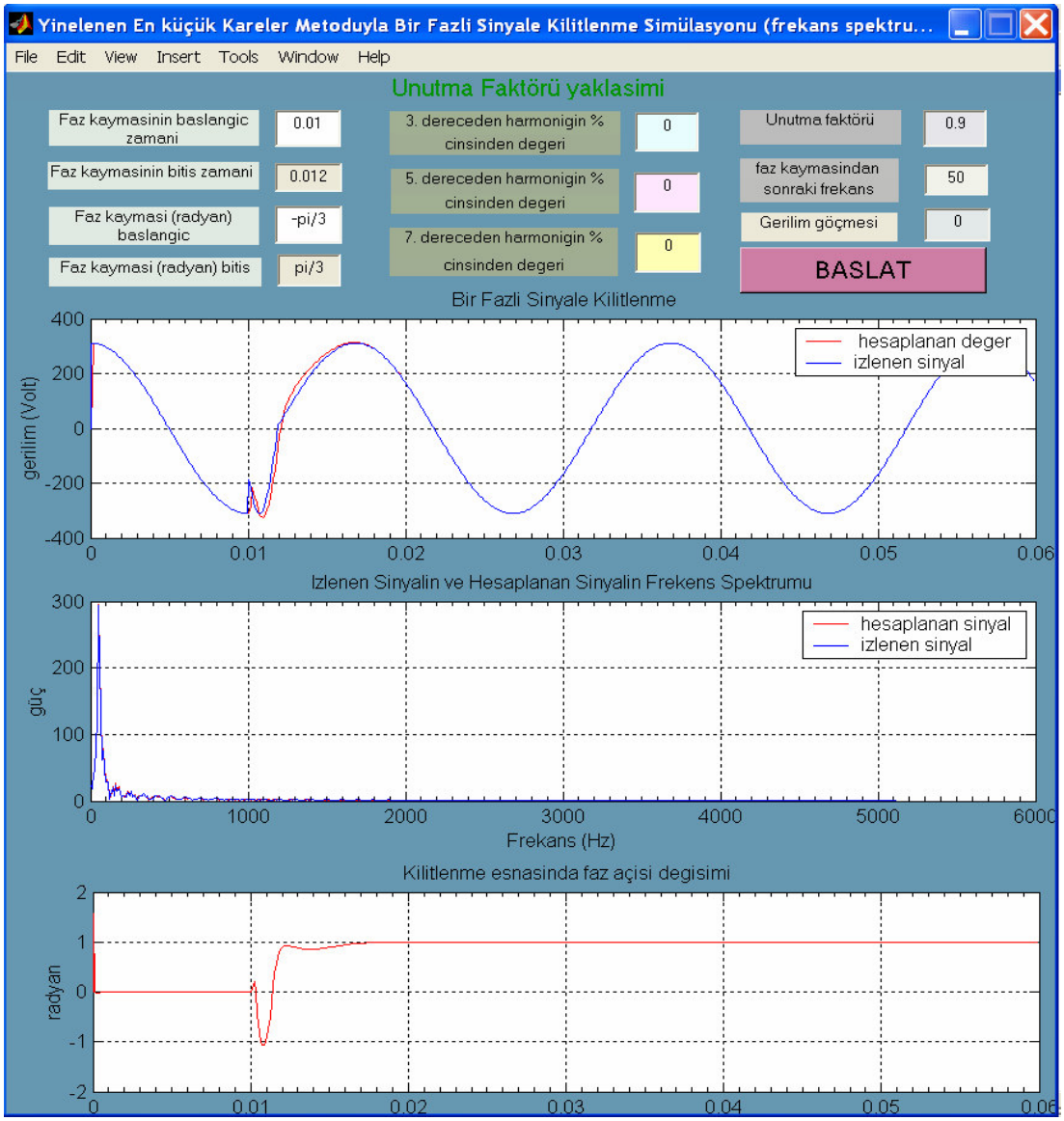


Şekil 3.4. λ=0,8 değeri için algoritma tepkisi



Şekil 3.5. λ=0,95 değeri için algoritma tepkisi

Yukarıda ani faz açısı kayması için algoritmanın tepkisi incelenmiştir. Aşağıda ise faz açısı kaymasının belirli bir süre devam ettiği durumlar için algoritmanın tepkisi incelenecektir. Bu türden değişimlere non-lineer yükler neden olmaktadır. Bu amaçla t=0.01'de 0.002sn'lik bir faz açısı kayması yaratılmıştır. Bu süre içerisinde faz açısı, -60°'den +60°'ye çıkartılmıştır. Algoritmanın tepkisi aşağıdaki gibi olmuştur.



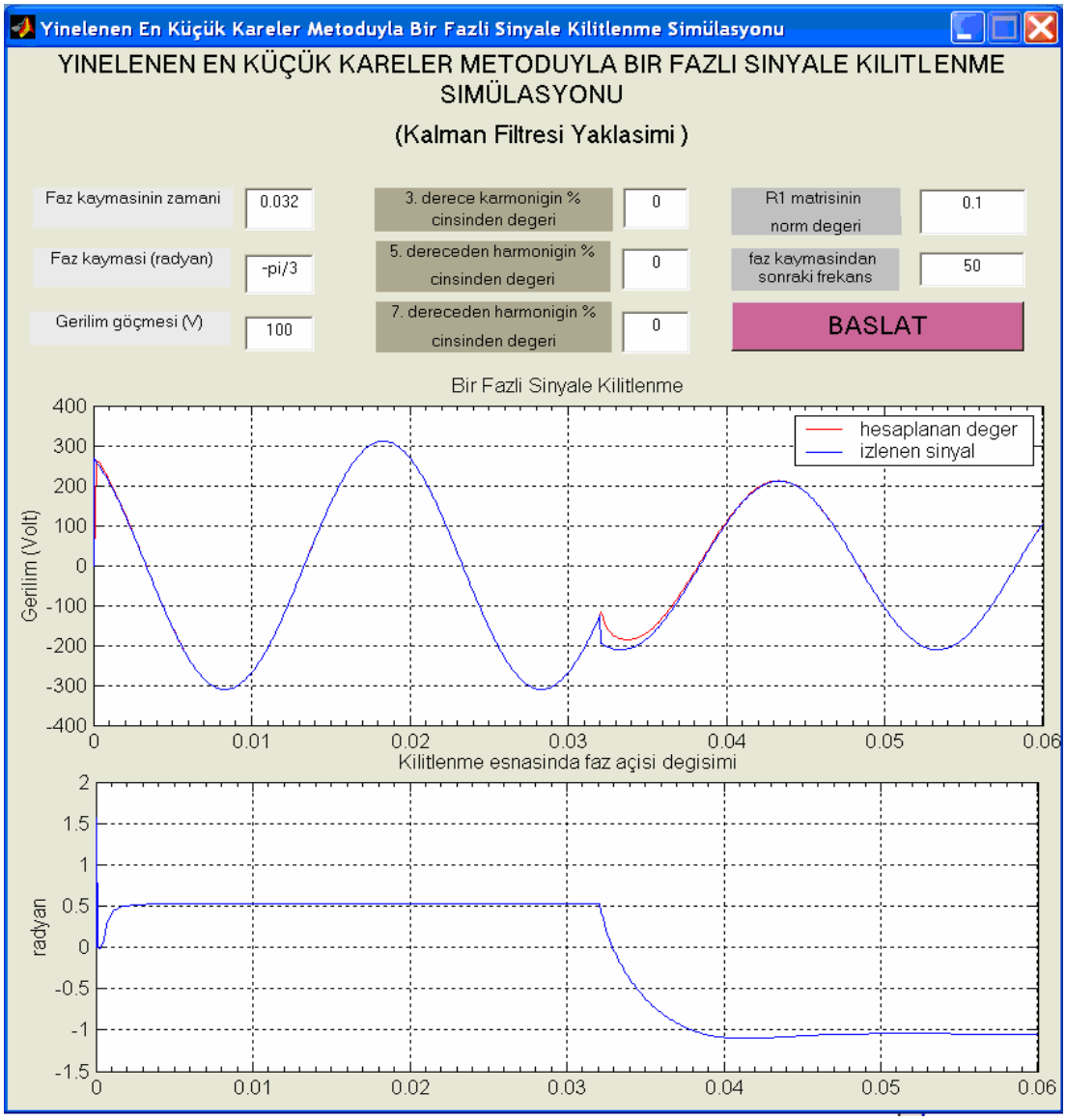
Şekil 3.6. 2ms'lik faz açısı kayması için algoritma tepkisi

2ms'lik sürede faz açısı -60°'den +60°'ye değiştirildiğinde algoritmanın tepkisi, anlık faz açısı atlamasına göre daha yavaş olmuştur. Algoritmanın yavaş tepki göstermesinin nedeni faz açısının, belirtilen zaman aralığında sürekli olarak değişmesidir.

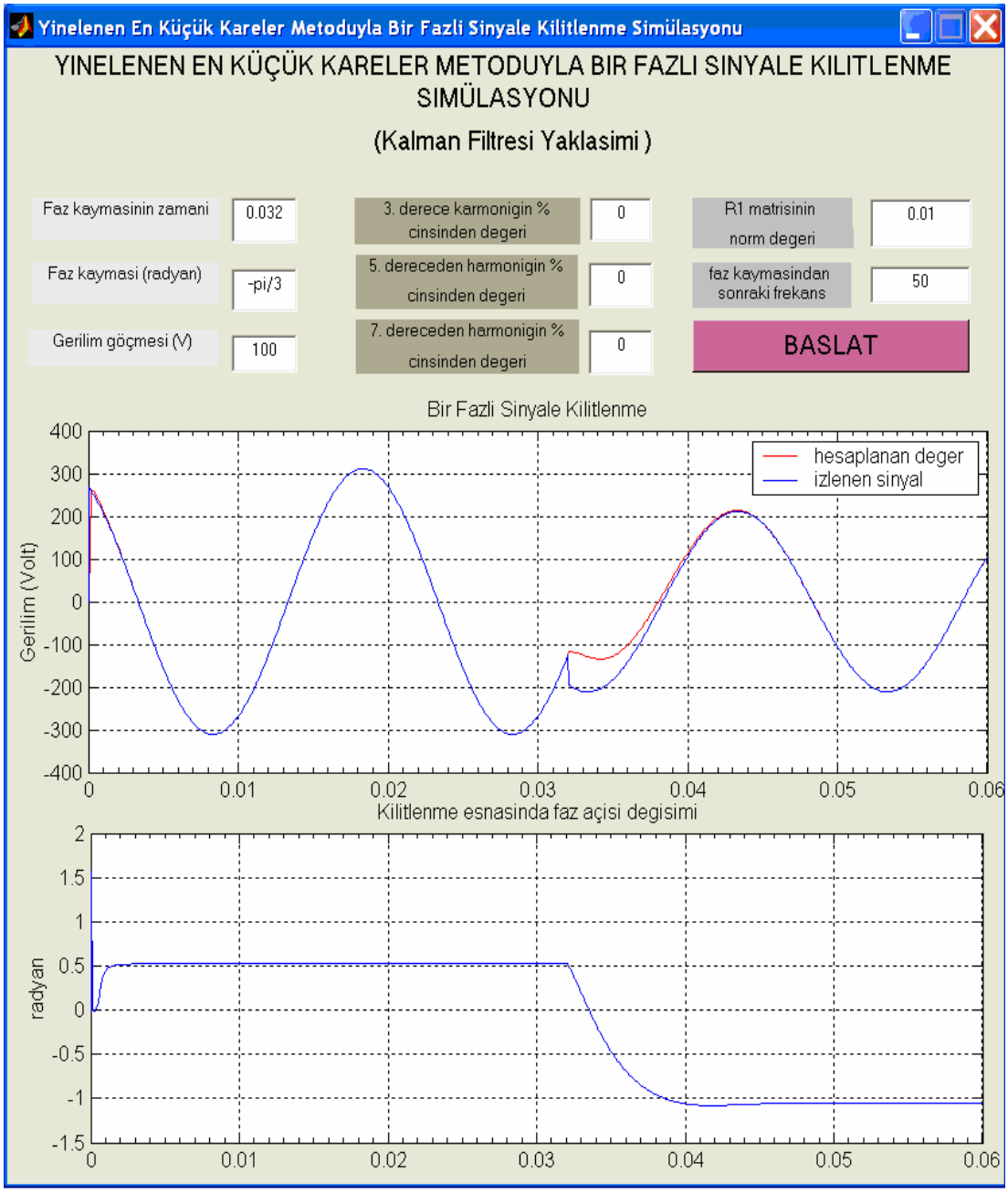
Şekillerden de görüldüğü gibi unutma faktörü λ, algoritmanın izlenen sinyale kilitlenme süresini etkilemektedir. λ değeri küçüldükçe eğriye kilitlenme süresi

azalmaktadır. Fakat amaç her zaman izlenen eğriye en kısa sürede kilitlenmek değildir. Çok kısa sürede kilitlenmek harmonik duyarlılığı arttıracaktır. Bu algoritmanın bir kesintisiz güç kaynağında kullanıldığı düşünülsün. Algoritmadan elde edilecek bilgiler çıkış için kullanılacaksa izlenen eğriye kilitlenme süresinin çok kısa olması istenmez. Kilitlenme süresi çok kısa olursa daha fazla harmonik üretilmiş olur. Bu nedenle kilitlenme sürecinin yumuşak olması daha iyi olacaktır. Song, Nam ve Mutschler yaptıkları çalışmada bu λ değerini 0,90 ile 1 arasında önermişlerdir.

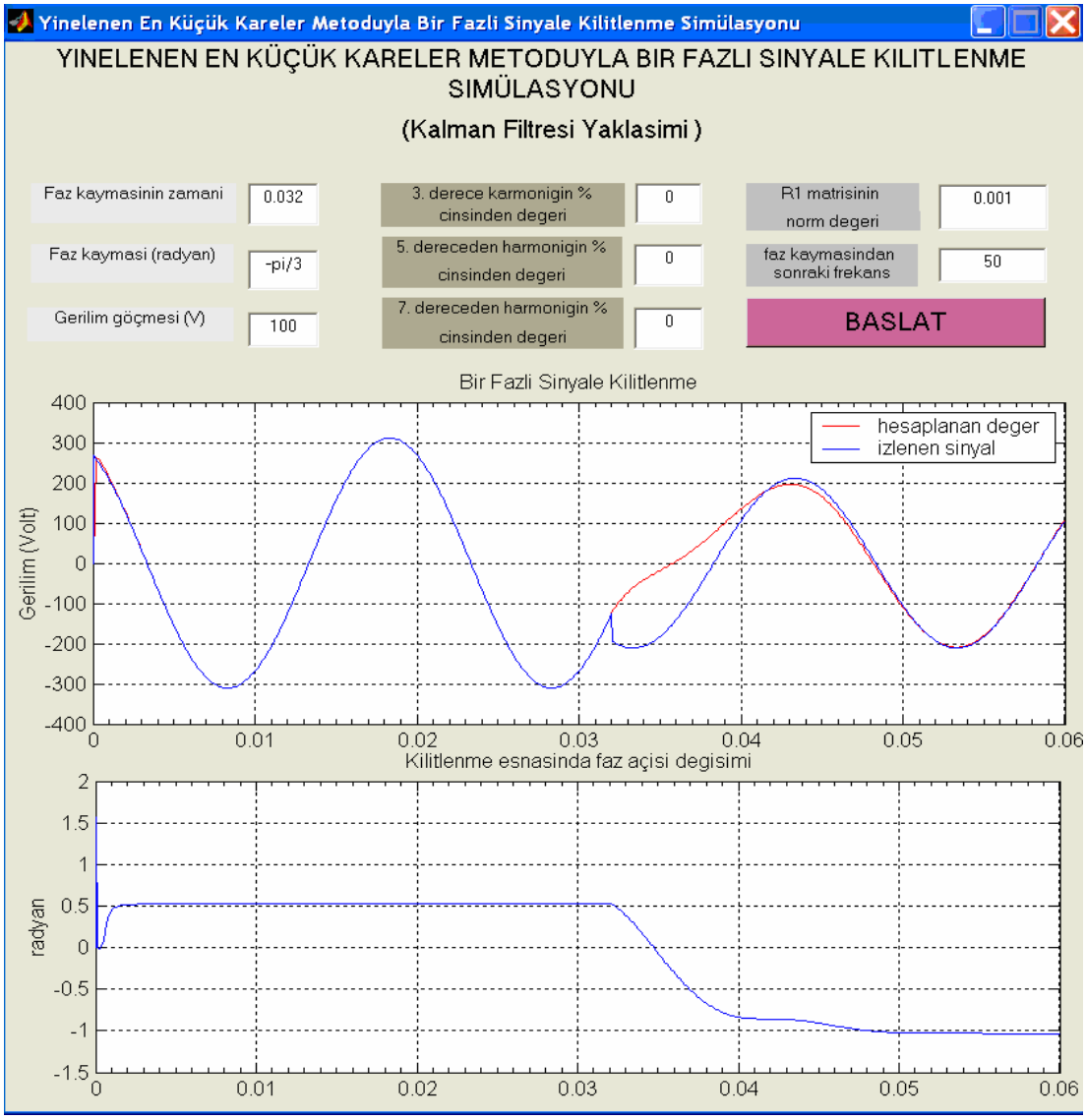
Yukarıda YEKK metoduyla bir fazlı sinyale kilitlenme algoritması, unutma faktörü yaklaşımına göre geliştirilmiştir. Bu algoritmada yapılacak küçük değişiklerle, bir fazlı sinyale kilitlenmede kullanılan YEKK metodunun Kalman filtresi yaklaşımı gerçekleştirilebilir. Aşağıda Kalman filtresi yaklaşımının algoritması R_1 matrisinin 0,1, 0,01 ve 0,001 norm değerleri için t=0,032'de yaratılan faz açısı kaymasına ve gerilim göçmesine algoritmanın tepkisi gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Kalman filtresi yaklaşımının $R_1=0{,}1\cdot I$ norm değeri için faz açısı kaymasına tepkisi



Şekil 3.8. Kalman filtresi yaklaşımının R_1=0,01·I norm değeri için faz açısı kaymasına tepkisi



Şekil 3.9. Kalman filtresi yaklaşımında R_1=0,001·I norm değeri için faz açısı kaymasına algoritmanın tepkisi

Kalman filtresi yaklaşımında R_1 matrisinin norm değeri, algoritmanın adaptasyon süresine etki eder. Yukarıdaki şekillerden de görüldüğü gibi R_1 matrisinin norm değeri arttıkça, algoritma kısa zamanda adaptasyon sağlar ve kilitlenme gerçekleşir. R_1 matrisinin norm değeri azaldıkça adaptasyon süresi artar. Ancak kilitlenme sürecinde yumuşak bir geçiş sağlanmış olur. Uygulama alanına göre bu değer kullanıcı tarafından isteğe göre tespit edilir.

Şimdi de algoritmanın harmonik içeren, belirli bir noktada ani sıçramaları olan ve belirli bir süre için değeri sıfır olan sinyale tepkisi incelenecektir.

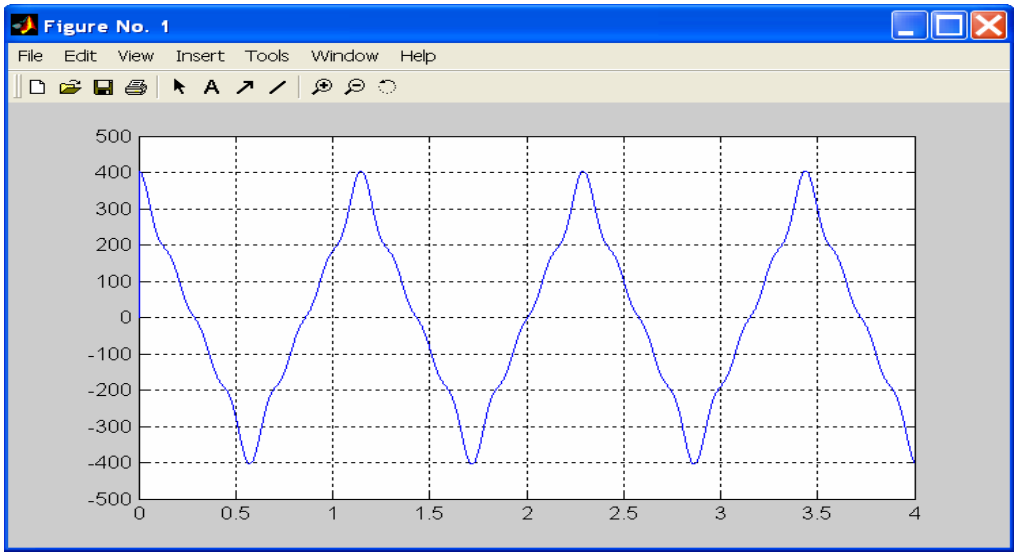
3.2. Algoritmanın Harmonik İçeren Sinyale Tepkisinin İncelenmesi

Algoritma tepkisinin incelenmesinde kullanılacak sinyal içerisinde; %15 değerinde 3. dereceden (150 Hz), %8 değerinde 5. dereceden (250 Hz) ve %7 değerinde 7. dereceden (350 Hz) harmonikler mevcuttur. Harmonikli kaynak geriliminin denklemi aşağıdaki gibidir.

$$E(t) = 311{,}1[cos(\omega t)+0{,}15cos(3\omega t)+0{,}08cos(5\omega t)+0{,}07cos(7\omega t)] \quad [3.14]$$

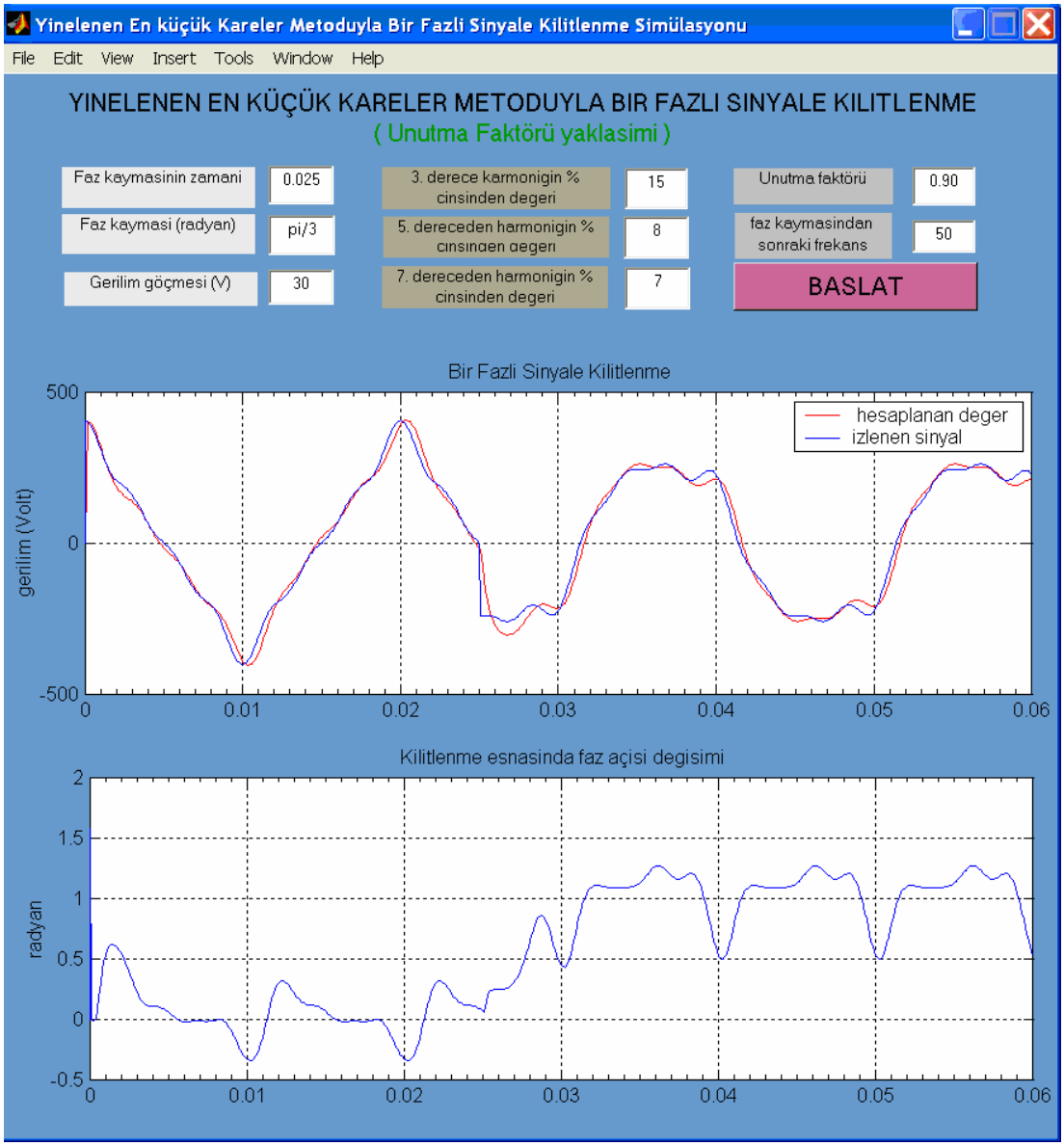
Harmonikli sinyaldeki toplam harmonik bozulma %30'a eşittir. Genelde bu harmonik bozulma %5 civarındadır. Ancak, ağır sanayi bölgelerindeki bozulma miktarı %5 değerinden yukarılarda olabilir (2).

Aşağıda bu şekilde harmonik içeren sinyalin şekli gösterilmiştir.



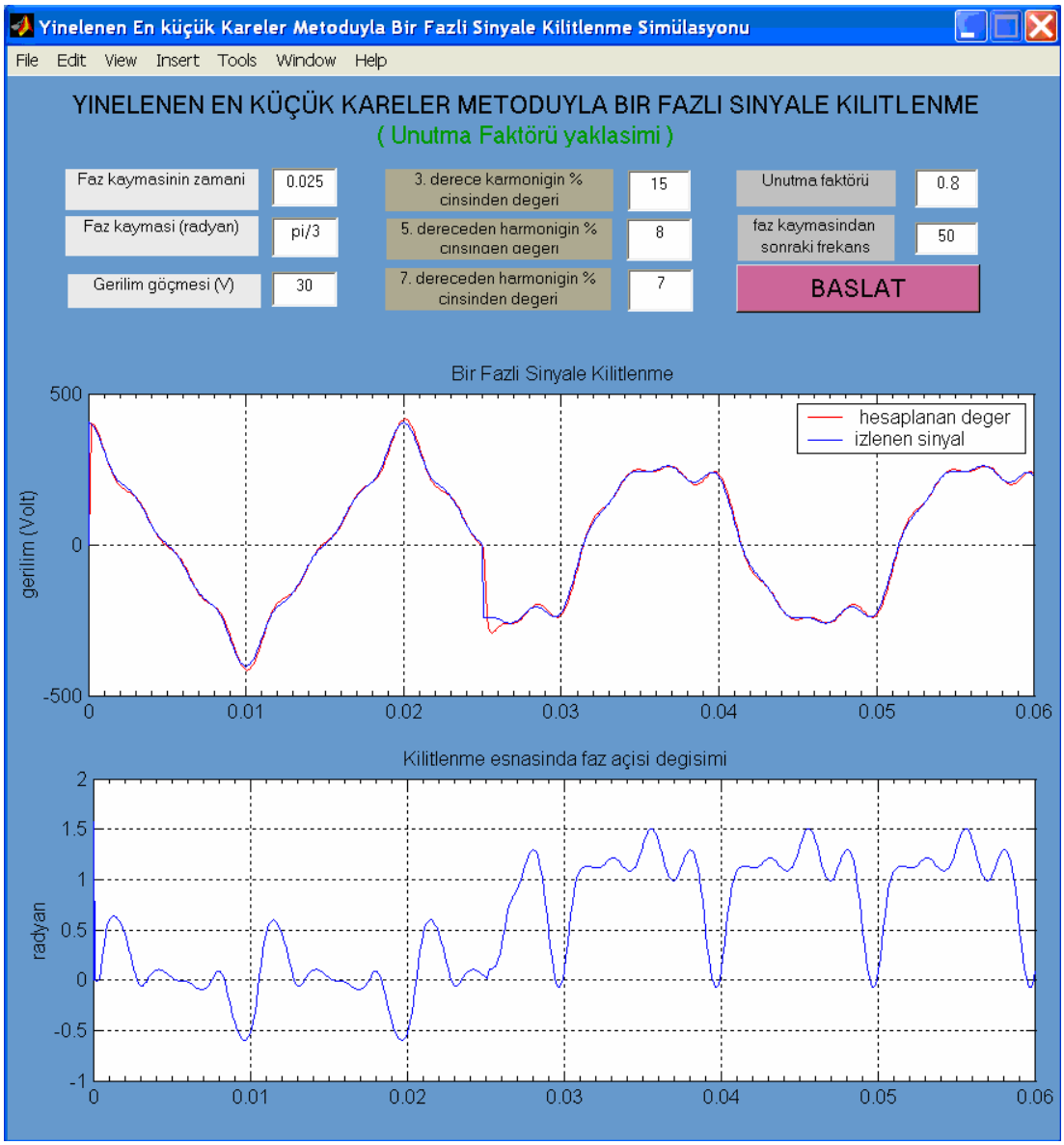
Şekil 3.10. %15 3. derece, %8 5. derece, %7 7.derece harmonik içeren sinyal

Algoritmanın, yukarıda belirtilen derecelerde harmonik içeren sinyaldeki faz açısı kaymasına ve gerilim göçmesine nasıl tepki verdiğini incelemek için kaynak geriliminde *t*=0,025'te 30V'luk bir gerilim göçmesi ve 60°'lik bir faz açısı kayması yaratılmıştır. Algoritmanın tepkisi aşağıdaki gibi olmuştur.

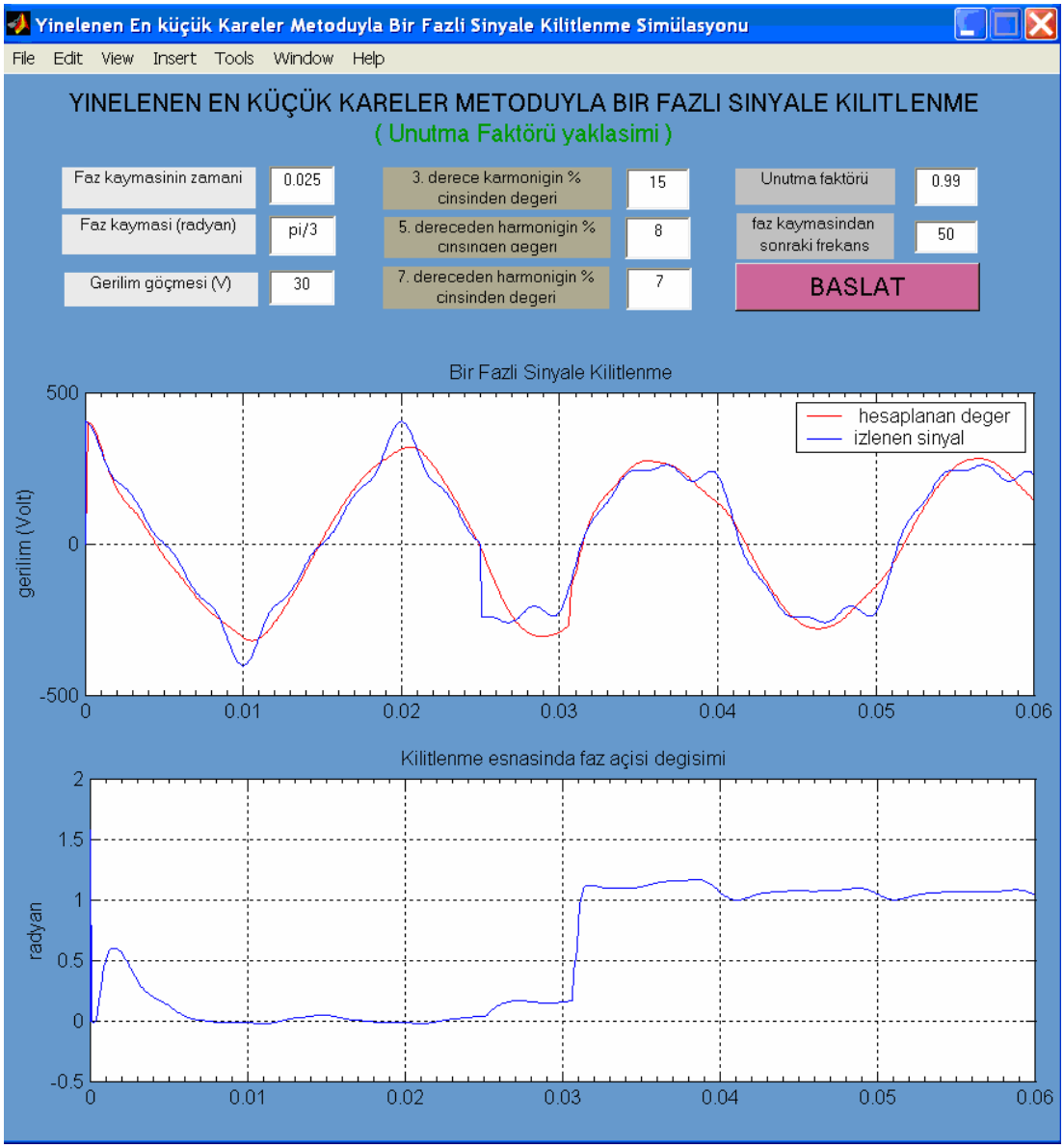


Şekil 3.11. %15 3. derece, %8 5. derece, %7 7.derece harmonik içeren sinyalde yaratılan faz açısı ve gerilim göçmesine algoritmanın tepkisi

Yukarıdaki grafik unutma faktörü λ=0,9 değeri için elde edilmiştir. λ'nın farklı değerlerinde algoritmanın tepkisinin değiştiği belirtilmişti. Aşağıda λ'nın 0,8 ve 0,95 değerleri için algoritma tepkisi incelenmiştir.



Şekil 3.12. λ=0,8 değeri için algoritmanın tepkisi

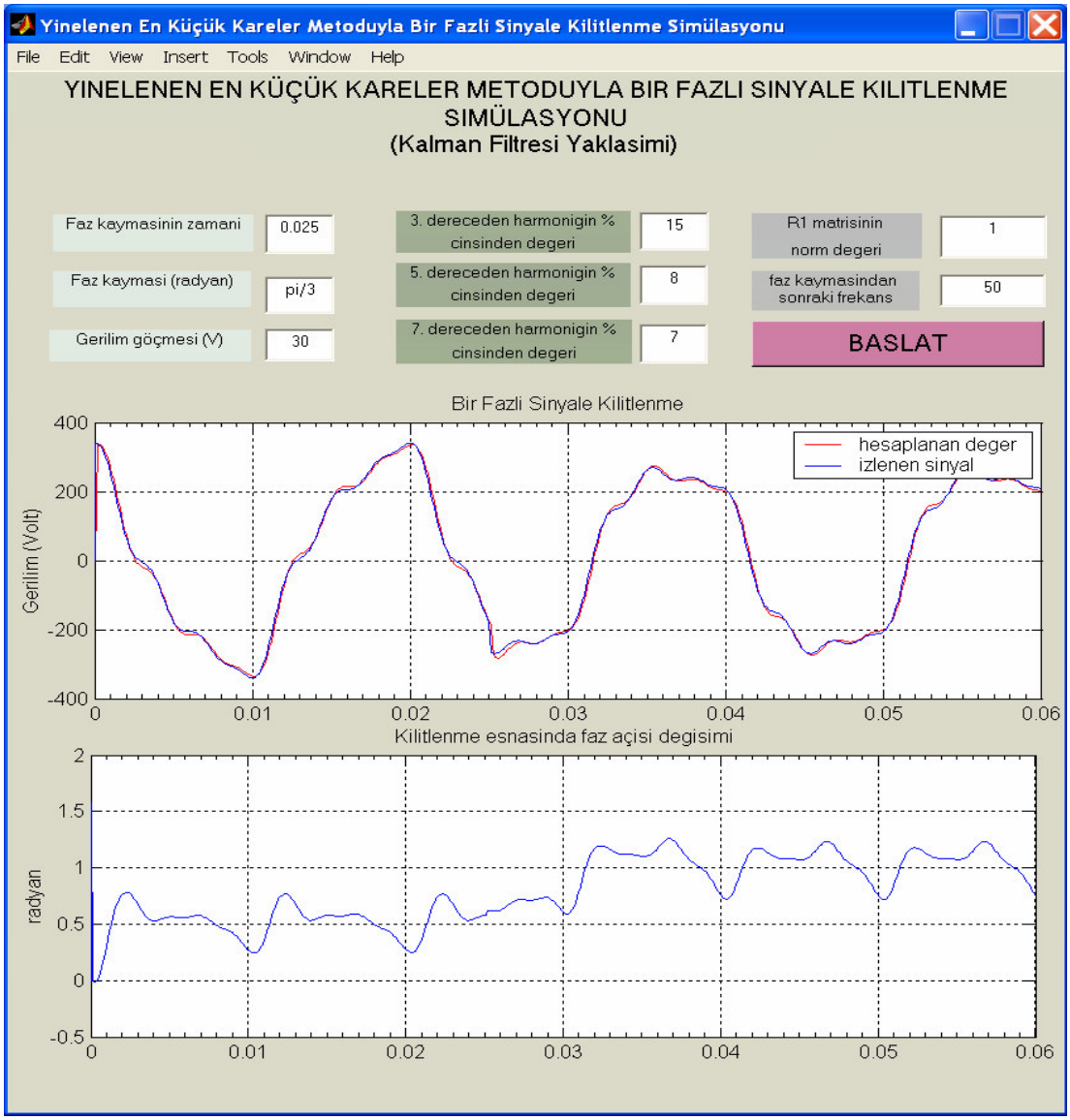


Şekil 3.13. λ=0,99 değeri için algoritmanın tepkisi

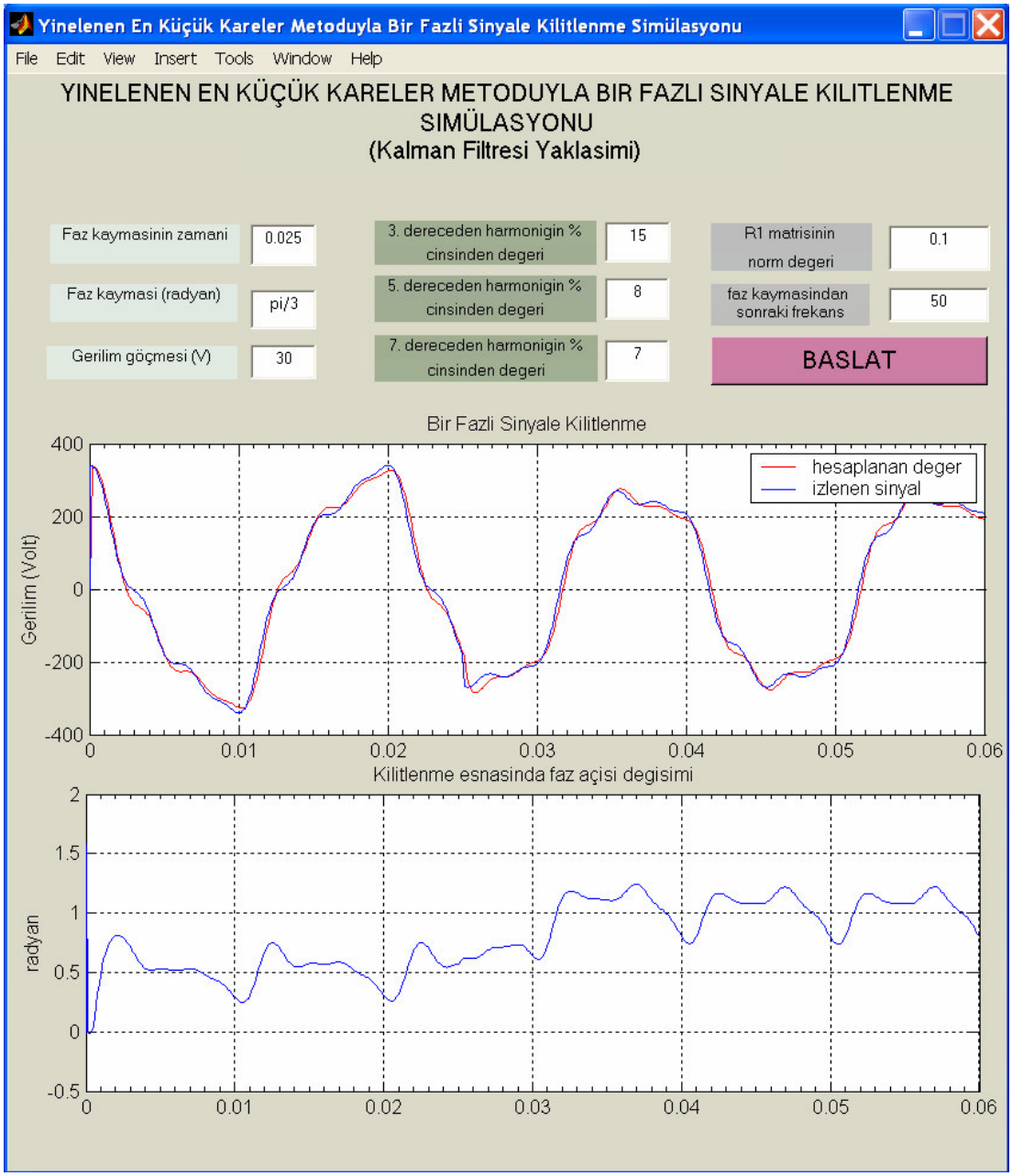
Daha önce de belirtildiği gibi λ'nın değeri, algoritmanın kilitlenme hızını değiştirmektedir. Yukarıdaki şekillerden de anlaşılacağı gibi λ'nın küçük değerleri kilitlenmeyi hızlandırır. λ'nın büyük değerlerinde ise adaptasyon süresi uzamıştır. Farklı λ değerleri için elde edilen faz açısı değişimi, şekillerden de görüldüğü gibi unutma faktörünün değeri 1'e yaklaştıkça hesaplanan faz açısı değerlerindeki dalgalanma azalacaktır. Bunun sebebi sinyaldeki harmonikler nedeni ile oluşan ani değişimlerin, algoritmanın daha yavaş tepki göstermesi nedeni ile azalmasıdır. Unutma faktörünün değeri 1'e yaklaştıkça bir anlamda filtreleme yapılır. Bu özelliği

nedeni ile bu algoritma parametre tahmini ve parametre hesabının yanı sıra adaptif filtrelerde de kullanılmaktadır.

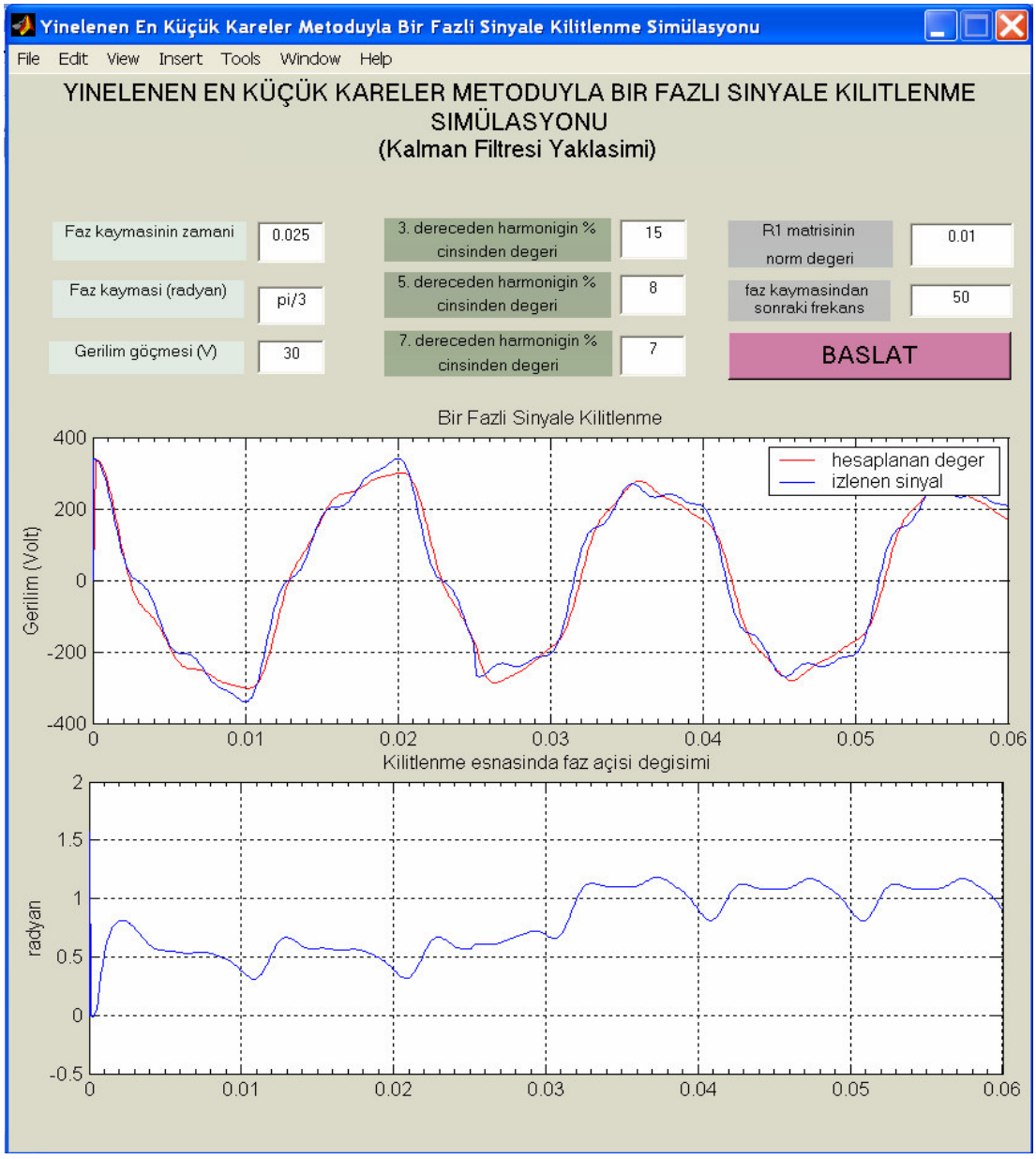
Şimdi de yukarıda belirtilen değerlerde harmonik içeren sinyaldeki değişimlere Kalman filtresi yaklaşımının tepkisi incelenecektir. Aşağıda Kalman filtresi yaklaşımındaki R_1'in $1 \cdot I$, $0{,}1 \cdot I$ ve $0{,}001 \cdot I$ norm değerleri için tepki eğrileri çizdirilmiştir.



Şekil 3.14. Harmonik içeren sinyaldeki değişimlere Kalman filtresi yaklaşımını $R_1 = 1 \cdot I$ norm değeri için tepkisi



Şekil 3.15. Harmonik içeren sinyaldeki değişimlere Kalman filtresi yaklaşımının R_1=0,1·I norm değeri için tepkisi



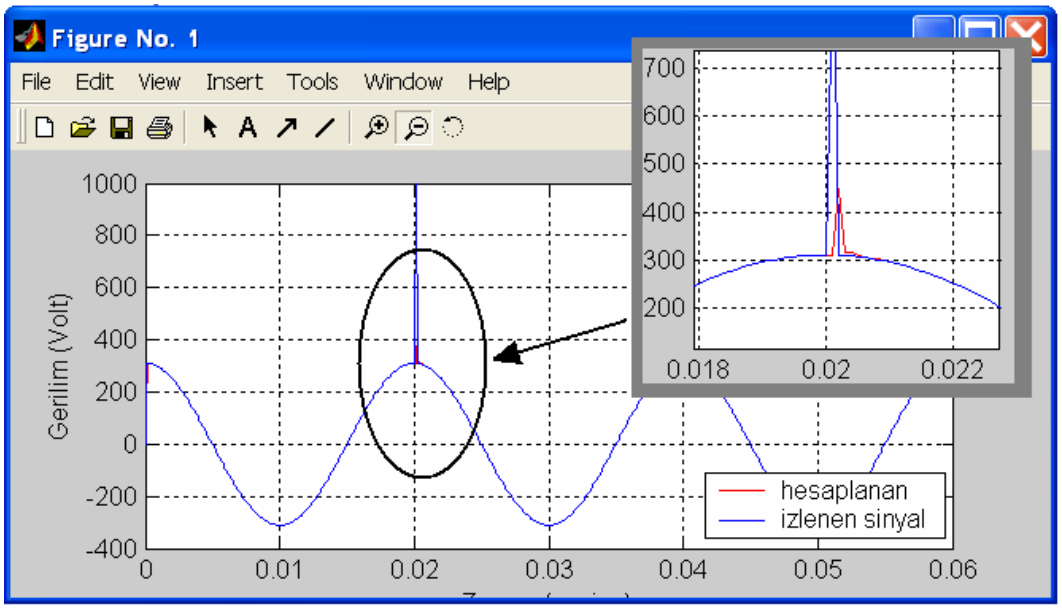
Şekil 3.16. Harmonik içeren sinyaldeki değişimlere Kalman filtresi yaklaşımının R_1=0,01·I norm değeri için tepkisi

Kalman filtresi yaklaşımında yukarıdaki tepki eğrileri incelendiğinde R_1 matrisinin norm değerinin azalması, izlenen sinyalden uzaklaşmaya neden olmuştur. Buna karşılık faz açısı atlamasına, R_1 matrisinin norm değerindeki azalma ile daha yumuşak bir tepki verilmiştir. Bunun nedeni R_1 matrisinin norm değerindeki azalma ile bir önceki hata bilgisinin daha az ağırlıklandırılmasıdır. Aslında önceki hata değerinin ağırlığının azaltılması, izlenen sinyalin parametre hesaplamasında

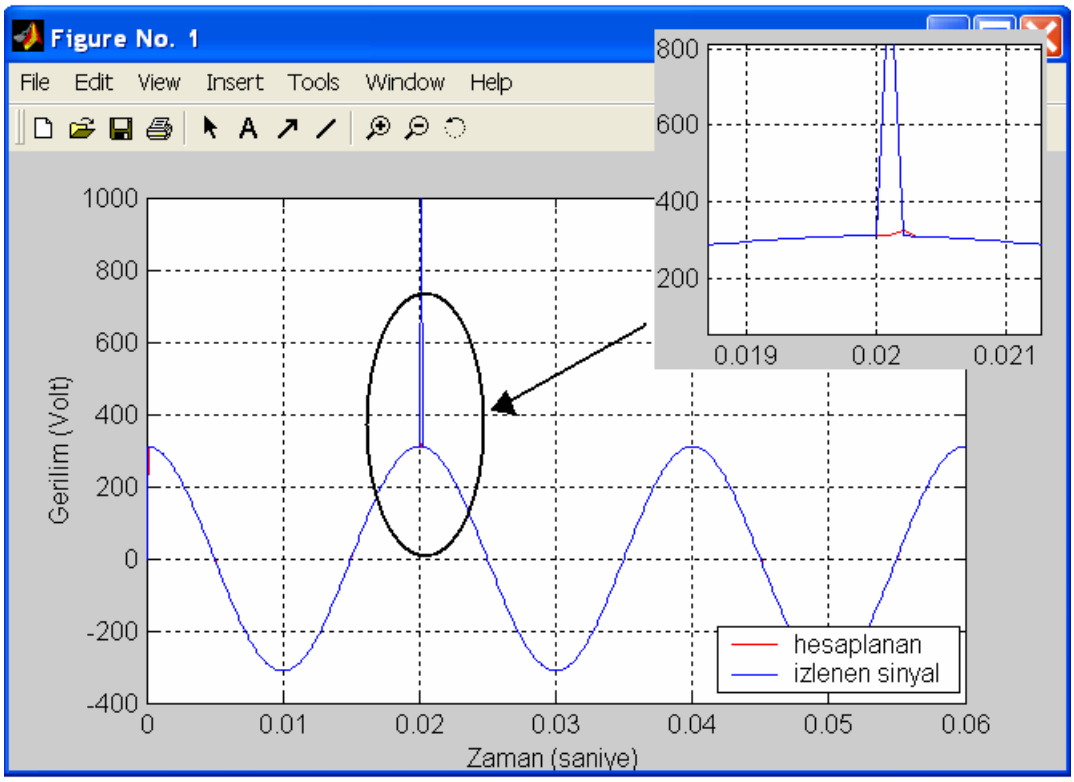
sapmalara neden olur ve tepki yavaşlar. Ancak bazı durumlarda da ani değişikliklerde yavaş tepki daha iyi sonuçlar doğurabilir. Tepkinin hızlanması için Kalman filtresi yaklaşımında R_1 matrisinin norm değerinin arttırılması ve önceden belirlenecek hata değeri aşıldığında P'nin yüksek bir değerle reset edilmesi gerekir. Daha sonraki bölümlerde incelenecek olan frekans spektrumu incelemesinde de görüleceği gibi R_1 matrisinin norm değerindeki azalma, bozucu harmonik etkilerin daha fazla bastırılmasını sağlamaktadır.

3.3. Algoritmanın Belirli Bir Noktada Ani Sıçraması Olan Sinyale Tepkisinin İncelenmesi

Şebeke geriliminde olabilecek durumlardan biri de gerilimdeki ani sıçramalardır. Bu ani sıçramalar birkaç yüz volt olabileceği gibi birkaç bin volt da olabilir. Bu tür sıçramalarda algoritmanın nasıl tepki verdiğini görmek için t=0,02'de 0,2ms'lik 1000V'luk bir ani sıçrama yaratılmıştır. Bu ani sıçrama unutma faktörünün 0,90 ve 0,99 değerleri için incelenmiştir.

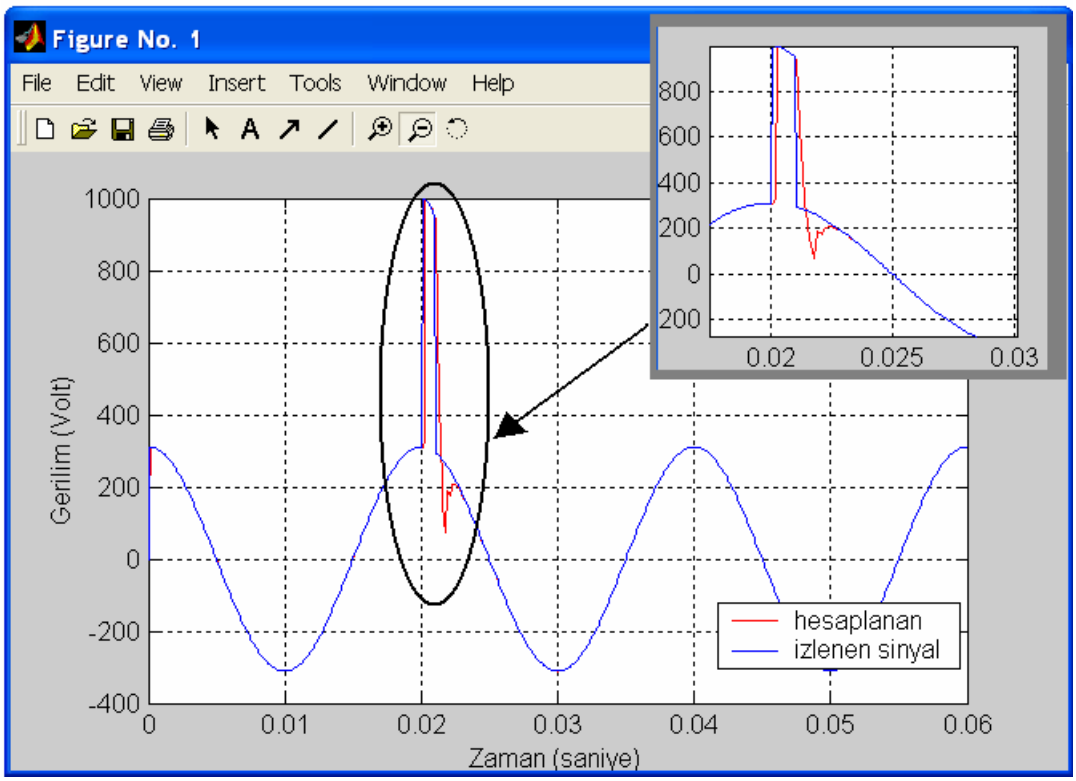


Şekil 3.17. Algoritmanın unutma faktörü λ=0,90 değeri için ani sıçraması olan sinyale tepkisi



Şekil 3.18. Algoritmanın unutma faktörü λ=0,99 değeri için ani sıçraması olan sinyale tepkisi

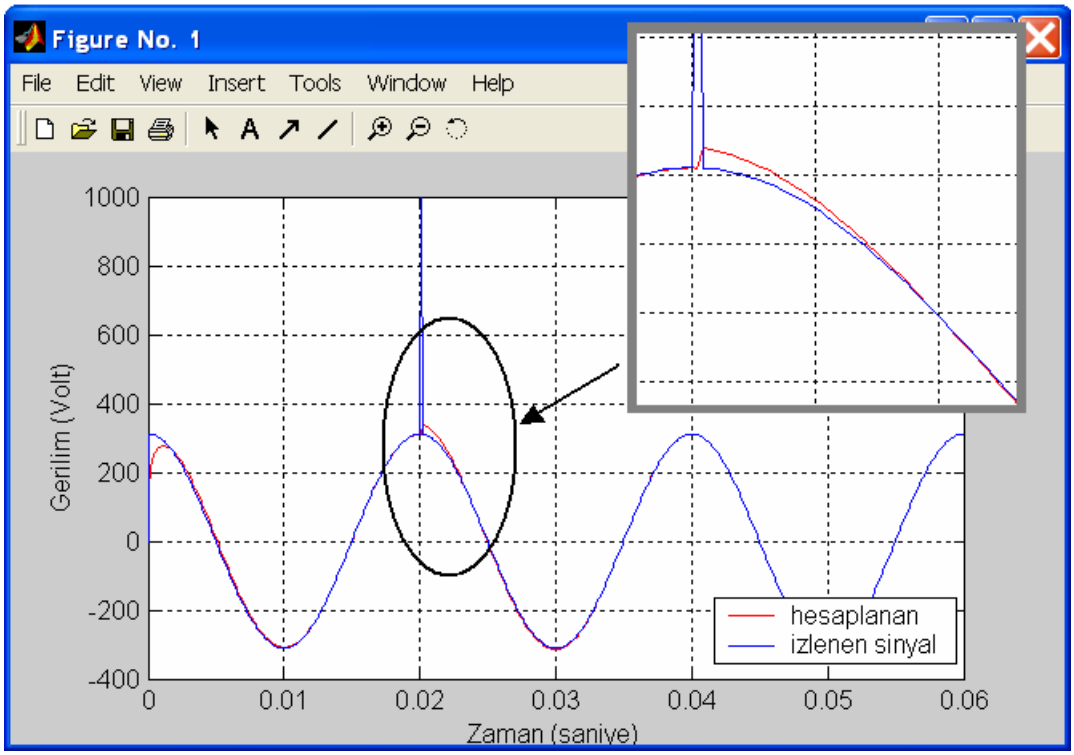
Yukarıdaki şekiller incelendiğinde 0,2ms'lik bir sıçramada algoritma, unutma faktörünün büyük değerleri için bu sıçramaya duyarsız kalmıştır. Bunun nedenleri, bu ani sıçramanın çok kısa süreli olması, unutma faktörünün bir önceki bilgiyi düşük değerde ağırlıklandırması ve algoritmanın hesaplama yapabilmesi için zaman ihtiyacı olması olarak gösterilebilir. Bunlardan en önemlileri sıçramanın süresi ve hesaplama için gereken süredir. Unutma faktörünün 1'e yakın değerleri için bir önceki hata bilgisi düşük değerde ağırlıklandırır. Bu da bir anlamda filtre etkisi sağlanmasına neden olur. Şimdi de sıçrama süresini 0,2ms'den 1ms'ye çıkartarak bu durum için algoritmanın tepkisi incelensin.



Şekil 3.19. 1ms'lik sıçrama süresi için unutma faktörü yaklaşımının tepkisi

Sinyaldeki sıçramanın süresi arttırıldığında algoritmanın buna tepkisi yukarıdaki gibi olmuştur. Sıçrama süresinin nispeten uzun olması nedeni ile algoritma bu sıçramayı takip etmeye çalışmıştır. Düşük unutma faktörlerinde algoritmanın hesapladığı sinyal değerinin gerçek sinyale daha da yaklaşacağı açıktır. Bu tip durumlarda istenen, oluşacak ani sıçramaların mümkün olduğunca etkisinin azaltılmasıdır. Bunun için filtreler kullanılabilir. Kullandığımız algoritmada ise bu durumlar için alınabilecek önlemler; unutma faktörünün mümkün olduğunca 1'e yakın olması, *P* değerinin önceden belirlenen hata değerinden daha küçük değerlerle reset edilmesi olabilir. Song, Nam ve Mutschler yaptıkları deneysel çalışmalarda bu reset değerini 300 olarak önermişlerdir (2). Simülasyon çalışmasında resetleme değerinin ve unutma faktörünün farklı değerleri için yapılan denemelerde 0,2ms ve daha kısa süreli sıçramalarda duyarsızlık gözlenmiştir.

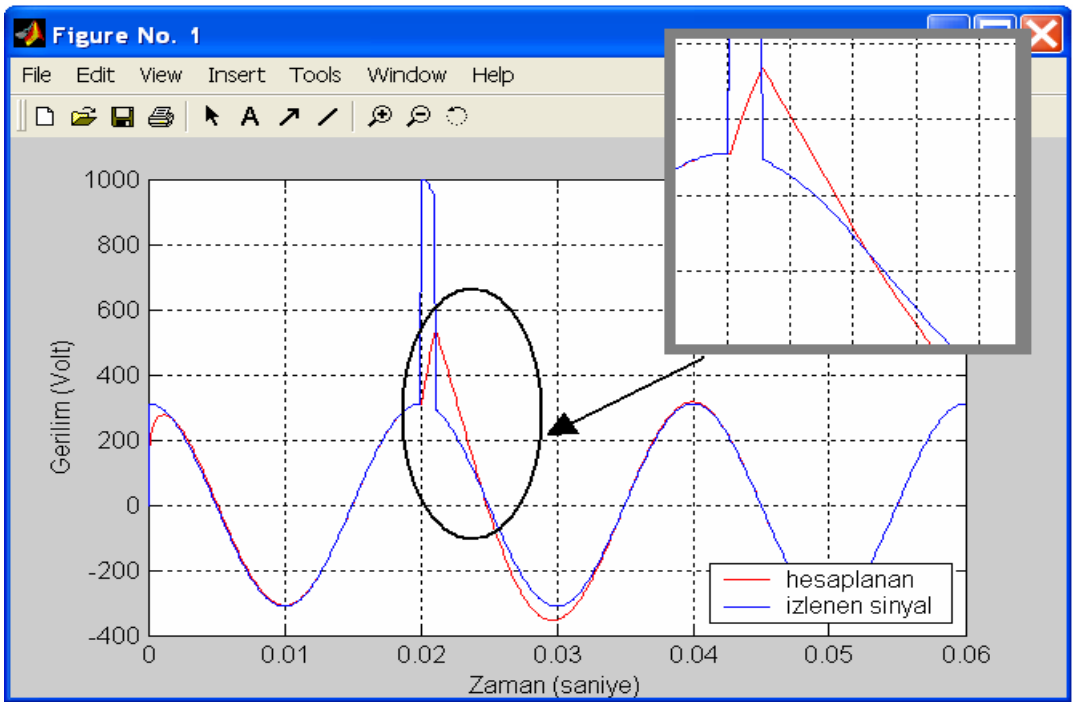
Şimdi de yukarıda açıklanan şekilde değişim gösteren sinyale Kalman filtresi yaklaşımının nasıl tepki verdiği gösterilecektir. Kalman filtresi yaklaşımının bu değişime tepkisi R_1 matrisinin 0,01 norm değeri için çizdirilmiştir.



Şekil 3.20. Sinyaldeki 0,2ms'lik sıçrama için Kalman filtresi yaklaşımının tepkisi

0,2ms'lik ve 1000V'luk sıçramada Kalman filtresi yaklaşımı, unutma faktörü yaklaşımına göre izlenen sinyale daha yakın bir sonuç vermiştir. Bu tip bir durumda bu sıçramalarda duyarsızlık isteniyorsa unutma faktörü yaklaşımının daha iyi sonuç verdiği söylenebilir.

Aşağıdaki şekil incelendiğinde ve sinyaldeki aynı değişime unutma faktörünün tepkisi göz önüne alındığında izlenen sinyale en yaklaşık olanın 1ms'lik sıçrama için unutma faktörü yaklaşımının olduğu görülür. Tabii ki bu 1ms'lik sıçramaya duyarsızlık isteniyorsa Kalman filtresi yaklaşımının daha iyi sonuç verdiği açıktır.



Şekil 3.21. Sinyaldeki 1ms'lik sıçrama için Kalman filtresi yaklaşımının tepkisi

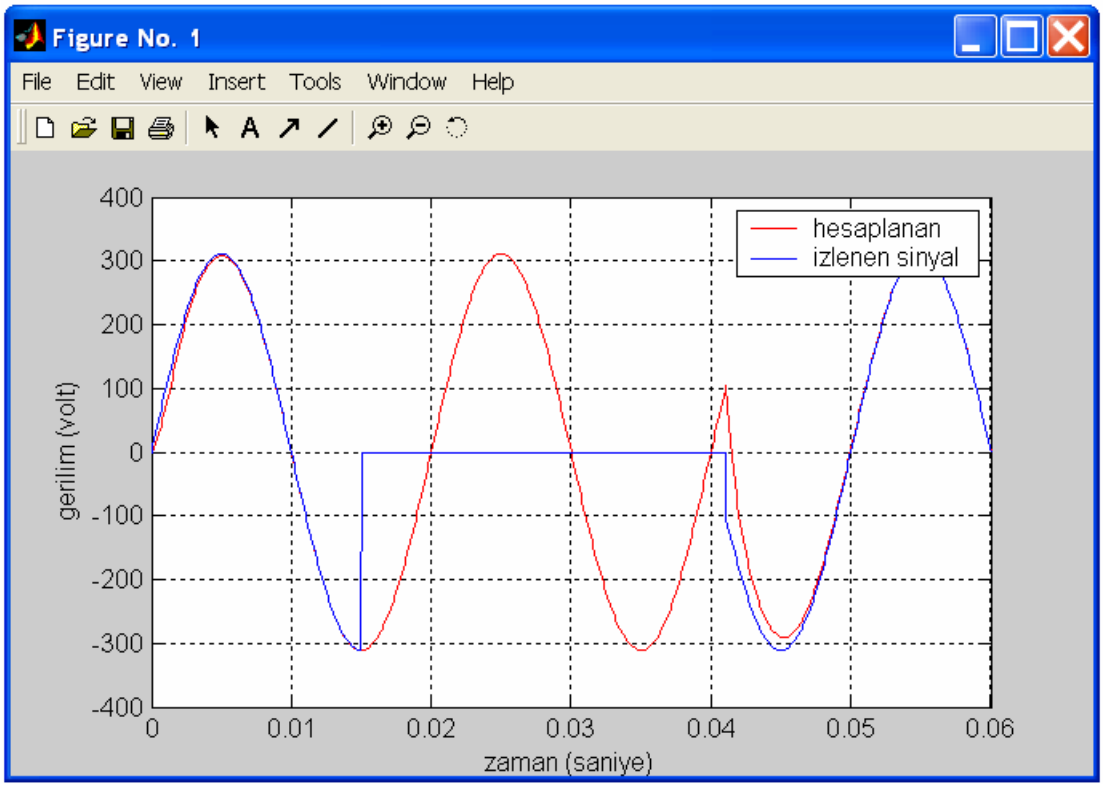
Sonuç olarak sıçramanın süresi arttıkça Kalman filtresi yaklaşımı unutma faktörü yaklaşımına göre daha duyarsız sonuçlar vermiştir. Gerçekte olabilecek sıçramalar burada incelenen değerlerden daha uzun süreli olabilir. Bu durumlar için Kalman filtresi yaklaşımının kullanılması bu değişimlere duyarsızlık için önerilebilir. İzlenen sinyale en yakın değerler, unutma faktörü yaklaşımının 0'a yakın değerleri ve Kalman filtresi yaklaşımının büyük norm değerleri ile elde edilebilir. Bu değişimlere duyarsızlık istendiğinde, unutma faktörünün değerlerinin Kalman filtresindeki R_1 norm değerlerinden daha sınırlı değerler alabildiği de unutulmamalıdır.

3.4. Algoritmanın Belirli Bir Süre İçin Değeri Sıfır Olan Sinyale Tepkisinin İncelenmesi

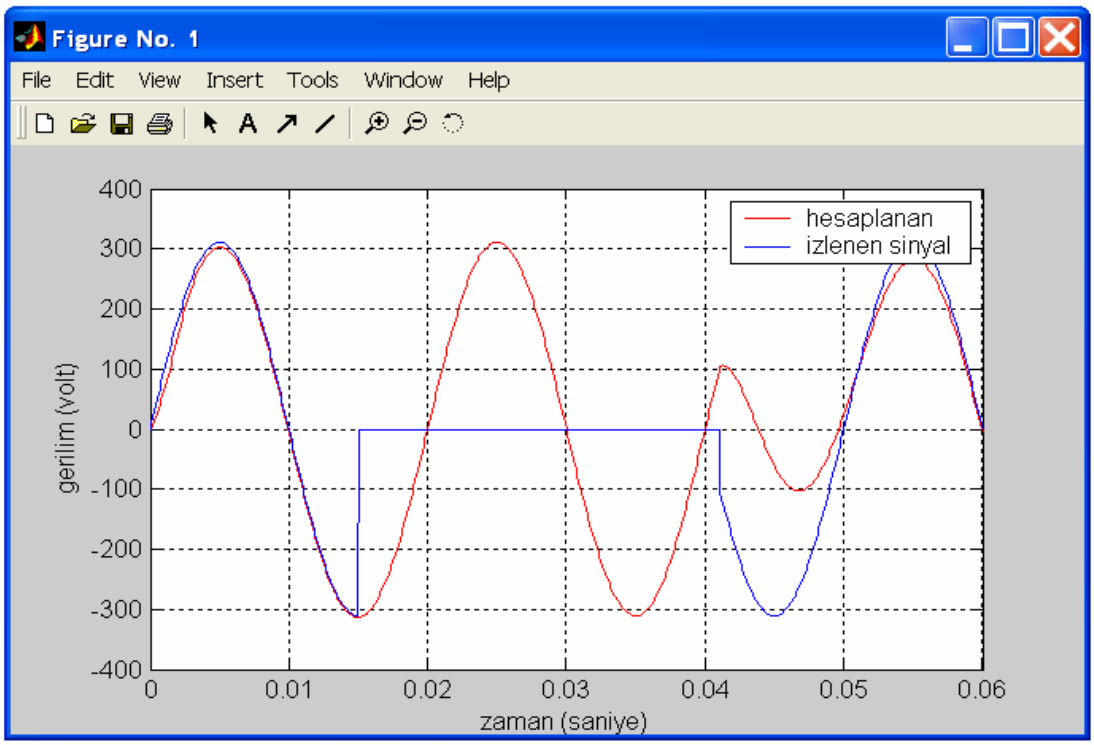
Burada algoritmanın, değeri belirli bir süre sıfır olan ve sonra tekrar farklı bir faz açısı ile belirli bir değerden yükselmeye başlayan sinyale algoritmanın tepkisi incelenmiştir. t=0 zamanında sinyalin sıfırdan yükselmeye başladığı ve t=0,015'te sinyalin değerinin sıfır olduğu varsayılmıştır. Bu noktadan itibaren algoritma,

sinyalin sıfır olmadan bir önceki faz açısını arka planda çalıştırılacak olan sinüssel formda kullanır. Sinyalin değerinin sıfır olmasından sonra, arka planda çalıştırılan sinüssel sinyalin çıkış ürettiği ve t=0,041 anında sinyalin farklı bir faz açısı ile tekrar başladığı varsayılmıştır.

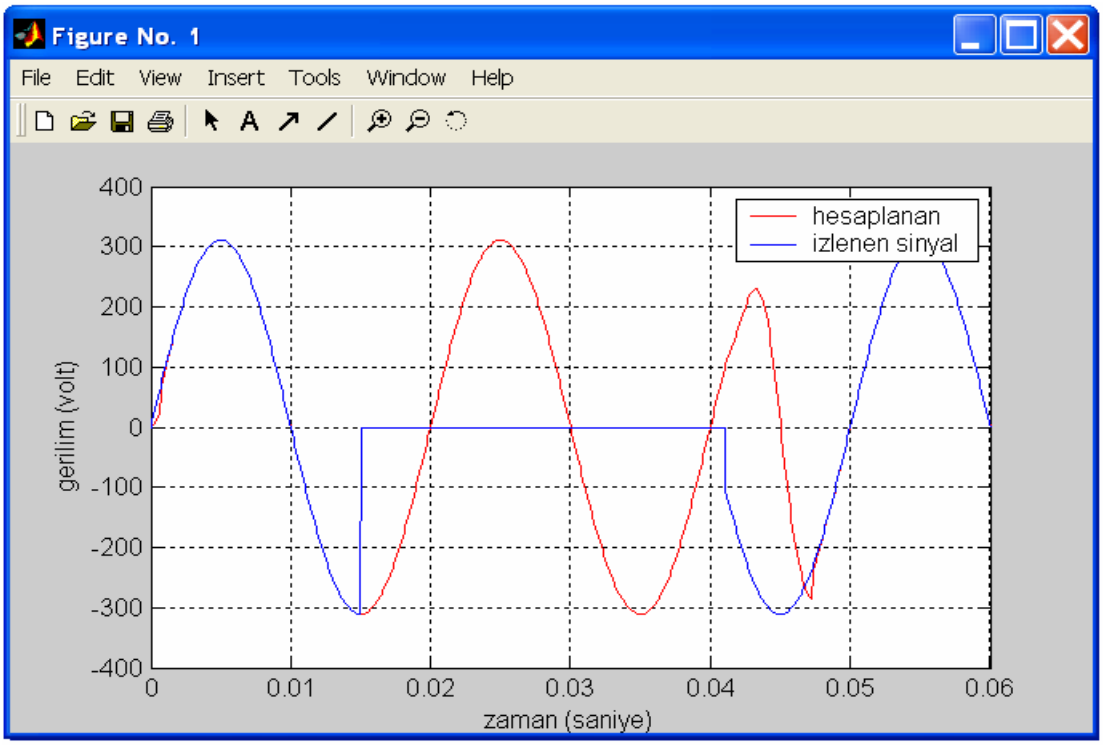
Aşağıdaki şekillerde yukarıda açıklanan durum için algoritmanın tepkisi incelenmiştir. Bu incelemede YEKK metodunun unutma faktörü yaklaşımının λ=0,90, λ=0,99 ve Kalman filtresi yaklaşımının R_1=0,001·I ve R_1=0,0001·I norm değerleri için tepki eğrileri çizdirilmiştir.



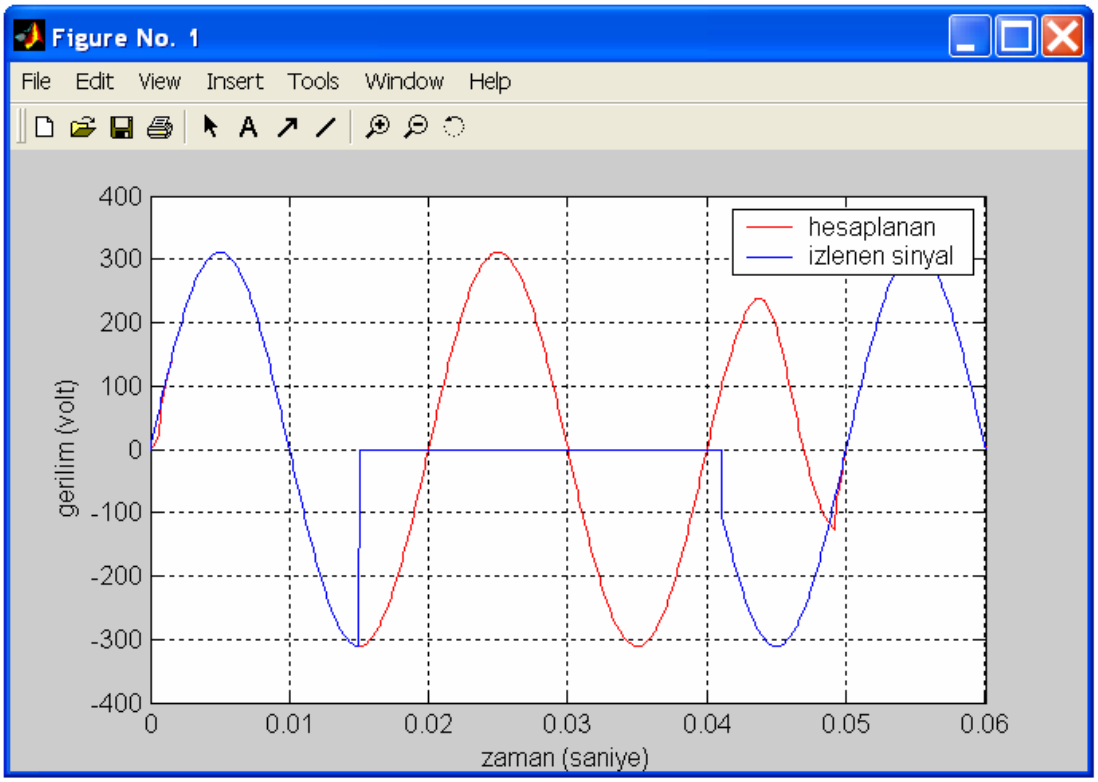
Şekil 3.22. λ =0,95 unutma faktörü değeri için algoritmanın tepkisi



Şekil 3.23. λ =0,99 unutma faktörü değeri için algoritmanın tepkisi



Şekil 3.24. R_1=0,01·I norm değeri için algoritmanın tepkisi



Şekil 3.25. R_1=0,001·I norm değeri için algoritma tepkisi

Tepki eğrilerinden de görüleceği gibi her iki yaklaşım için de izlenen sinyalin değerinin sıfır olduğu t=0,015 den sonra arka planda çalıştırılan sinüssel form çıkış olarak kullanılmıştır. Arka planda çalıştırılan sinüssel form sinyalin kesildiği andaki faz açısı değerini kullanır. Böylece izlenen sinyal ile arka planda çalışan sinüssel form kusursuz bir biçimde birbirini takip edebilmiştir. Sinyali, farklı bir faz açısıyla tekrar yükselmeye başladığı t=0,041 zamanından itibaren algoritma, arka planda çalıştırılan sinüssel formu izlenen sinyale adapte etmeye çalışır. Bu noktadan itibaren kullanılan yaklaşımlar ve bu yaklaşımların parametre hesabını belirleyen sabitler, adaptasyon süresini ve şeklini etkilemişlerdir. Bu adaptasyon sürecinde unutma faktörü yaklaşımı ile daha kısa sürede kilitlenme sağlanmıştır. Ancak belirtilen sinyal değişim sürecinde bu yaklaşım ile daha fazla harmonik üretildiği açıktır. Kalman filtresi yaklaşımı, sinyalin yukarıda belirtilen şartlardaki değişimine daha uzun sürede adaptasyon sağlamıştır fakat daha iyi bir geçiş sağlanmıştır.

Yukarıda tanımlanan sinyal değişimi, UPS'lerin kullanım amacına uygun bir durumu tanımlar. Bu yaklaşımda şebeke gerilimi kesildiğinde arka planda çalıştırılan sinüssel formdan elde edilecek bilgiler ile yük bir DA kaynaktan beslenebilir. Şebeke gerilimi tekrar geldikten ve kilitlenme sağlandıktan sonra yük tekrar şebekeye aktarılabilir.

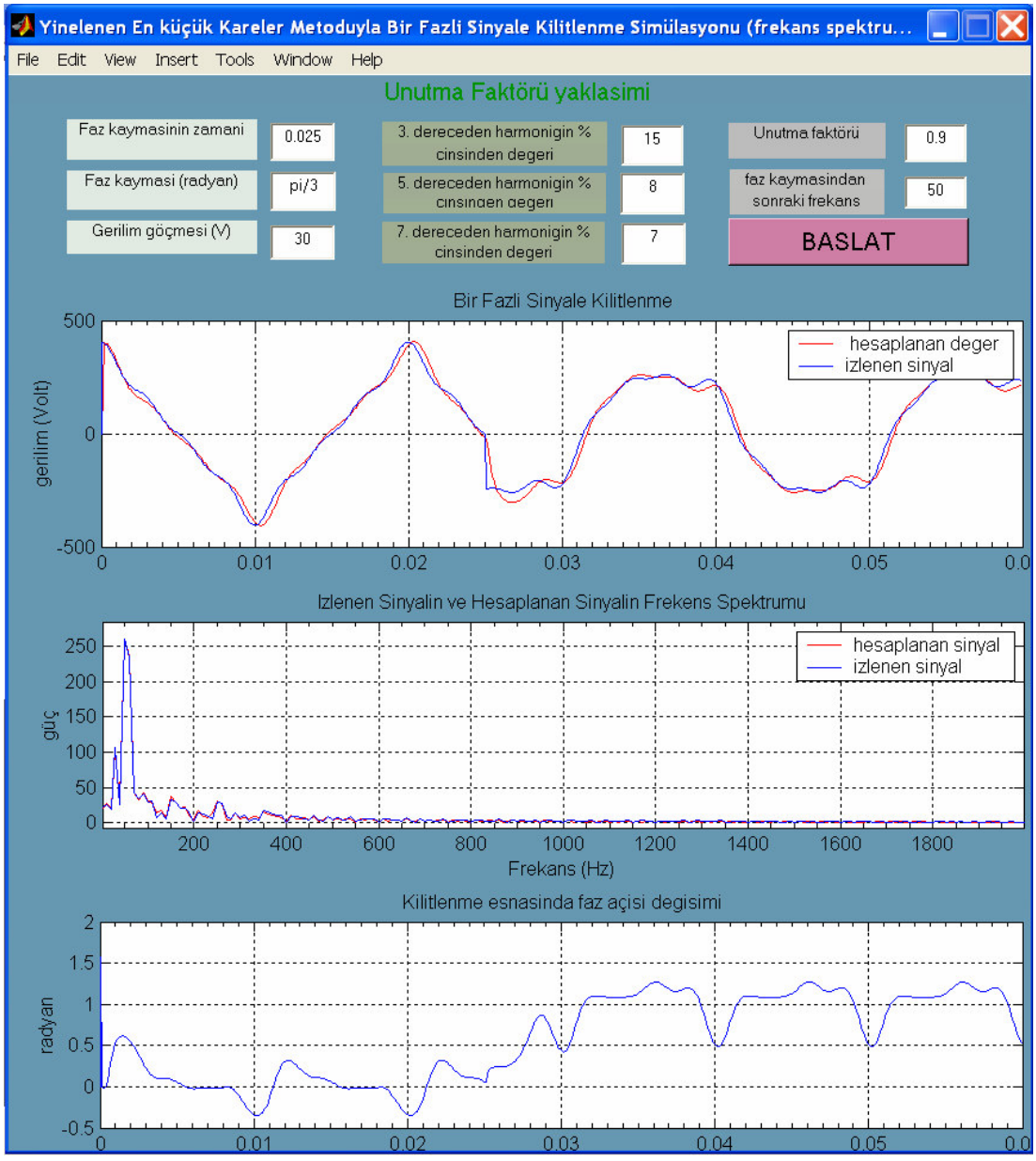
3.5. YEKK Metodu Algoritmasının Frekans Spektrumu İncelemesi

Bu bölümde YEKK metodunun unutma faktörü ve Kalman filtresi yaklaşımlarının, izlenen sinyaldeki faz açısı kayması ve gerilim göçmesi durumları için izlenen sinyal ile birlikte frekans analizi üzerinde durulmuştur.

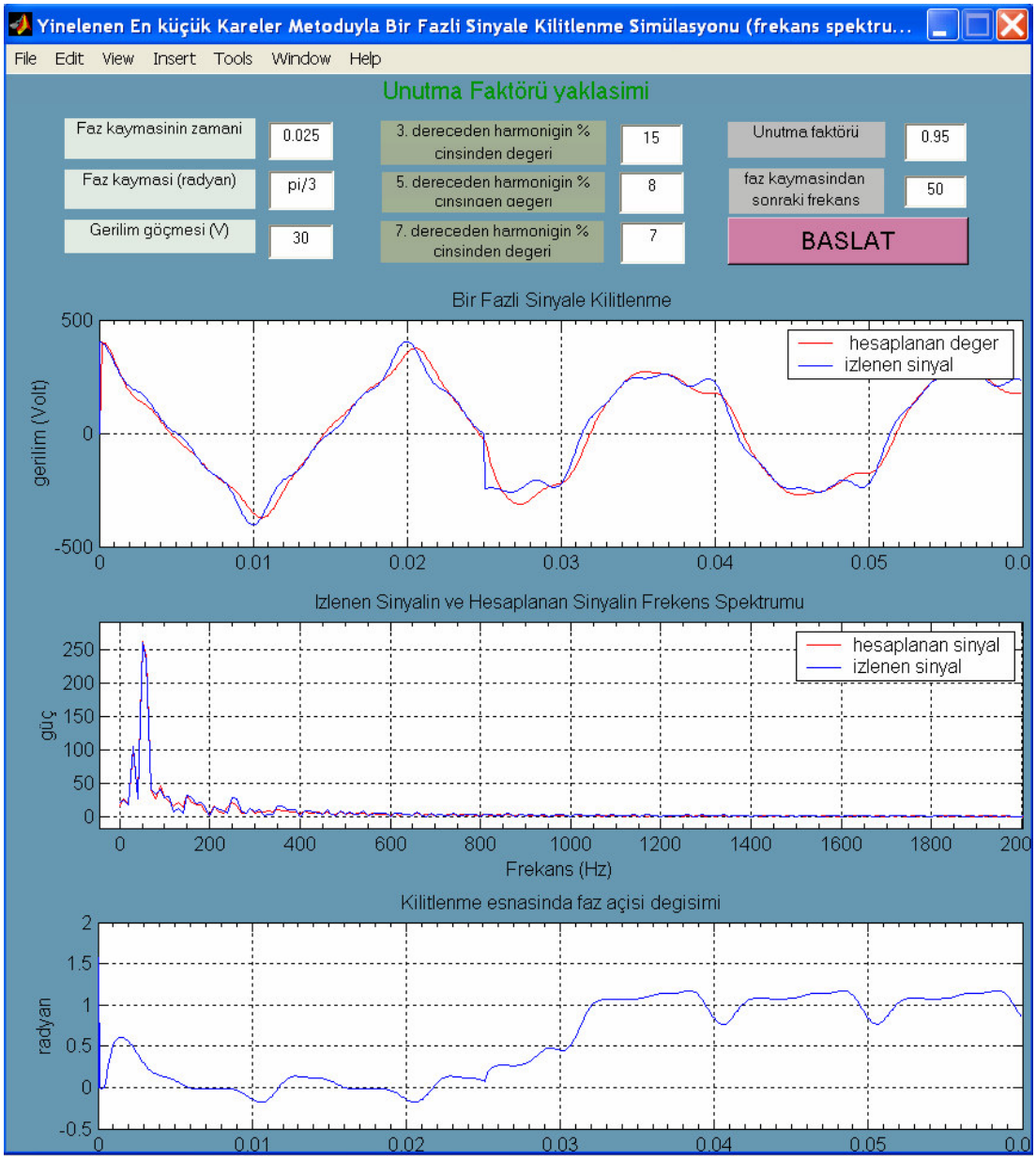
Sinyalde t=0,025 zamanında 60°'lik bir faz kayması ve 30V'luk bir gerilim göçmesi yaratılmıştır. Kullanılan sinyal örneği içerisinde %15 3. derece, %8 5. derece ve %7 7. derece harmonikler mevcuttur. Bu durumda hem izlenen sinyal hem de hesaplanan sinyalin frekans spektrumuna ait eğriler faz açısı değişimi eğrileri ile birlikte çizdirilmiştir. YEKK metodunun unutma faktörü ve Kalman filtresi yaklaşımları için algoritmaların tepkisinde belirleyici bir etkiye sahip olan R_1 matrisinin norm değerinin ve unutma faktörünün farklı değerleri için eğriler çizdirilip değerlerdeki farklılığın frekans spektrumunda nasıl bir değişime sebep olduğu incelenmiştir. Öncelikle unutma faktörü λ'nın farklı değerleri için frekans spektrumu incelenecektir. Daha sonra ise Kalman filtresi yaklaşımında R_1 matrisinin farklı norm değerleri için frekans spektrumu incelenecektir.

3.5.1. Unutma faktörü yaklaşımının frekans spektrumu

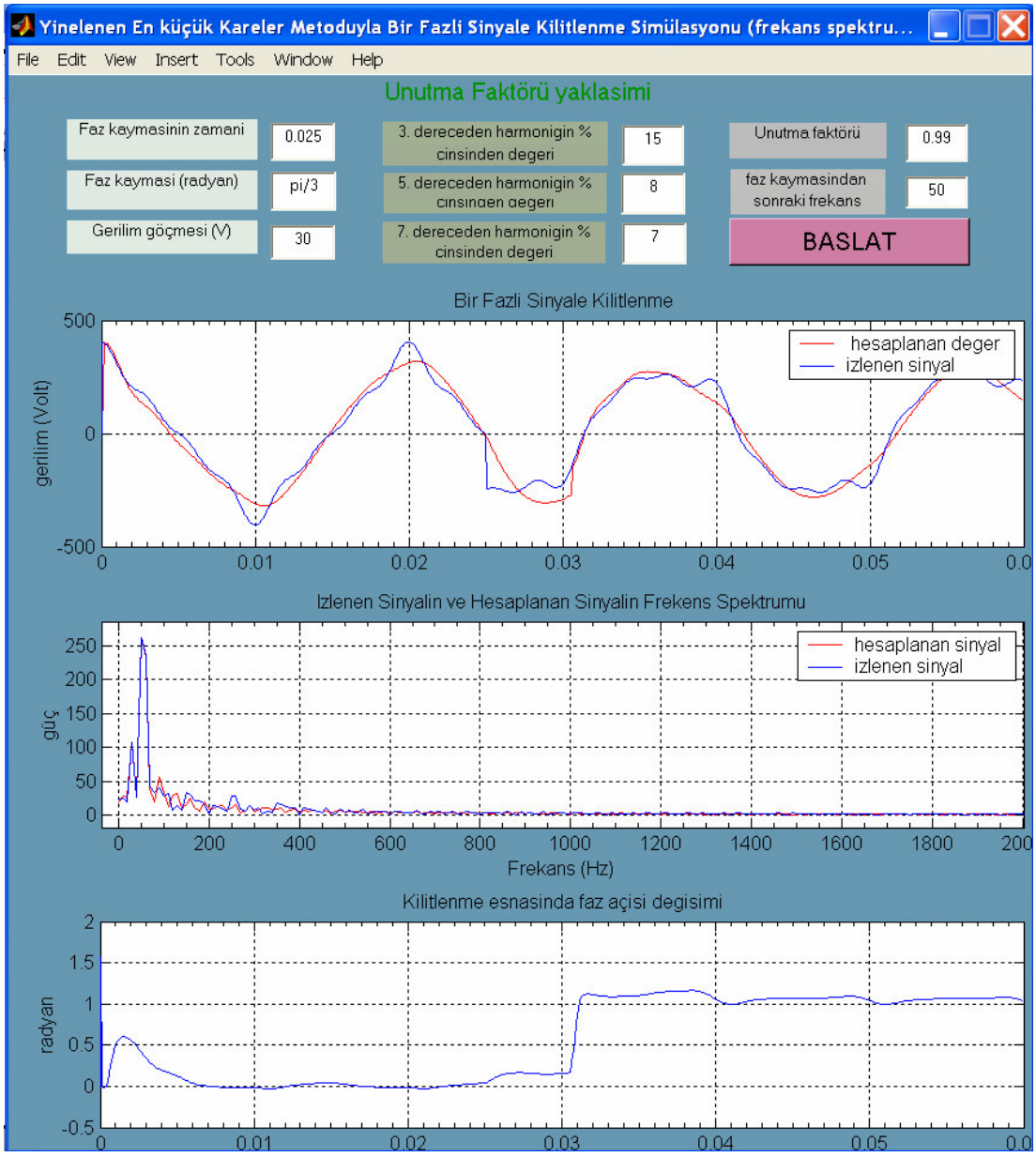
Unutma faktörü yaklaşımında λ'nın 0,9, 0,95 ve 0,99 değerleri için izlenen sinyal ile hesaplanan değerinin frekans spektrumu eğrileri aşağıdaki gibi olmuştur.



Şekil 3.26. λ=0,9 değeri için izlenen sinyal ile hesaplanan değerinin frekans spektrumu ile faz açısı değişimi



Şekil 3.27. λ=0,95 değeri için izlenen sinyal ile hesaplanan değerinin frekans spektrumu ile faz açısı değişimi



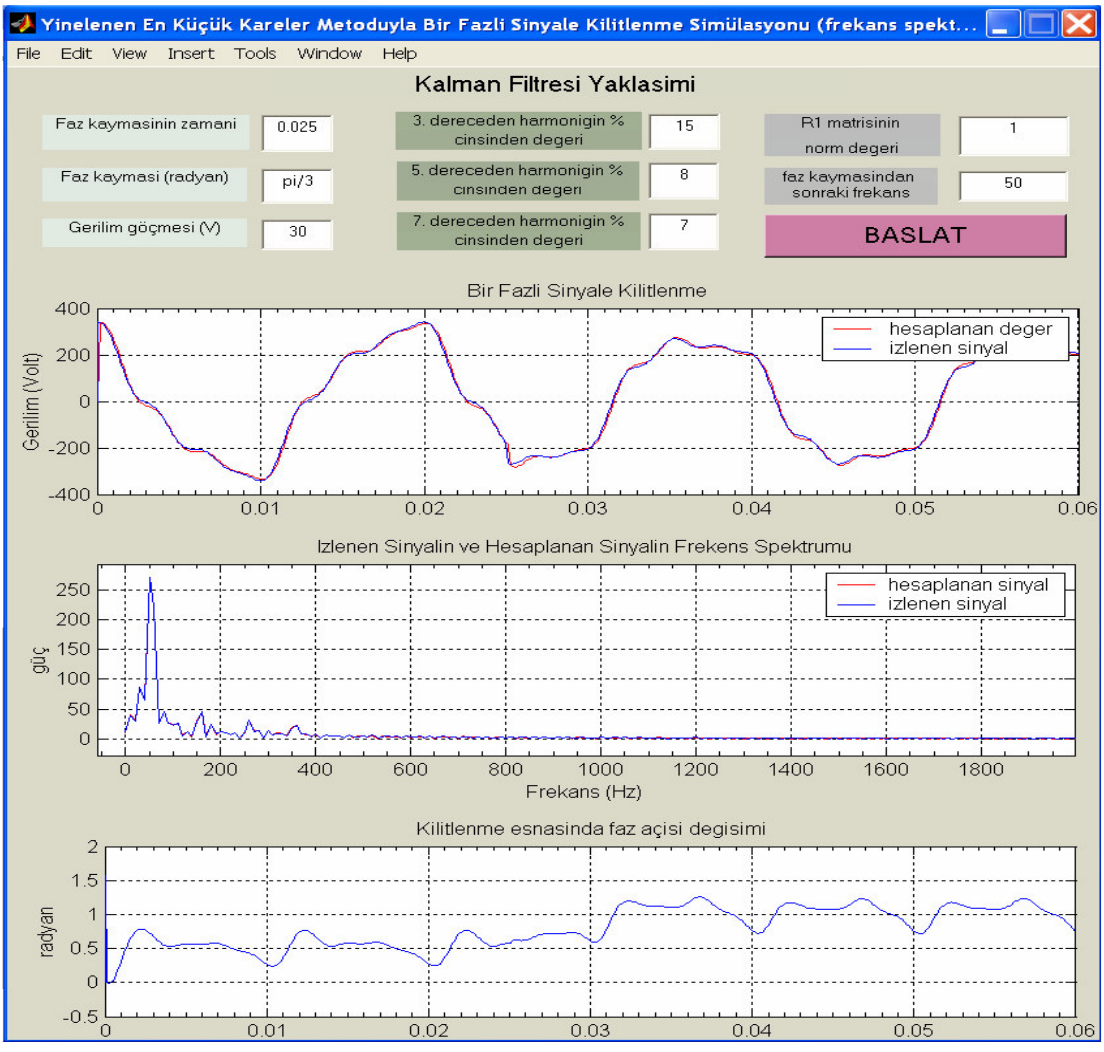
Şekil 3.28. λ=0,99 değeri için izlenen sinyal ile hesaplanan değerinin frekans spektrumu ile faz açısı değişimi

Yukarıdaki program çıktılarından da görüldüğü gibi unutma faktörünün küçük değerleri için hesaplanan sinyalin frekans spektrumu izlenen sinyalin frekans spektrumuna yaklaşmaktadır. Unutma faktörünün 1'e yaklaşan değerleri için hesaplanan sinyalin frekans spektrumu izlenen sinyalin frekans spektrumundan uzaklaşmaktadır. Unutma faktörünün 1'e yaklaşan değerleri için program çıktıları incelendiğinde 3., 5. ve 7. dereceden harmonik bileşenlerinin gücünün azaldığı

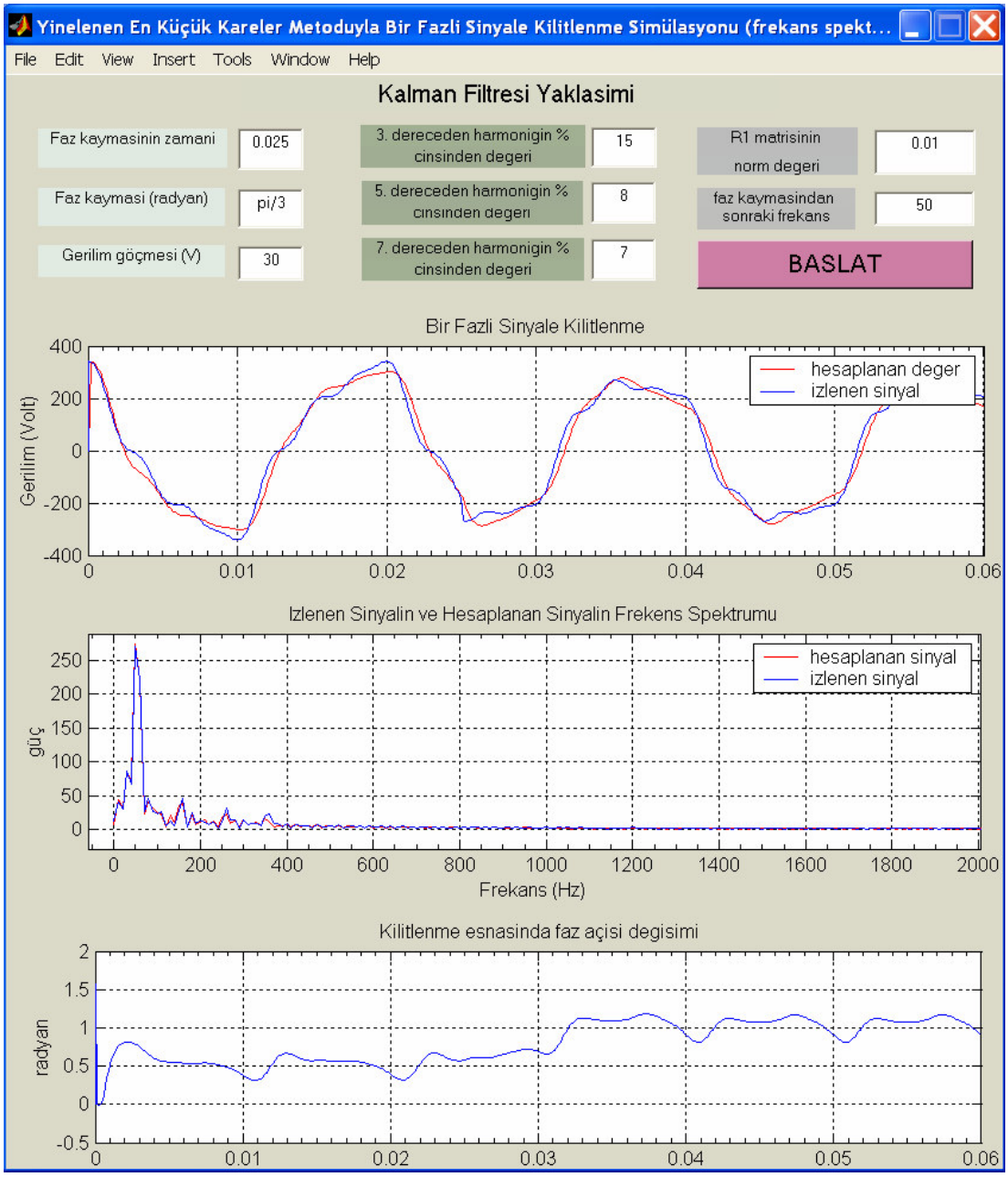
gözlenmiştir. Bu ise Torsten Söderström'ün unutma faktörünün 1'e yaklaşan değerleri için harmonik duyarsızlığın arttığı görüşünü desteklemektedir. Uygulama alanına göre unutma faktörünün frekans spektrumu üzerindeki bu etkisi de dikkate alınarak unutma faktörünün değeri kullanıcı tarafından seçilmesi gerekir.

3.5.2. Kalman filtresi yaklaşımının frekans spektrumu

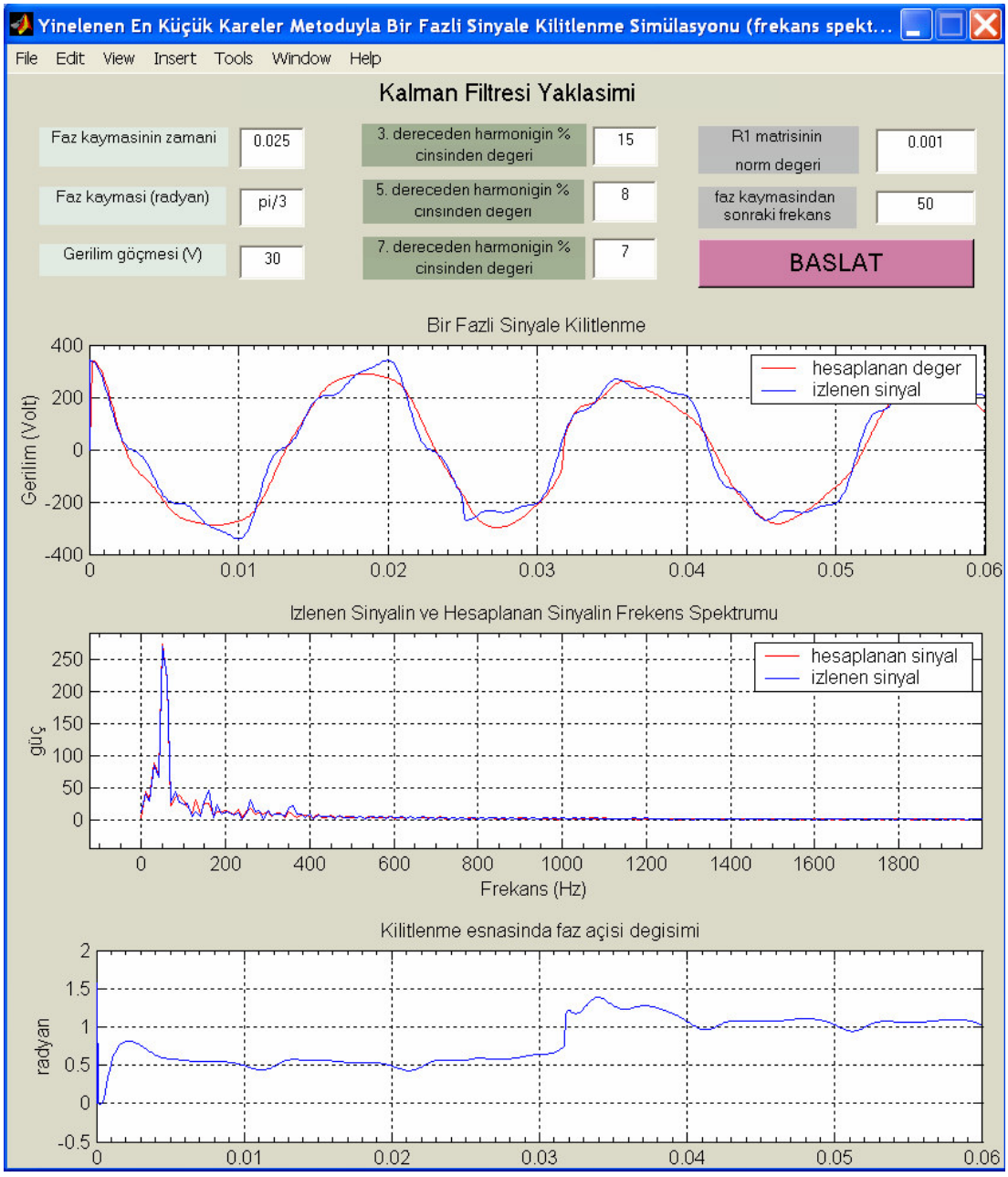
Kalman filtresi yaklaşımında R_1 matrisinin $1 \cdot I$, $0{,}01 \cdot I$ ve $0{,}001 \cdot I$ norm değerleri için izlenen sinyal ile hesaplanan değerinin frekans spektrumu eğrileri aşağıdaki gibi olmuştur.



Şekil 3.29. R_1=$1 \cdot I$ norm değeri için izlenen sinyal ile hesaplanan değerinin frekans spektrumu ile faz açısı değişimi



Şekil 3.30. R_1=0,01·I norm değeri için izlenen sinyal ile hesaplanan değerinin frekans spektrumu ile faz açısı değişimi



Şekil 3.31. R_1=0,01·I norm değeri için izlenen sinyal ile hesaplanan değerinin frekans spektrumu ile faz açısı değişimi

Yukarıdaki program çıktılarından da görüldüğü gibi R_1 matrisinin 1 değeri için hesaplanan sinyalin frekans spektrumu izlenen sinyalin frekans spektrumuna çok yakındır. R_1 matris normunun 1'den küçük değerleri için hesaplanan sinyalin frekans spektrumu izlenen sinyalin frekans spektrumundan uzaklaşmaktadır. R_1 matrisinin norm değerinin 0'a yaklaşan değerleri için program çıktıları incelendiğinde 3., 5. ve

7. dereceden harmonik bileşenlerinin gücünün azaldığı gözlenmiştir. Bu daha önce de belirtildiği gibi harmonik duyarsızlığı arttırmıştır. Uygulama alanına göre R_1 matrisi, norm değerindeki farklılıkların frekans spektrumu üzerindeki etkisi dikkate alınarak kullanıcı tarafından seçilmelidir.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Faz açısı kaymaları, gerilim göçmeleri, bozucu harmonik etkiler, ani ve kısa süreli gerilim sıçramaları gibi bir fazlı şebekede olabilecek durumlar için YEKK metodunun unutma faktörü ve Kalman filtresi yaklaşımlarına göre simülasyonlar gerçekleştirilmiştir.

Bu simülasyon çalışmasında unutma faktörü λ'nın 0,9'dan küçük değerleri için algoritmanın hesapladığı değerlerin izlenen sinyaldeki değişimleri iyi bir şekilde takip edebildiği görülmüştür. λ'nın değeri 1'e yaklaştıkça hesaplanan değerler izlenen sinyalden uzaklaşmaktadır. Bu da kaynaklarda yazılanları desteklemektedir. λ'nın 0,95-0,999 değerleri için sinyaldeki değişimlere yavaş tepki verdiği ve bunun sonucunda da bu değişimlerde yumuşak geçişlerin sağlandığı görülmüştür. Ayrıca λ'nın 0,95-0,999 değerleri için yapılan frekans spektrumu analizinde bozucu harmonik etkilerin belirli ölçülerde bastırıldığı gözlemlenmiştir. Bu yaklaşımda unutma faktörü, algoritmanın tepki hızına etki eden bir faktördür.

Kalman filtresi yaklaşımında algoritmanın tepkisinde belirleyici bir etkiye sahip olan R_1 matrisinin norm değerinin 0'a yaklaşan değerleri için hesaplanan değerler izlenen sinyalden uzaklaşmaktadır. R_1'in 0,1'den büyük değerleri için algoritma izlenen sinyaldeki değişimleri iyi bir şekilde takip etmiştir. R_1'in 0,01 norm değerinden küçük değerleri için algoritmanın değişimlere tepkisi belirgin bir şekilde yavaşlamıştır. Ancak sinyaldeki bu değişimlere yumuşak geçişler sağlanmıştır. Yapılan frekans spektrumu analizlerinde R_1'in 0,01'den küçük değerleri için bozucu harmonik etkilerin belirli ölçülerde bastırıldığı gözlenmiştir. Bu yaklaşımdaki R_1'in norm değerinin algoritma tepkisine etkisi unutma faktörü yaklaşımındaki λ'nın etkisine benzer bir etki göstermiştir.

Her iki yaklaşım için de sinyaldeki büyük hatalarda P kovaryans matrisi norm değerinin ayarlanması algoritmanın tepki hızını arttırmaktadır. Bu da Song, Nam ve Mutschler'in çalışmalarını desteklemektedir.

R_1 matrisinin norm değeri ve unutma faktörünün değerleri algoritmanın tepkisine etki ederler. Sinyaldeki değişimlerin çoğu uygulama için olabildiğince hızlı bir şekilde takip edilmesi istenir. Ancak bazı uygulamalar için bu böyle değildir. Bu algoritmanın bir UPS'te PWM üretece bilgi sağladığını düşündüğümüzde şebeke gerilimi tekrar sağlıklı bir şekilde geldiğinde şebeke gerilimine yumuşak bir şekilde uyum sağlaması elbette ki daha iyi olacaktır. Dolayısıyla bu metotları sistem modellemelerinde kullanacaklar R_1 matrisinin norm değerini ve unutma faktörü değerini uygulama alanlarına göre belirlemelidir. Uygun değerlerin belirlenmesi simülasyon veya deneysel sonuçlara göre olabileceği gibi optimizasyon teknikleri kullanılarak da yapılabilir.

KAYNAKLAR

1. Song, H., Nam, K., Mutschler, P., "Very Fast Phase Angel Estimation Algorithm For A Single Phase System Having Sudden Phase Angel Jumps", ***Conference Record of 2002 IEEE Industry Aplications***, 925-931(2002)

2. Chung, S. "A Phase Tracking System For Three Phase Utility Interface Inverters", ***IEEE Transactions On Power Electronics***, 15(3): 431-438 (2000)

3. Torun, S. "Uyku EEG'sinde Karşılaşılan İğciklerin (Spindle) Sezimi Üzerine Bir Çalışma", Yüksek Lisans Tezi, ***Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, Ankara, 1-12, 20-26, 39-57 (2005)

4. Özer, Ş., Sarıoğlu, Ş., Kaplan, A., "Ar Sistem Modelinde Farklı Algoritmaların Karşılaştırılması", ***Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi***, 19(4): 431-436 (2004)

5. Söderström, T., Stoica, P., "System Identification", ***Printice Hall***, New York, 60-95, 320-350 (1989).

6. Akın, Ö. "Nümerik Analiz", ***Ankara Üniversitesi Basımevi***, Ankara, 158-164 (1998)

7. Söderström, T. "Discrete-time Stochastic Systems", ***Spring-Verlag London Limited***", London, 137-144 (2002)

8. Uzunoğlu, M., Kızıl, A., Onar, Ö. "Matlab Grafiksel Kullanıcı Arayüzü", "Kolay Anlatımı ile Matlab 6.0-6.5", ***Türkmen Kitabevi***, İstanbul, 1-119 (2002)

9. Çetin, E. "Matlab 6.5", ***Alfa Basım Yayım Dağıtım Ltd. Şti***.", İstanbul, 157-192, 246-265 (2003)

EKLER

EK-1 YEKK Metodunun Unutma Faktörü Yaklaşımı İle Bir Fazlı Sinyale Kilitlenme Simülasyonunun Arayüz Yazılımı

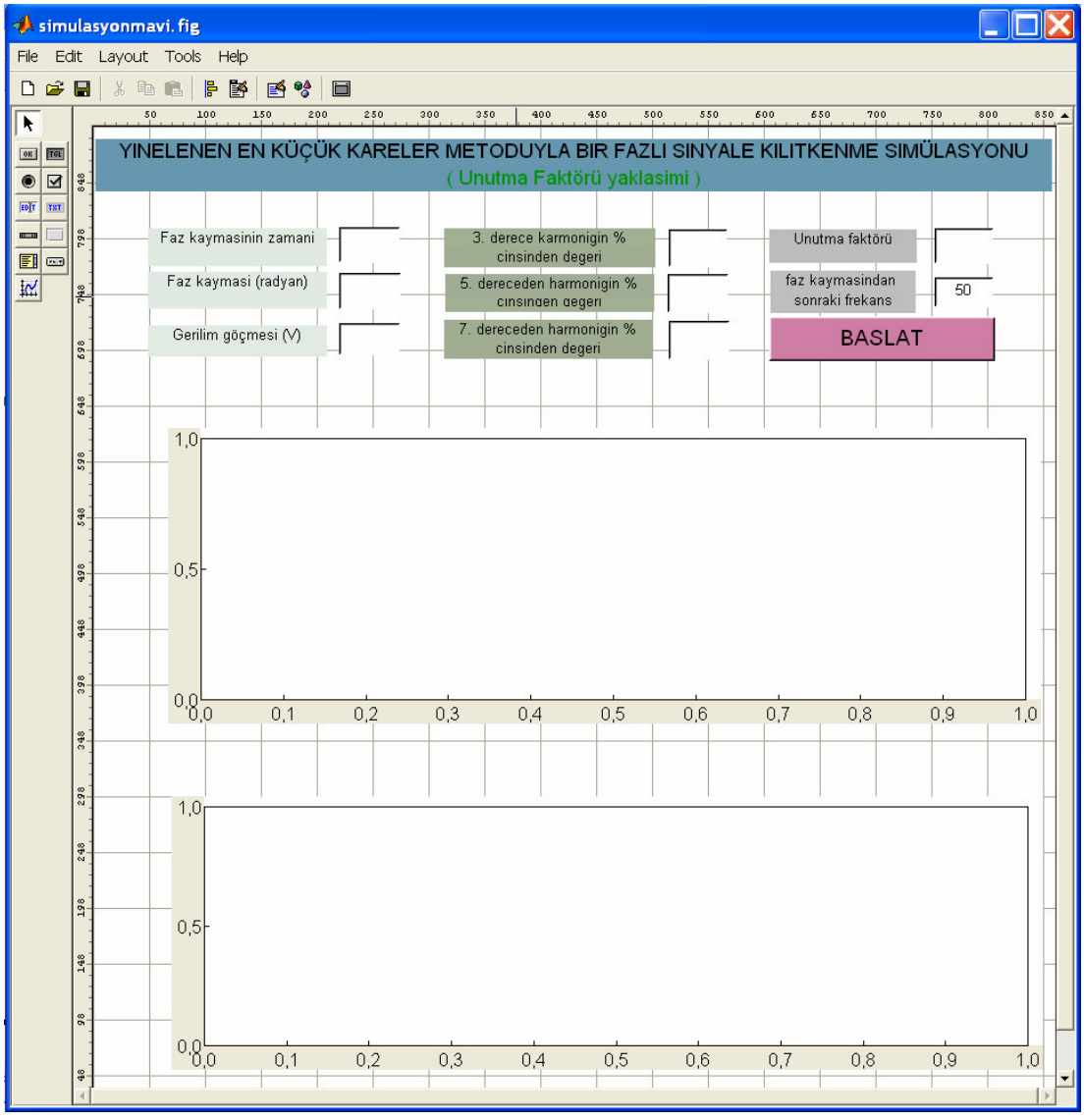
```
function varargout = simulasyonmavi(varargin)
% SIMULASYONMAVI Application M-file for simulasyonmavi.fig
%    FIG = SIMULASYONMAVI launch simulasyonmavi GUI.
%    SIMULASYONMAVI('callback_name', ...) invoke the named callback.
% Last Modified by GUIDE v2.0 07-Aug-2005 23:37:31
if nargin == 0  % LAUNCH GUI
fig = openfig(mfilename,'reuse');
handles = guihandles(fig);
guidata(fig, handles);
if nargout > 0
        varargout{1} = fig;
end
elseif ischar(varargin{1})
        try
                [varargout{1:nargout}] = feval(varargin{:}); % FEVAL switchyard
        catch
                disp(lasterr);
        end
end
str1=findobj(gcbf,'tag','edit1');
tk=get(str1,'string');
tk=str2num(tk);
str2=findobj(gcbf,'tag','edit2');
tetax=get(str2,'string');
tetax=str2num(tetax);
str3=findobj(gcbf,'tag','edit3');
V=get(str3,'string');
V=str2num(V);
str4=findobj(gcbf,'tag','edit4');
```

```
huc=get(str4,'string');
huc=str2num(huc);
str5=findobj(gcbf,'tag','edit5');
hbes=get(str5,'string');
hbes=str2num(hbes);
str6=findobj(gcbf,'tag','edit6');
hyedi=get(str6,'string');
hyedi=str2num(hyedi);
str7=findobj(gcbf,'tag','edit7');
lamda=get(str7,'string');
lamda=str2num(lamda);
str8=findobj(gcbf,'tag','edit8');
f1=get(str8,'string');
f1=str2num(f1);
clear
clc
A=311.1;
i=1;
w=0;
teta=(-pi/2);
f=50;
ed=1;
eq=0;
E=0;
x(2,1)=1;
x(2,2)=0;
h=0;
r=0;
teta=0;
p=eye(2,2);
for t=0:1/10240:0.06
   if t>tk
```

```
        teta=tetax;
        f=f1;
        A=311.1-V;
    end
i=i+1;
s(i)=t;
w=(2*f*pi);
m=A*(cos((w*t)+teta)+(huc/100)*cos(3*w*t)+(hbes/100)*cos(5*w*t)+(hyedi/100)*
cos(7*w*t));
n(i)=m;
ed=x(1,1);
eq=x(2,1);
x=[ed;eq];
h=[cos(w*t) -sin(w*t)];
E=h*x;
e(i)=E
r=1+h*p*h';
k=p*h'*r^-1;
x=x+k*(m-E);
p=(lamda^-1)*p-((lamda^-1)*k*h*p);
hata(i)=(m-E);
if (m-E)>100
        p=300*eye(2,2);
end
teta1=atan2(eq,ed);
teta2(i)=teta1;
end
axes(handles.axes6)
plot(s,e,'r',s,n,'b')
grid on
title(' Bir Fazli Sinyale Kilitlenme')
ylabel('gerilim (Volt)')
```

```
legend(' hesaplanan deger','izlenen sinyal')
set(handles.axes6,'xminortick','on')
axes(handles.axes7)
comet(s,teta2)
plot(s,teta2)
grid on
title(' Kilitlenme esnasinda faz açisi degisimi')
ylabel('radyan')
set(handles.axes7,'xminortick','on')
```

EK-2 YEKK Metodunun Unutma Faktörü Yaklaşımı İle Bir Fazlı Sinyale Kilitlenme Simülasyonunun Arayüzü



EK-3 YEKK Metodunun Kalman Filtresi Yaklaşımı İle Bir Fazlı Sinyale Kilitlenme Simülasyonunun Arayüz Yazılımı

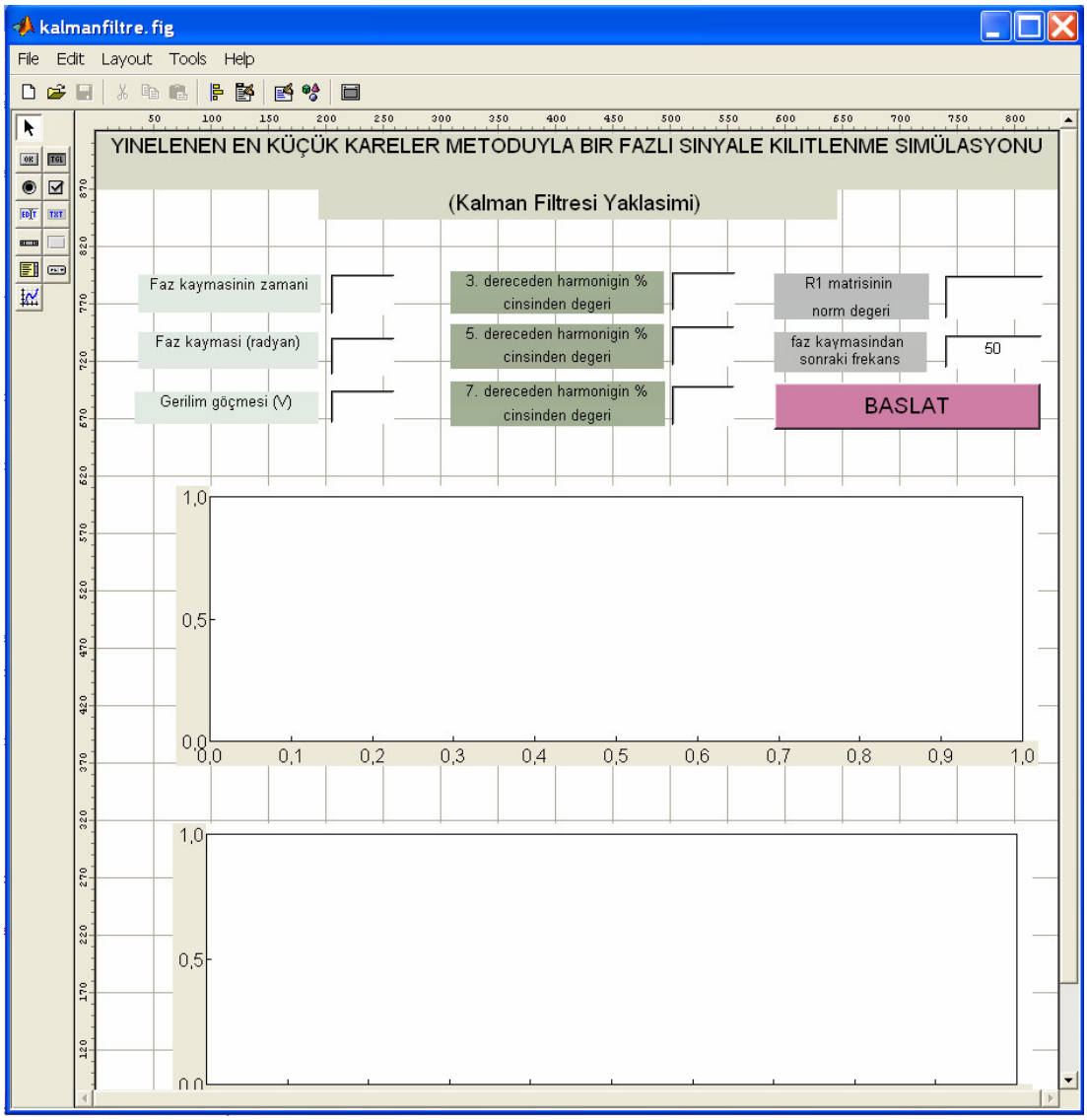
```
function varargout = Kalmanfiltre(varargin)
% KALMANFILTRE Application M-file for Kalmanfiltre.fig
%    FIG = KALMANFILTRE launch Kalmanfiltre GUI.
%    KALMANFILTRE('callback_name', ...) invoke the named callback.
% Last Modified by GUIDE v2.0 08-Aug-2005 00:53:11
if nargin == 0  % LAUNCH GUI
        fig = openfig(mfilename,'reuse');
        handles = guihandles(fig);
        guidata(fig, handles);
        if nargout > 0
                varargout{1} = fig;
        end
elseif ischar(varargin{1})
        try
                [varargout{1:nargout}] = feval(varargin{:}); % FEVAL switchyard
        catch
                disp(lasterr);
        end
end
str1=findobj(gcbf,'tag','edit1');
tk=get(str1,'string');
tk=str2num(tk);
str2=findobj(gcbf,'tag','edit2');
tetax=get(str2,'string');
tetax=str2num(tetax);
str3=findobj(gcbf,'tag','edit3');
V=get(str3,'string');
V=str2num(V);
str4=findobj(gcbf,'tag','edit4');
```

```
huc=get(str4,'string');
huc=str2num(huc);
str5=findobj(gcbf,'tag','edit5');
hbes=get(str5,'string');
hbes=str2num(hbes);
str6=findobj(gcbf,'tag','edit6');
hyedi=get(str6,'string');
hyedi=str2num(hyedi);
str7=findobj(gcbf,'tag','edit7');
R1=get(str7,'string');
R1=str2num(R1);
str8=findobj(gcbf,'tag','edit8');
f1=get(str8,'string');
f1=str2num(f1);
clear
clc
A=311.1;
i=1;
w=0;
teta=0;
f=50;
ed=0;
eq=0;
E=0;
x(2,1)=1;
x(2,2)=0;
h=0;
r=0;
teta1=0;
teta=pi/2;
p=eye(2,2);
for t=0:0.0001:0.06
```

```
    if t>tk
        teta=tetax;
        f=f1;
        A=311.1-V;
    end
i=i+1;
s(i)=t;
w=(2*f*pi);
m=A*(cos((w*t)+teta)+(huc/100)*cos(3*w*t)+(hbes/100)*cos(5*w*t)+(hyedi/100)*
sin(7*w*t));
 n(i)=m
ed=x(1,1);
eq=x(2,1);
x=[ed;eq];
h=[cos(w*t) -sin(w*t)];
E=h*x;
e(i)=E;
k=(p*h')/(1+ h*p*h');
p=p-p*h'*h*p/(1+h*p*h')+R1*eye(2,2);
hata(i)=(m-E);
hata1=m-E;
if hata1>100
p=300*eye(2,2);
end
x=x+k*(m-E);
teta1=atan2(eq,ed);
teta2(i)=teta1;
end
axes(handles.axes2)
plot(s,e,'r',s,n','b')
ylabel('Gerilim (Volt)')
title(' Bir Fazli Sinyale Kilitlenme ')
```

```
legend(' hesaplanan deger' , ' izlenen sinyal')
grid on
set(handles.axes2,'xminortick','on')
axes(handles.axes1)
comet(s,teta2)
plot(s,teta2)
grid on
title(' Kilitlenme esnasinda faz açisi degisimi')
ylabel('radyan')
set(handles.axes1,'xminortick','on')
```

EK-4 YEKK Metodunun Kalman Filtresi Yaklaşımı İle Bir Fazlı Sinyale Kilitlenme Simülasyonunun Arayüzü



EK-5 YEKK Metodunun Unutma Faktörü Yaklaşımıyla Gerçekleştirilen Bir Fazlı Sinyale Kilitlenme Simülasyonunun Frekans Spektrumu Arayüzünün Yazılımı

```
function varargout = simulasyonmavi_fft(varargin)
% SIMULASYONMAVI_FFT Application M-file for simulasyonmavi_fft.fig
%    FIG = SIMULASYONMAVI_FFT launch simulasyonmavi_fft GUI.
%    SIMULASYONMAVI_FFT('callback_name', ...) invoke the named callback.
% Last Modified by GUIDE v2.0 07-Aug-2005 23:37:31
if nargin == 0  % LAUNCH GUI
        fig = openfig(mfilename,'reuse');
        handles = guihandles(fig);
        guidata(fig, handles);
        if nargout > 0
                varargout{1} = fig;
        end
elseif ischar(varargin{1})
        try
                [varargout{1:nargout}] = feval(varargin{:}); % FEVAL switchyard
        catch
                disp(lasterr);
        end
end
str1=findobj(gcbf,'tag','edit1');
tk=get(str1,'string');
tk=str2num(tk);
str2=findobj(gcbf,'tag','edit2');
tetax=get(str2,'string');
tetax=str2num(tetax);
str3=findobj(gcbf,'tag','edit3');
V=get(str3,'string');
```

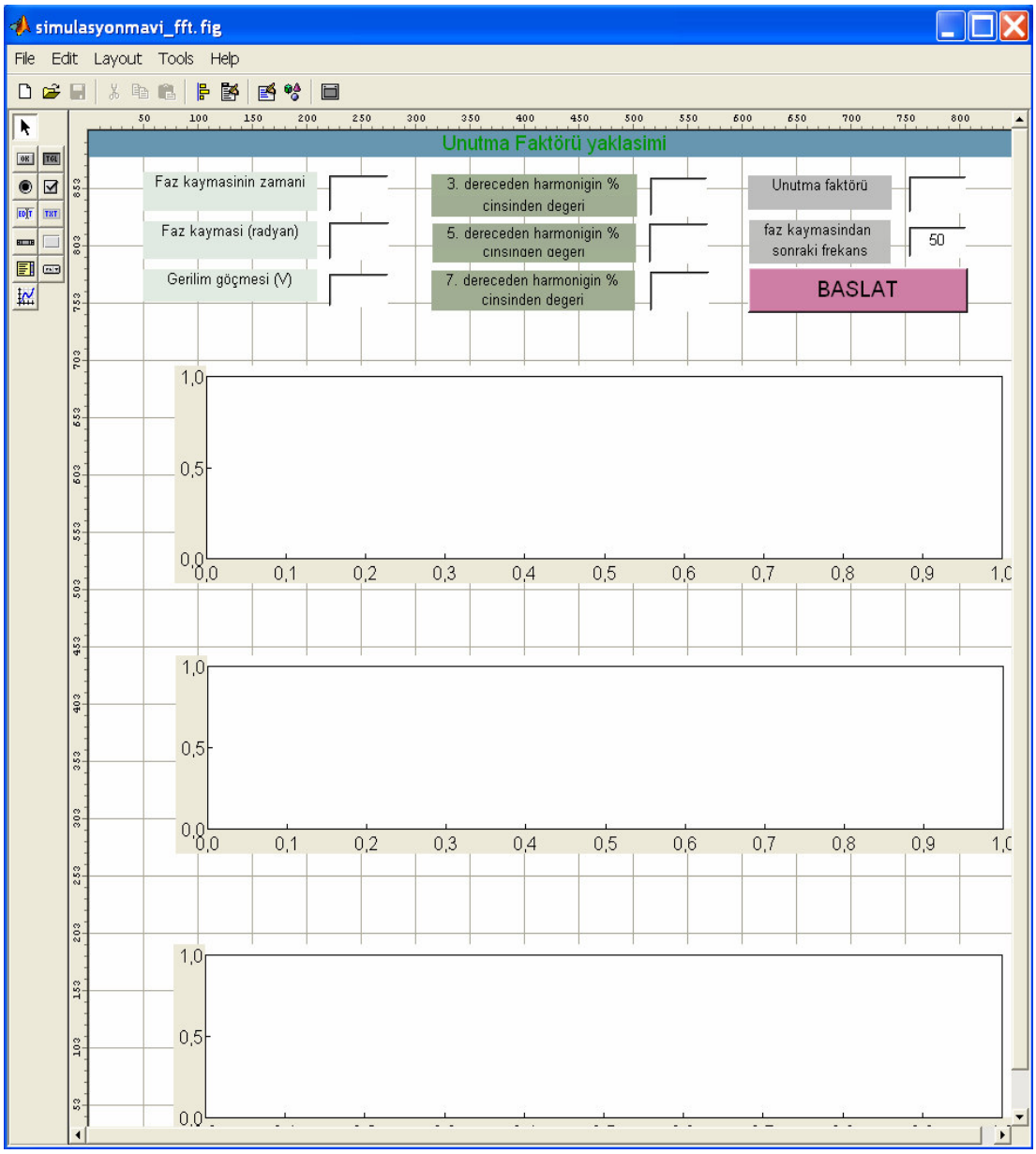
```
V=str2num(V);
str4=findobj(gcbf,'tag','edit4');
huc=get(str4,'string');
huc=str2num(huc);
str5=findobj(gcbf,'tag','edit5');
hbes=get(str5,'string');
hbes=str2num(hbes);
str6=findobj(gcbf,'tag','edit6');
hyedi=get(str6,'string');
hyedi=str2num(hyedi);
str7=findobj(gcbf,'tag','edit7');
lamda=get(str7,'string');
lamda=str2num(lamda);
str8=findobj(gcbf,'tag','edit8');
f1=get(str8,'string');
f1=str2num(f1);
clear
clc
A=311.1;
i=1;
w=0;
teta=(-pi/2);
f=50;
ed=1;
eq=0;
E=0;
x(2,1)=1;
x(2,2)=0;
h=0;
r=0;
teta=0;
p=eye(2,2);
```

```
for t=0:1/10240:0.06
if t>tk
    teta=tetax;
    f=f1;
    A=311.1-V;
end
i=i+1;
s(i)=t;
w=(2*f*pi);
m=A*(cos((w*t)+teta)+(huc/100)*cos(3*w*t)+(hbes/100)*cos(5*w*t)+(hyedi/100)*
cos(7*w*t));
n(i)=m;
ed=x(1,1);
eq=x(2,1);
x=[ed;eq];
h=[cos(w*t) -sin(w*t)];
E=h*x;
e(i)=E;
r=1+h*p*h';
k=p*h'*r^-1;
x=x+k*(m-E);
p=(lamda^-1)*p-((lamda^-1)*k*h*p);
hata(i)=(m-E);
if (m-E)>100
    p=300*eye(2,2);
end
teta1=atan2(eq,ed);
teta2(i)=teta1;
end
axes(handles.axes6)
plot(s,e,'r',s,n,'b')
grid on
```

```
title(' Bir Fazli Sinyale Kilitlenme')
ylabel('gerilim (Volt)')
legend(' hesaplanan deger','izlenen sinyal')
set(handles.axes6,'xminortick','on')
axes(handles.axes7)
comet(s,teta2)
plot(s,teta2)
grid on
title(' Kilitlenme esnasinda faz açisi degisimi')
ylabel('radyan')
set(handles.axes7,'xminortick','on')
Fs=10240;
t = 0:1/Fs:1;
NFFT= 2^(nextpow2(length(e)));
FFTX = fft(e,NFFT);
NumUniquePts = ceil((NFFT+1)/2);
FFTX = FFTX(1:NumUniquePts);
MX = abs(FFTX);
MX = MX/length(e);
MX = MX.^2;
MX = MX*2;
MX(1) = MX(1)/2;
if ~rem(NFFT,2)
   MX(end) = MX(end)/2;
end
f = (0:NumUniquePts-1)*Fs/NFFT;
ff=f;
MXX=MX;
Fs=10240;
t = 0:1/Fs:1;
NFFT= 2^(nextpow2(length(n)));
FFTX = fft(n,NFFT);
```

```
NumUniquePts = ceil((NFFT+1)/2);
FFTX = FFTX(1:NumUniquePts);
MX = abs(FFTX);
MX = MX/length(n);
MX = MX.^2;
MX = MX*2;
MX(1) = MX(1)/2;
if ~rem(NFFT,2)
   MX(end) = MX(end)/2;
end
f = (0:NumUniquePts-1)*Fs/NFFT;
axes(handles.axes9)
plot(ff,MXX,'r',f,MX)
grid on
title('Izlenen Sinyalin ve Hesaplanan Sinyalin Frekens Spektrumu');
xlabel('Frekans (Hz)');
ylabel('güç');
legend('hesaplanan sinyal','izlenen sinyal')
set(handles.axes9,'xminortick','on')
```

EK-6. YEKK Metodunun Unutma Faktörü Yaklaşımıyla Gerçekleştirilen Bir Fazlı Sinyale Kilitlenme Simülasyonunun Frekans Spektrumu Arayüzü



EK-7. YEKK Metodunun Kalman Filtresi Yaklaşımıyla Gerçekleştirilen Bir Fazlı Sinyale Kilitlenme Simülasyonunun Frekans Spektrumu Arayüzünün Yazılımı

```
function varargout = Kalmanfiltre(varargin)
% KALMANFILTRE Application M-file for Kalmanfiltre.fig
%    FIG = KALMANFILTRE launch Kalmanfiltre GUI.
%    KALMANFILTRE('callback_name', ...) invoke the named callback.
% Last Modified by GUIDE v2.0 08-Aug-2005 00:53:11
if nargin == 0  % LAUNCH GUI
        fig = openfig(mfilename,'reuse');
        Handles = guihandles(fig);
        guidata(fig, handles);
        if nargout > 0
                varargout{1} = fig;
        end
elseif ischar(varargin{1})
        try
                [varargout{1:nargout}] = feval(varargin{:}); % FEVAL switchyard
        catch
                disp(lasterr);
        end
end
str1=findobj(gcbf,'tag','edit1');
tk=get(str1,'string');
tk=str2num(tk);
str2=findobj(gcbf,'tag','edit2');
tetax=get(str2,'string');
tetax=str2num(tetax);
str3=findobj(gcbf,'tag','edit3');
V=get(str3,'string');
```

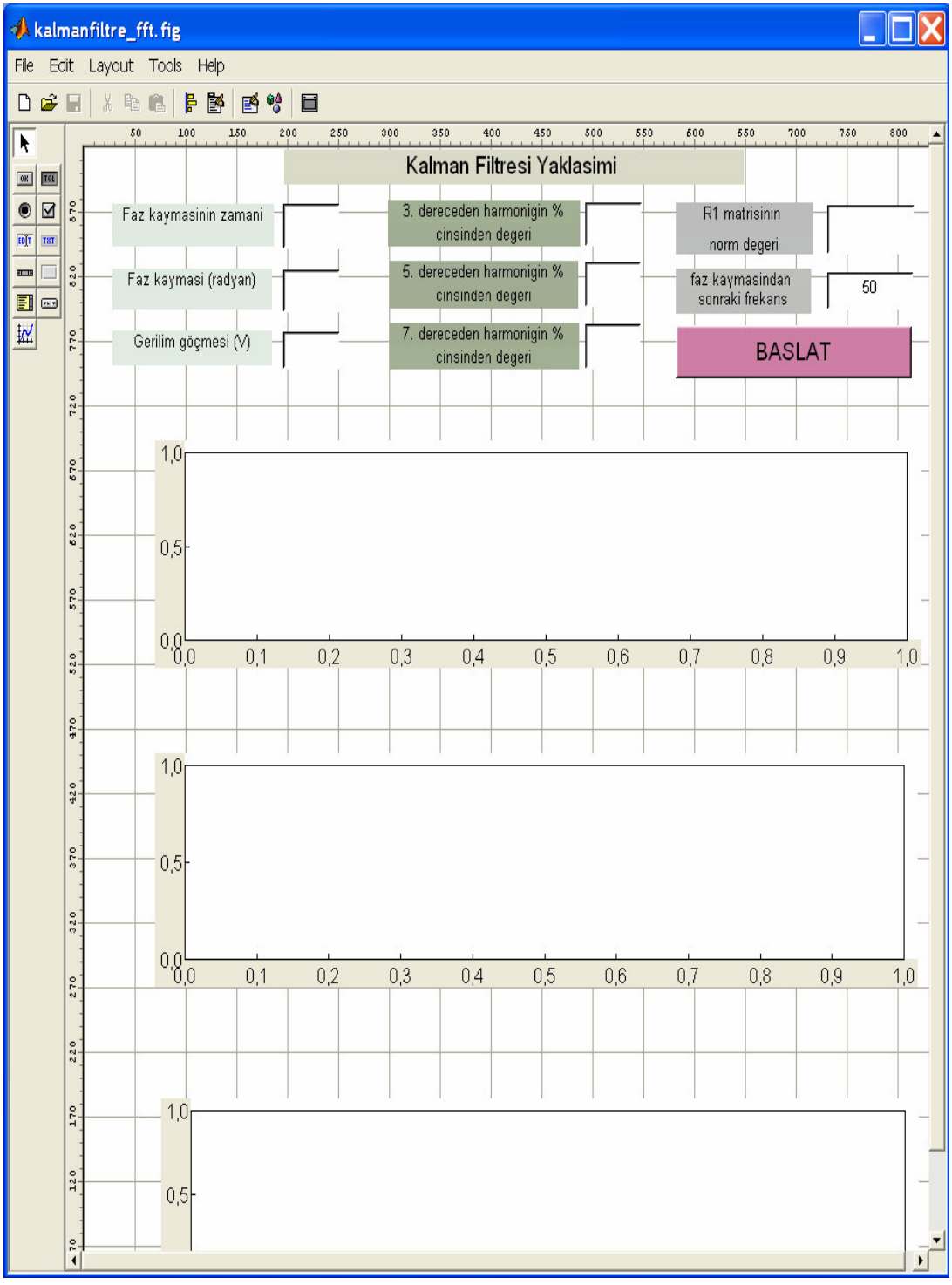
```
V=str2num(V);
str4=findobj(gcbf,'tag','edit4');
huc=get(str4,'string');
huc=str2num(huc);
str5=findobj(gcbf,'tag','edit5');
hbes=get(str5,'string');
hbes=str2num(hbes);
str6=findobj(gcbf,'tag','edit6');
hyedi=get(str6,'string');
hyedi=str2num(hyedi);
str7=findobj(gcbf,'tag','edit7');
R1=get(str7,'string');
R1=str2num(R1);
str8=findobj(gcbf,'tag','edit8');
f1=get(str8,'string');
f1=str2num(f1);
clear
clc
A=311.1;
i=1;
w=0;
teta=0;
f=50;
ed=0;
eq=0;
E=0;
x(2,1)=1;
x(2,2)=0;
h=0;
r=0;
teta=pi/2;
p=eye(2,2);
```

```
for t=0:0.0001:0.06
   if t>tk
      teta=tetax;
      f=f1;
      A=311.1-V;
   end
i=i+1;
s(i)=t;
w=(2*f*pi);
m=A*(cos((w*t)+teta)+(huc/100)*cos(3*w*t)+(hbes/100)*cos(5*w*t)+(hyedi/100)*
sin(7*w*t));
n(i)=m;
ed=x(1,1);
eq=x(2,1);
x=[ed;eq];
h=[cos(w*t) -sin(w*t)];
E=h*x;
e(i)=E;
k=(p*h')/(1+ h*p*h');
p=p-p*h'*h*p/(1+h*p*h')+R1*eye(2,2);
hata(i)=(m-E);
hata1=m-E;
   if hata1>100
      p=300*eye(2,2);
   end
x=x+k*(m-E);
teta1=atan2(eq,ed);
teta2(i)=teta1;
end
axes(handles.axes2)
plot(s,e,'r',s,n','b')
ylabel('Gerilim (Volt)')
```

```
title(' Bir Fazli Sinyale Kilitlenme ')
legend(' hesaplanan deger' , ' izlenen sinyal')
grid on
set(handles.axes2,'xminortick','on')
axes(handles.axes1)
comet(s,teta2)
plot(s,teta2)
grid on
title(' Kilitlenme esnasinda faz açisi degisimi')
ylabel('radyan')
set(handles.axes1,'xminortick','on')
Fs=10240;
t = 0:1/Fs:1;
NFFT= 2^(nextpow2(length(e)));
FFTX = fft(e,NFFT);
NumUniquePts = ceil((NFFT+1)/2);
FFTX = FFTX(1:NumUniquePts);
MX = abs(FFTX);
MX = MX/length(e);
MX = MX.^2;
MX = MX*2;
MX(1) = MX(1)/2;
if ~rem(NFFT,2)
   MX(end) = MX(end)/2;
end
f = (0:NumUniquePts-1)*Fs/NFFT;
ff=f;
MXX=MX;
Fs=10240;
t = 0:1/Fs:1;
NFFT= 2^(nextpow2(length(n)));
FFTX = fft(n,NFFT);
```

```
NumUniquePts = ceil((NFFT+1)/2);
FFTX = FFTX(1:NumUniquePts);
MX = abs(FFTX);
MX = MX/length(n);
MX = MX.^2;
MX = MX*2;
MX(1) = MX(1)/2;
if ~rem(NFFT,2)
   MX(end) = MX(end)/2;
end
f = (0:NumUniquePts-1)*Fs/NFFT;
axes(handles.axes3)
plot(ff,MXX,'r',f,MX)
grid on
title('Izlenen Sinyalin ve Hesaplanan Sinyalin Frekens Spektrumu');
xlabel('Frekans (Hz)');
ylabel('güç');
legend('hesaplanan sinyal','izlenen sinyal')
set(handles.axes3,'xminortick','on')
```

EK-8. YEKK Metodunun Kalman Filtresi Yaklaşımıyla Gerçekleştirilen Bir Fazlı Sinyale Kilitlenme Simülasyonunun Frekans Spektrumu Arayüzü



ÖZGEÇMİŞ

Mesut KAHRAMAN, 1979 yılında Tekirdağ'ın Çerkezköy ilçesinde doğdu. 1989'da Soğucak Köyü İlkokulu'ndan, 1992'de Soğucak Köyü Ortaokulu'ndan, 1997'de Kırklareli Teknik Lisesi'nden, 2001'de Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektrik Eğitimi Bölümü'nden mezun oldu. 2002 yılı Şubat döneminde Gazi Üniversitesi'nde Yüksek Lisans'a başladı. Halen, 2004 yılında atandığı Solhan Mesleki ve Teknik Eğitim Merkezi'nde elektrik öğretmeni olarak görev yapmaktadır.