

İşlemsel Kuvvetlendiricili Matematiksel Simülator Tasarımı

Design of Mathematical Simulator with Operational Amplifier

Fahri Vatansever, Nedim Aktan Yalçın

Elektronik Mühendisliği Bölümü

Uludağ Üniversitesi

fahriv@uludag.edu.tr , nedimaktanyalcin@hotmail.com

Özet

İşlemsel kuvvetlendiriciler, elektrik-elektronik alanında en çok kullanılan yapıların başında gelmektedir. Dolayısıyla bunların analiz ve sentezlerinin iyice anlaşılması, uygulamalardaki kullanılabilirliğini arttırmaktadır. Bu çalışmada; işlemsel kuvvetlendiricili temel matematiksel işlem devrelerin eğitime yönelik simülator tasarlanmıştır. Simülator ile temel matematiksel (toplama, çıkarma, çarpma (iki işaretin çarpımı, sabit sayı ile çarpma, işareti evirerek-evirmeden çarpma) bölme), türevsel (türev, integral) ve üstel/logaritmik (üs, logaritma, karekök) işlemleri gerçekleştirilebilmektedir. Kullanıcı tarafından oluşturulan giriş/girişler ve devre parametreleri, simülatora uygulanmakta ve seçilen işlemin sonucu hem grafiksel hem de analitik olarak elde edilebilmektedir. Ayrıca ilgili işlem devresine (sisteme) ait konu anlatımı ve birçok özellik (birim basamak ve birim dürtü cevapları; Bode, Nyquist ve Nichols diyagramları, köklerin yer eğrisi) kullanıcıya sunulabilmektedir.

Abstract

Operational amplifiers are the leading of the most commonly used structures in electric and electronic field. Therefore, thoroughly understanding analysis and synthesis of these increases the usability in applications. In this study, a simulator which is intended for training of basic mathematical operation circuits with operational amplifier was designed. Basic mathematical (addition, subtraction, multiplication (multiplication of two signals, multiplication by a constant, multiplication by inverting-noninverting signal), division), derivative (derivative, integral) and exponential/logarithmic (power, logarithm, square root) operations can be realized with simulator. Input/inputs and circuit parameter which is created by user is applied to the simulator and result of selected operation is obtained both in graphical and analytical form. Also lecture notes corresponding operation circuit (system) and many features (unit step and unit pulse responses, Bode, Nyquist and Nichols diagrams, root locus curves) can be presented to user.

1. Giriş

Mesleki ve teknik eğitimde teorik bilgilerin pratik (deneysel) uygulamalarla pekiştirilmesi son derece önemlidir. Bu nedenle laboratuvar uygulamaları, mesleki bilgi ve becerilerin kazandırılmasında vazgeçilmez unsurlardır. Ancak bazı

kurumlarda laboratuvar imkânlarının kısıtlı olması, karmaşık devre ve sistemlerin gerçekleştirilmesinin zor olması, kullanılan devre elemanlarının zamanla özelliklerini kaybetmesi gibi nedenlerden dolayı birçok uygulamalar gerçekleştirilememektedir.

Teknolojideki gelişmelere paralel olarak bilgisayar destekli eğitim, mesleki ve teknik eğitim kurumlarında önemli yer tutmaktadır. Özellikle de laboratuvar imkânlarının kısıtlı olduğu eğitim kurumlarında, mesleki konuların daha anlaşılır öğrenciye sunulması ve iyice kavranması için simülatorlerden yüksek oranda faydalanılmaktadır. Teorik derslerin sunumunda, karmaşık devre elemanlarının modellenmesinde, büyük sistemlerin benzetimlerinde de simülatorler büyük kolaylıklar sağlamaktadırlar. Elektrik-elektronik alanındaki birçok konuda, değişik simülator çalışmaları gerçekleştirilmiştir[1-4].

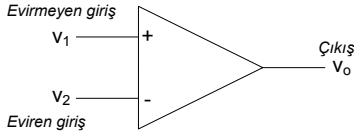
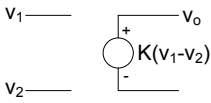
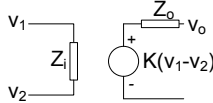
Elektronik alanında işlemsel kuvvetlendiricilerden yoğun bir şekilde faydalanılmaktadır. Dolayısıyla bu tür yapıların analiz ve sentezlerinin – uygulama alanlarının gerekliliklerine uygun olarak – teknik elemanlar tarafından gerçekleştirilebilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada; özellikle işlemsel kuvvetlendiricili matematiksel işlem devrelerinin analizi için grafiksel arayüz programı tasarlanmıştır. Eğitim amaçlı da kullanılabilecek olan simülator ile temel matematiksel işlem (toplama, çıkarma, çarpma, bölme), türevsel işlem (türev, integral) ve üstel/logaritmik işlem (logaritma, üs alma) devreleri kullanıcıya sunulmaktadır. Kullanıcının tanımladığı devre parametreleri ve girişlere (oluşturduğu gerilim dalgalarına göre – sinüsoidal, DC, kare vb.) göre ilgili işlem sonuçları hem sayısal hem de grafiksel (giriş-çıkış gerilim dalga şekilleri) olarak elde edilebilmektedir. Ayrıca grafiksel çözümlerin yanında zaman ve s-domenindeki analitik çözümler de kullanıcıya sunulmaktadır. Bunun yanında işlemsel kuvvetlendiricili ilgili matematiksel devre ile ilgili konu anlatımı, birim basamak ve dürtü cevapları; Bode, Nyquist ve Nichols diyagramları, köklerin yer eğrisi gibi grafikler de yer almaktadır.

2. İşlemsel Kuvvetlendiriciler

İşlemsel kuvvetlendiriciler; yüksek giriş ve düşük çıkış empedansı, yüksek açık çevrim kazancına sahip fark kuvvetlendiricileridir (Çizelge 1). Bunların uçlarına uygun elemanlar bağlanarak çok değişik amaçlar için kullanılabilmektedirler. Başlıca uygulama alanları kontrol,

ölçme, faz kaydırma, osilatör gibi devreler olmak üzere işlemsel kuvvetlendiricilerden; analog bilgisayarlarda başta toplama ve integral olmak üzere matematiksel işlemleri gerçekleştirmek için de yararlanılmaktadır. Bazı matematiksel işlemlerin gerçekleştirilmesinde kullanılan işlemsel kuvvetlendirici devreleri, Çizelge 2’de verilmektedir[5-6].

Çizelge 1: İşlemsel kuvvetlendirici

	
İdeal	İdeal olmayan
Giriş empedansı: Sonsuz	Giriş empedansı: Yüksek
Çıkış empedansı: Sıfır	Çıkış empedansı: Düşük
Gerilim kazancı: Sonsuz	Gerilim kazancı: Yüksek
	

3. Tasarlanan Simülör

MATLAB[7] kullanılarak tasarlanan ve işlemsel kuvvetlendiricilerle matematiksel işlemlerin benzetimi gerçekleyen programın ana ekranı Şekil 1’de verilmektedir. Simülör ana ekranında “Dosya”, “Matematiksel işlem devreleri” ve “Yardım” menüleri yer almaktadır. “Dosya” menüsü ile yeni analizler gerçekleştirilebilmekte, yapılan analizlerin sayısal veya grafiksel sonuçları kaydedilebilmekte veya yazdırılabilmektedir (Şekil 2a). “Matematiksel işlem devreleri” menüsünden ise ilgili matematiksel işlem seçilmektedir. Bunlar arasında toplama, çıkarma, çarpma (ikili çarpım, sabit sayı ile çarpma), bölme, türev, integral, logaritma, üs alma gibi işlemler yer almaktadır (Şekil 2b). “Yardım” menüsünde ise programın kullanımı ile ilgili konu anlatımları yer almaktadır (Şekil 2c).



Şekil 1: Tasarlanan simülörün ana ekranı.

Ayrıca işlemsel kuvvetlendirici girişindeki sinyalleri, kullanıcıların rahatlıkla oluşturabilmesi için “Sinyal üretici” alt programı tasarlanmıştır (Şekil 3). Burada genlik, frekans ve

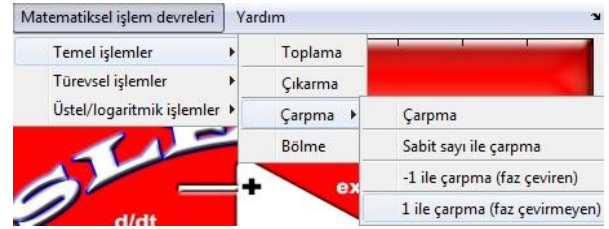
faz açısı değerleri girilerek AC veya DC sinyaller özizlemeli olarak oluşturulabilmektedir.



(a)

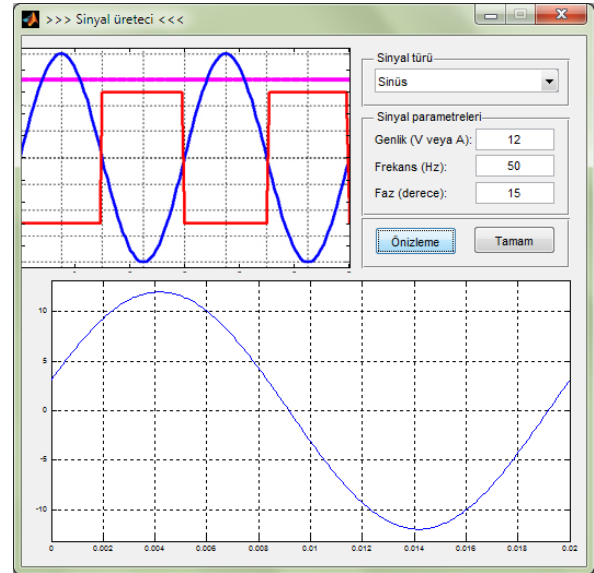


(c)



(b)

Şekil 2: Tasarlanan simülörün ana menüleri.



Şekil 3: “Sinyal üretici” alt programı.

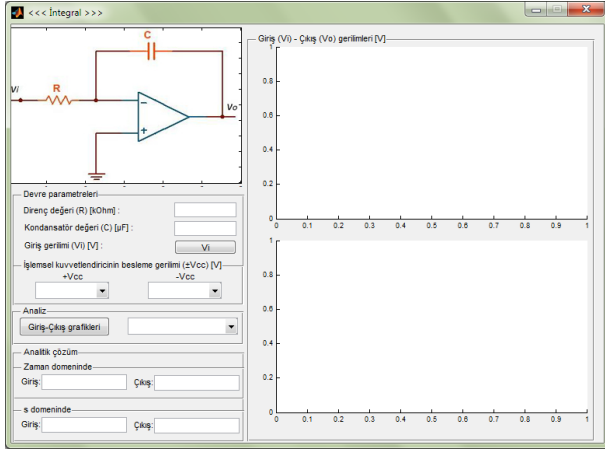
4. Simülasyonlar

Birinci simülasyon olarak direnç değeri 1 MΩ, kondansatör değeri 1μF olan işlemsel kuvvetlendiricili integratörün girişine 1 V'luk DC gerilimin (birim basamak) uygulanması durumundaki işlem adımları (direnç, kondansatör değerlerinin girilmesi ve besleme gerilimlerinin seçilmesi Şekil 4a; giriş sinyalinin oluşturulması Şekil 4b; giriş-çıkış grafiklerinin ve zaman ile s-domenindeki analitik çözümlerin hesaplanması Şekil 4c; sistem cevap ve diyagramları seçim menüsü Şekil 4ç ve bazı örnek diyagramlar Şekil 4d) Şekil 4’te verilmektedir.

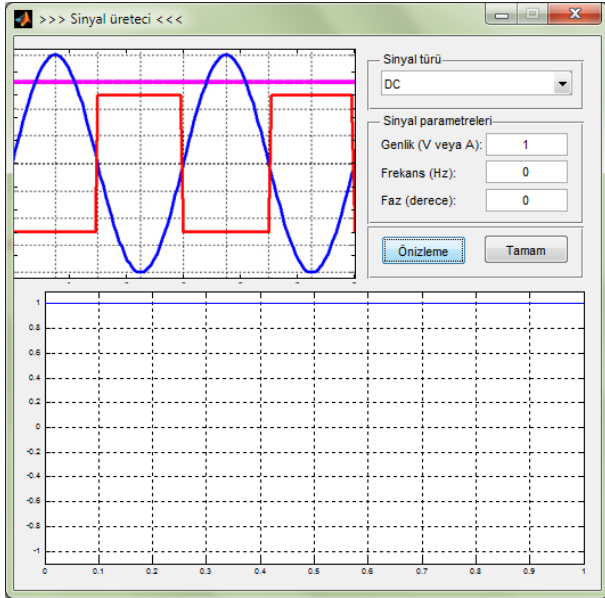
$$\begin{aligned}
 v_0 &= -\frac{1}{R.C} \int_0^t v_i dt + v_0(0) \\
 &= -\frac{1}{1.10^{-6} \cdot 1.10^{-6}} \int_0^t 1. dt \\
 &= -t
 \end{aligned} \quad (1)$$

Çizelge 2: İşlemsel kuvvetlendiricili bazı devreler

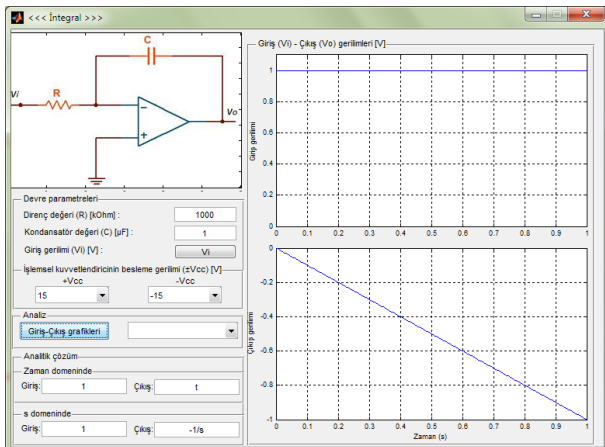
İşlem	Devre	İfadeleri
Toplama		$v_0 = -\left(\frac{R_f}{R_1}v_1 + \frac{R_f}{R_2}v_2 + \dots + \frac{R_f}{R_n}v_n\right)$ $R_1 = R_2 = \dots = R_f \text{ ise}$ $v_0 = -(v_1 + v_2 + \dots + v_n)$
Çıkarma		$v_0 = \frac{R_4}{R_3 + R_4} \cdot \frac{R_1 + R_2}{R_1} \cdot v_2 - \frac{R_2}{R_1} v_1$ $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 \text{ ise } v_0 = v_2 - v_1$
İntegral		$v_0 = -\frac{1}{R \cdot C} \int_0^t v_i dt + v_0(0)$ $v_0(0) = 0 \text{ ise } v_0 = -\frac{1}{R \cdot C} \int_0^t v_i dt$
Türev		$v_0 = -R \cdot C \frac{dv_i}{dt}$
Logaritma		$v_0 = -V_T \cdot \ln\left(\frac{v_i}{I_s \cdot R}\right) \quad , \quad v_i > 0$ V_T: Diyot ısııl gerilimi I_s: Diyot ters yönde doyma akımı
Üs alma		$v_0 = -R \cdot I_s \cdot e^{\frac{v_i}{V_T}} \quad , \quad v_i > 0$ V_T: Diyot ısııl gerilimi I_s: Diyot ters yönde doyma akımı
Sabit sayı ile çarpma		$v_0 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} v_i$ * İlave devreler-işlemler ile sabit sayı $k > 1$ veya $k < 0$ yapılabilir.
Çarpma		$v_0 = k \cdot v_1 \cdot v_2$ * k, ilgili devrelerden kaynaklanan katsayıdır.
Bölme		$v_0 = k \cdot \frac{v_1}{v_2}$ * k, ilgili devrelerden kaynaklanan katsayıdır.



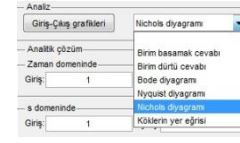
(a)



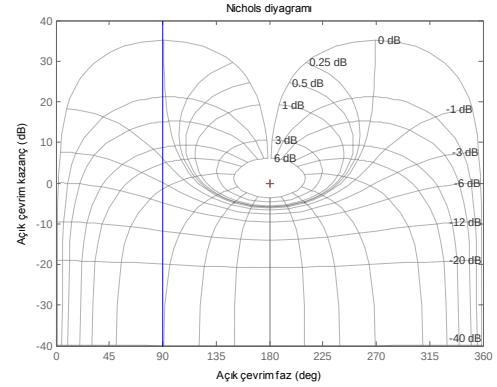
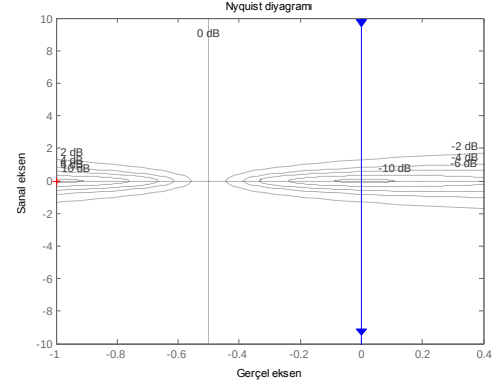
(b)



(c)



(ç)



(d)

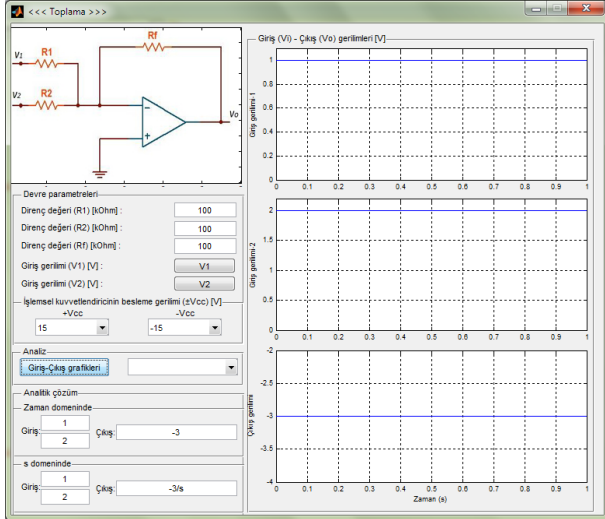
Şekil 4: Birinci simülasyonun ekran görüntüleri.

İkinci simülasyon olarak tüm direnç değerleri 100 kΩ olan ve +1 V ile +2 V luk DC gerilimleri toplayan işlemsel kuvvetlendiricili devrenin ekran görüntüsü Şekil 5'te verilmektedir.

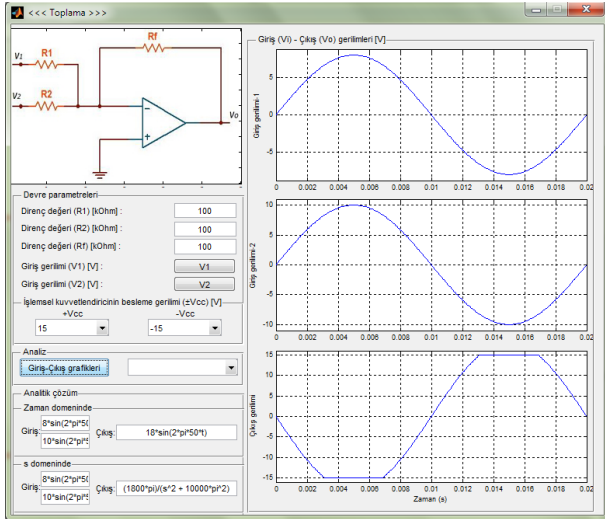
$$\begin{aligned} v_o &= -\left(\frac{R_f}{R_1}v_1 + \frac{R_f}{R_2}v_2\right) \\ &= -\left(\frac{100 \cdot 10^3}{100 \cdot 10^3} \cdot 1 + \frac{100 \cdot 10^3}{100 \cdot 10^3} \cdot 2\right) \\ &= -3 \end{aligned} \quad (2)$$

Ayrıca işlemsel kuvvetlendiricinin besleme gerilimlerinin etkisini göstermek için 8 ve 10 V luk iki AC işaretin toplamının ekran görüntüsü de Şekil 6'da yer almaktadır.

$$\begin{aligned} v_o &= -\left(\frac{R_f}{R_1}v_1 + \frac{R_f}{R_2}v_2\right) \\ &= -\left(\frac{100 \cdot 10^3}{100 \cdot 10^3} \cdot 8 \cdot \sin(\omega t) + \frac{100 \cdot 10^3}{100 \cdot 10^3} \cdot 10 \cdot \sin(\omega t)\right) \\ &= -18 \cdot \sin(\omega t) \end{aligned} \quad (3)$$



Şekil 5: İkinci simülasyonun ekran görüntüsü.



Şekil 6: Üçüncü simülasyonun ekran görüntüsü.

5. Sonuçlar

Yapılan çalışmada, eğitim amaçlı da kullanılabilecek ve birçok matematiksel işlemleri gerçekleştiren işlemsel kuvvetlendiricili devre simülatörü tasarlanmıştır. Simülatörde kullanıcının oluşturduğu sinyaller, ilgili matematiksel devrelere uygulanmakta ve sonuçları hem sayısal hem de grafiksel olarak elde edilebilmektedir. İlgili işlemlerin zaman ve s-domenindeki analitik sonuçlarının yanında, devrelerin (sistemlerin) birçok karakteristik cevap eğrileri ve diyagramları da kullanıcıya sunulabilmektedir. Bunun yanında ilgili devreler ile ilgili konu anlatımları da yer almaktadır. Hem teorik hem de pratik uygulamalarda kullanılabilecek simülatör ile işlemsel kuvvetlendiricili matematiksel işlem devrelerinin analiz ve sentezlerinin daha iyi kavranılması sağlanacaktır.

6. Kaynaklar

- [1] Ak, M., Tuna, M., Ergün Amaç, A., “Bir fazlı tetikleme devreleri için eğitim amaçlı kullanıcı arayüz tasarımı”, *Ulusal Teknik Eğitim, Mühendislik ve Teknik Eğitim Bilimleri Genç Araştırmacılar Sempozyumu - UMES'07*, 2007, s. 309-312.
- [2] Çankaya, İ., Vatansever, F., Akgün, D., “RLC Filtre Devrelerinin Eğitimine Yönelik Grafiksel Arayüz Tasarımı”, *5th International Advanced Technologies Symposium IATS'09*, 2009, s. 562-565.
- [3] Kurtuldu, S. ve Vatansever, F., “Elektromanyetik Öğreniminde Etkileşimli Destek: Görsel Elektromanyetik”, *6th International Advanced Technologies Symposium IATS'11*, 2011, s. 439-442.
- [4] Vatansever, F., Yılmaz, E., Dilaveroğlu, E., “Fourier Seri Analizi İçin Bir Arayüz Programı”, *6th International Advanced Technologies Symposium IATS'11*, 2011, s. 138-141.
- [5] Boylestad, R. ve Nashelsky, L., *Elektronik Elemanlar ve Devre Teorisi*, MEB Yayınları, Ankara, 1994.
- [6] Kuntman, H., *Elektronik Devreleri* (Ders Notu),(Genişletilmiş 3. Baskı), İTÜ yayınları, İstanbul, 1990.
- [7] The MathWorks, Inc., MATLAB, 2007.