

Durum Kontrollü Hücrel Sinir Ağı (DK-HSA) Kullanılarak Modellenen Chua Devresinde Kaotik Senkronizasyon

Enis GÜNAY, Mustafa ALÇI, Recai KILIÇ

Erciyes Üniversitesi Elektronik Mühendisliği Bölümü, 38039, Kayseri.
egunay@erciyes.edu.tr

Anahtar sözcükler: Hücrel Sinir Ağları, Kaos, Chua Devresi

ÖZET

Bu çalışmada, Durum Kontrollü-Hücrel Sinir Ağı (DK-HSA) tabanlı iki Chua devresinden oluşan bir kaotik sistemde, Pecora-Carroll'un önerdikleri sürücü-cevap yöntemine dayalı kaotik senkronizasyonun sağlanıp sağlanamayacağı araştırılmıştır. PSpice simülasyonları sürücü ve cevaplayıcı olarak adlandırılan DK-HSA tabanlı iki Chua devresi arasında kaotik senkronizasyonun başarıyla sağlandığını göstermektedir.

1. Giriş

Kaotik devrelerin kullanıldığı güvenilir haberleşme amaçlı sistemlerin gelişmesine, Pecora-Carroll'un 1990'da yaptıkları ve iki ya da daha fazla kaotik sistemin senkronize olabileceğini gösteren çalışma öncülük etmiştir [1]. Kaotik senkronizasyona dayalı sistemlerde en çok kullanılan kaotik işaret üretici ise basit donanımı ve zengin kaotik davranışı sebebiyle Chua devresi olmuştur [2]. Chua devresinin literatürdeki değişik modellerinden birisi de, lineer olmayan analog devre yapısı ile [3], günümüzde daha bir çok alanda [4] yaygın bir şekilde kullanılmakta olan Hücrel Sinir Ağı (HSA) kullanılarak modellenmiş DK-HSA tabanlı devre yapısıdır. Durum kontrollü-hücrel sinir ağı (DK-HSA) olarak adlandırılan bu modelin kullanılmasıyla gerçekleştirilen Chua devresi, literatürde kaos üretici olarak kullanılmıştır [5].

Bu çalışmada orijinal Chua devresinde sağlanan kaotik senkronizasyonun, geliştirilmiş DK-HSA tabanlı modelinde de sağlanıp sağlanamayacağı incelenmiştir. Bu çalışmada, kaotik senkronizasyon için Pecora-Carroll'un önerdiği ve orijinal Chua devresindeki kaotik senkronizasyon için de kullanılan sürücü-cevap yöntemi uygulanmıştır. Kaotik DK-HSA hücreleri arasında kaotik senkronizasyonun sağlandığı PSpice simülasyonları ile doğrulanmıştır.

Bildirinin organizasyonu şu şekildedir. 2. Bölümde kaotik senkronizasyon kavramı ve Pecora-Carroll'un önerdikleri sürücü-cevap yöntemi üzerinde durulmuştur. 3. Bölümde ise Chua devresinin DK-

HSA kullanılarak modellenmiş devre yapısı tanıtılmaktadır. 4. Bölümde DK-HSA tabanlı iki devre yapısından oluşan kaotik sistemdeki kaotik senkronizasyonla ilgili simülasyon sonuçları verilmekte ve elde edilen sonuçlar 5. bölümde tartışılmaktadır.

2. Kaotik Senkronizasyon ve Pecora-Carroll Yöntemi

Aynı parametrelere sahip iki ya da daha fazla kaotik sistemin aynı anda aynı davranışı sergileyebilmesi "Kaotik Senkronizasyon" olarak adlandırılmaktadır. Her ne kadar aynı parametrelere sahip olsalar da teknolojik uyumsuzluklar ve gürültüden dolayı birbir eşdeğer kaotik yapıları elde etmek mümkün değildir. Ancak 1990'da Pecora-Carroll'un senkronizasyon ile ilgili yaptıkları çalışmada, sürücü-cevaplayıcı olarak adlandırdıkları yöntemle kaotik sistemlerin senkronize olabileceğini göstermişlerdir. Pecora-Carroll kaotik senkronizasyon ile ilgili yaptıkları çalışmalarda, n boyutlu bir sistemin durum denklemini aşağıdaki şekilde tanımlamışlardır [1].

$$\begin{aligned} \frac{dX}{dt} &= f [X (t)], & X &= (x_1, x_2, \dots, x_n)^T, \\ x_D &= g(x_D, x_R), & (m - \text{boyutlu}) \\ x_R &= h(x_D, x_R), & (n - \text{boyutlu}) \end{aligned} \quad (1)$$

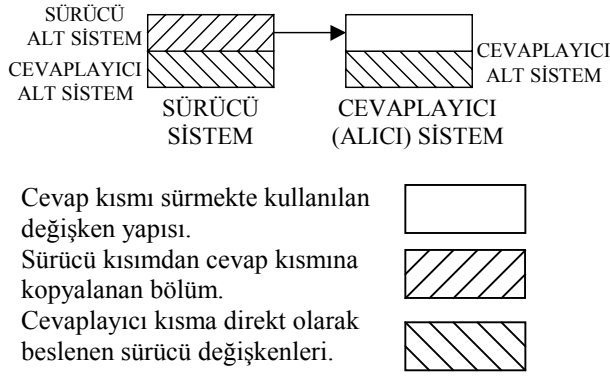
Pecora ve Carroll tanımlanan bu sistemi keyfi olarak $X = (x_D, x_R)^T$ şeklinde iki kısma ayırmışlardır. Sistemin D kısmı sürücü alt sistem değişkenlerini gösterirken, R kısmı da cevaplayıcı alt sistem değişkenlerini göstermektedir.

Burada $x_D = (x_1, x_2, \dots, x_m)^T$, $x_R = (x_{m+1}, x_{m+2}, \dots, x_n)^T$, $g = [f_1(X), \dots, f_m(X)]^T$, $h = [f_{m+1}(X), \dots, f_n(X)]^T$ ve $m+k=n$ dir. Daha sonra, sürücü kısmın cevaplayıcı alt sisteminin eş değer bir kopyası (x'_R) değişkenleri ile birlikte alıcı kısımda yeniden oluşturulmakta ve orijinal sistemden gelen x_D değişkenleri ile sürülmesi önerilmektedir. Böylece oluşturulan model şu denklemlere sahip olmaktadır.

$$\left\{ \begin{array}{l} x_D = g(x_D, x_R), (m - \text{boyutlu}) \\ x_R = h(x_D, x_R), (k - \text{boyutlu}) \end{array} \right\} \text{-sürücü}$$

$$\left\{ x'_R = h(x_D, x'_R), (k - \text{boyutlu}) \right\} \text{-alıcı} \quad (2)$$

Uygun şartlar altında, belirli bir geçiş süreci sonunda (x'_R) değişkenleri, asimptotik olarak (x_R) değişkenleri ile yakınsamaya başlamakta ve bu andan itibaren (x_R) değişkenlerinin anlık değerleri ile sabit kalmaktadırlar. Sürücü alt sistem, cevaplayıcı alt sistemi ve alıcıdaki eş değer cevaplayıcı alt sistemi (x_D) bileşeni ile sürmektedir. Ayrıca (x'_R) bileşeni (x_R)' den farklı başlangıç değerlerine sahip olabilmektedir. Önerilen kaotik senkronizasyonun şematik gösterimi Şekil-1'deki gibi olmaktadır.



Şekil-1. Sürücü-cevap yönteminin kaotik senkronizasyon şeması.

3. Chua Devresinin HSA Kullanılarak Modellenmiş Devre Yapısı

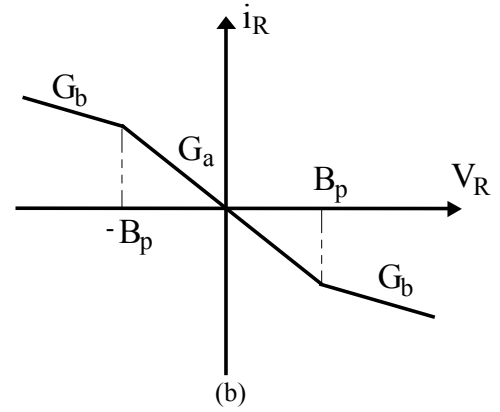
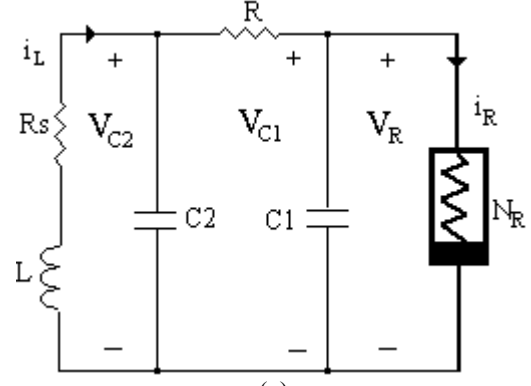
Bu bölümde kaotik sistemlerde işaret üretici olarak kullanılan ve zengin kaotik davranışlar sergileyen üçüncü dereceden, otonom bir sistem olan Chua devresinin HSA kullanılarak modellenmesi incelenecektir. Hem devre yapısı hem de uygulanabilirliği açısından üzerinde en çok çalışma yapılan osilatör devrelerinden biri olan Chua devresi aşağıdaki durum denklemleri ile tanımlanmaktadır.

$$L \frac{di_L}{dt} = -V_{C2} - i_L \cdot R_s,$$

$$C_1 \frac{dV_{C1}}{dt} = \frac{1}{R} (V_{C2} - V_{C1}) - f(V_R),$$

$$C_2 \frac{dV_{C2}}{dt} = i_L - \frac{1}{R} (V_{C2} - V_{C1}),$$

$$i_R = f(V_R) = G_b \cdot V_R + \frac{1}{2} \cdot (G_a - G_b) \times (|V_R + B_p| - |V_R - B_p|) \quad (3)$$



Şekil-2. a) Chua devresi, b) Chua devresindeki lineer olmayan direncin (N_R) i - v karakteristiği.

Chua devresi ve bu devredeki lineer olmayan direncin i - v karakteristiği Şekil 2'de görülmektedir. Şekil 2(a)'da görüldüğü üzere Chua devresi, üç tane enerji depolayıcı eleman, bir lineer direnç ve bir tane de Chua diyotu olarak adlandırılan ve N_R ile gösterilen bir lineer olmayan dirençten oluşmaktadır. Denklem (3)'te verilen $f(V_R)$, Şekil 2(b)'de görülen parçalı-lineer bir fonksiyondur. Chua devresinin Denklem (3)'te verilen durum denklemleri;

$$x = V_{C1}/B_p, y = V_{C2}/B_p, z = I_L/B_p G,$$

$$\tau = tG/C_2, m_0 = (G_a/G) + 1, m_1 = (G_b/G) + 1,$$

$$\alpha = C_2/C_1, \beta = C_2/(LG^2) \text{ ve } \gamma = (C_2 R_s)/(GL)$$

değişken dönüşümleri kullanılarak Denklem (4)'teki boyutsuz forma dönüşmektedir.

$$\begin{aligned}\dot{x} &= \alpha[y - h(x)], \\ \dot{y} &= x - y + z, \\ \dot{z} &= -\beta y - \gamma z,\end{aligned}$$

$$h(x) = m_1 x + 0.5 \cdot (m_0 - m_1) \times (|x + 1| - |x - 1|) \quad (4)$$

Denklem (4)'te verilen durum denklemlerindeki x , y ve z ifadeleri, durum değişkenlerini oluştururken α , β , γ , m_0 , m_1 ifadeleri ise sistem parametrelerini göstermektedir. Ayrıca Denklem (3)' teki G_a ve G_b ifadeleri ise lineer olmayan karakteristiğın iç ve dış bölgelerdeki eğimlerini göstermektedir. Chua devresinin hücrel sinir ağları kullanılarak modellenmesi Arena ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilmiştir [5]. Bu çalışmada Chua devresinin uygun bir bağlantı ile birbirine ilişkilendirilmiş üç adet HSA hücresi kullanılarak modellenebileceği gösterilmiştir. Genelleştirilmiş HSA hücre modelinin doğrusal olmayan boyutsuz durum denklemi şu şekildedir [5]:

$$\begin{aligned}\dot{x}_j &= -x_j + a_j y_j + G_0 + G_s + i_j, \\ y_j &= 0.5 \cdot (|x_j + 1| - |x_j - 1|)\end{aligned} \quad (5)$$

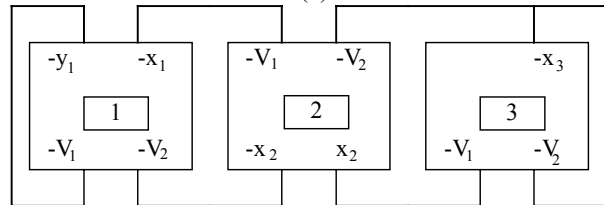
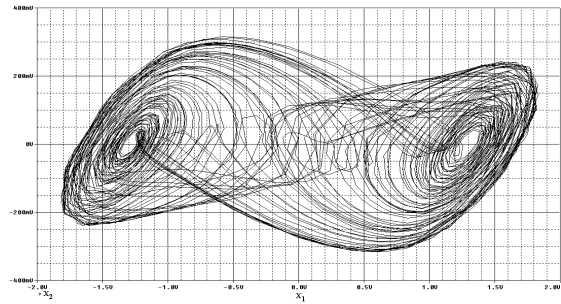
Denklem (5)' teki durum denklemlerinde j hücre indeksini, x_j durum değişkenini ve y_j hücre çıkışını temsil ederken, a_j sabit bir parametreyi ve i_j 'de eşik değerini göstermektedir. Ayrıca G_0 ve G_s ifadeleri ise, birbirleriyle bağlantılı hücrelerin, sırasıyla çıkışlarını ve durum değişkenlerini temsil etmektedir. Önerilen HSA yapısı bir durum kontrollü-HSA olarak tanımlanmaktadır [5]. Denklem (5)' teki durum denklemlerinin yardımıyla, birbirleriyle bağlantılı üç hücrel sinir ağı hücresinin durum denklemleri aşağıdaki şekilde gösterilebilir:

$$\begin{aligned}\dot{x}_1 &= -x_1 + a_1 y_1 + a_{12} y_2 + a_{13} y_3 + \sum_{k=1}^3 s_{1k} x_k + i_1 \\ \dot{x}_2 &= -x_2 + a_{21} y_1 + a_2 y_2 + a_{23} y_3 + \sum_{k=1}^3 s_{2k} x_k + i_2 \\ \dot{x}_3 &= -x_3 + a_{31} y_1 + a_{32} y_2 + a_3 y_3 + \sum_{k=1}^3 s_{3k} x_k + i_3\end{aligned} \quad (6)$$

Durum denklemlerinde x_1 , x_2 , x_3 durum değişkenlerini gösterirken y_1 , y_2 , y_3 ise sırasıyla çıkışları göstermektedir. Durum denklemlerindeki (a) ve (s) sabit parametreleri ve eşik seviyesi akımları (i) ile ilgili parametreler $a_{12} = a_{13} = a_2 = a_{23} = a_{32} = a_3 = a_{21} = a_{31} = 0$; $s_{13} = s_{31} = s_{22} = 0$; $i_1 = i_2 = i_3 = 0$ olarak seçilirse, üç hücrel sinir ağı hücresinin durum denklemleri aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$\begin{aligned}\dot{x}_1 &= -x_1 + a_1 y_1 + s_{11} x_1 + s_{12} x_2, \\ \dot{x}_2 &= -x_2 + s_{21} x_1 + s_{23} x_3, \\ \dot{x}_3 &= -x_3 + s_{32} x_2 + s_{33} x_3\end{aligned} \quad (7)$$

Yukarıda birbirleriyle bağlantılı üç hücre için hücrenin durum değişkenlerini x_1 , x_2 ve x_3 oluştururken y_1 , y_2 ve y_3 ise çıkışları temsil etmektedir. Dikkat edilirse, Chua devresinin Denklem (4)'te verilen eş değer durum denklemi ile Denklem (7)'deki HSA hücre denklemleri arasında kısmi benzerlik olduğu görülmektedir. $a_1 = \alpha(m_1 - m_0)$; $s_{33} = 1 - \gamma$; $s_{21} = s_{23} = 1$; $s_{11} = 1 - \alpha \cdot m_1$; $s_{12} = \alpha$; $s_{32} = -\beta$ kabuller ışığında, Chua devresindeki x , y , z ifadelerinin, yukarıda çıkartılan üç HSA hücrenin durum denklemlerindeki x_1 , x_2 ve x_3 ifadeleri ile eşit olduğu gösterilebilir. Hücre parametreleri, Chua devresindeki $\beta = 14.286$, $\alpha = 9$, $\gamma = 0$, $m_0 = -1/7$ ve $m_1 = 2/7$ parametrelerine bağlı olarak bir kaotik çift-çeker (double-scroll attractor) oluşturması için, $a_1 = \alpha(m_1 - m_0)$; $s_{33} = 1 - \gamma$; $s_{21} = s_{23} = 1$; $s_{11} = 1 - \alpha \cdot m_1$; $s_{12} = \alpha$; olarak seçilmiştir [5]. Buradan hareketle de $a_1 = 3.857$, $s_{11} = -1.5714$, $s_{32} = -14.286$, $s_{12} = 9$, $s_{21} = s_{23} = s_{33} = 1$ olarak belirlenmiştir. Chua devresini oluşturmak üzere hücrelerin birbirleriyle olan bağlantılarını ise şu şekilde belirlenmiştir [5]. Birinci hücre için $V_1 = y_1$ ve $V_2 = x_2$, ikinci hücre için $V_1 = x_1$ ve $V_2 = x_3$, üçüncü hücre için ise $V_1 = -x_2$ ve $V_2 = x_3$ olmaktadır. Elde edilen yapı blok şema halinde Şekil 3(a)'da gösterilirken Chua devresinin X_1 - X_2 hücreleri arasında oluşan kaotik çeker Şekil 3(b)'de görülmektedir.

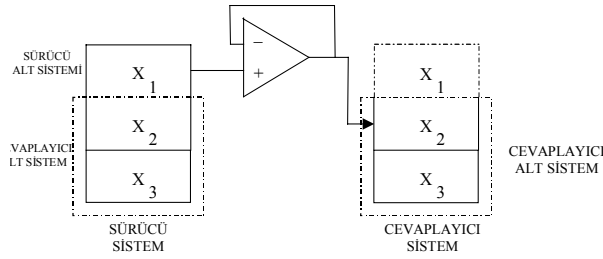


(b)

Şekil-3. (a) DK-HSA tabanlı devrede X_1 - X_2 düzleminde oluşan çeker yapısı., (b) Arena'nın önerdiği üç DK-HSA hücresi kullanılarak Chua devresinin modellenmesi [5].

4. DK-HSA Tabanlı İki Kaotik Sistemin Senkronizasyonu

Bu bölümde, Pecora-Carroll'un sürücü-cevap yöntemine göre orijinal Chua devresinde sağlanan kaotik senkronizasyonun, DK-HSA tabanlı kaotik iki sistem arasında da sağlanıp sağlanmadığı incelenecektir. Bu noktadan hareketle DK-HSA tabanlı devrede X_1 dinamiği sürücü alt sistemi olarak seçilirken, X_2 ve X_3 dinamikleri ise cevaplayıcı alt sistem olarak seçilmektedir. Daha sonra da cevaplayıcı alt sistemin eş değer bir kopyası alıcı tarafta yeniden oluşturulmaktadır. DK-HSA tabanlı kaotik sistemin senkronize olabilmesi amacıyla önerilen blok yapı Şekil-5'deki şemada verilmektedir.



Şekil-5. X_1 sürücü yapısı.

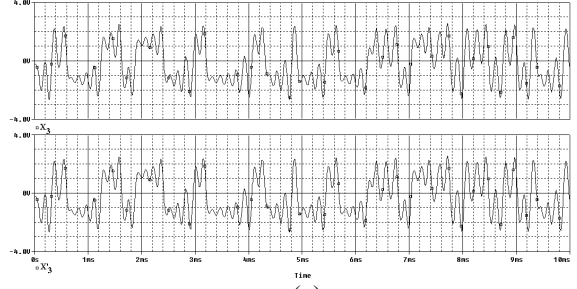
Şekil 5'teki sürücü sistem değişkenleri aşağıdaki gibi olurken:

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= -x_1 + a_1 y_1 + s_{11} x_1 + s_{12} x_2, \\ \dot{x}_2 &= -x_2 + s_{21} x_1 + s_{23} x_3, \\ \dot{x}_3 &= -x_3 + s_{32} x_2 + s_{33} x_3 \end{aligned} \quad (8)$$

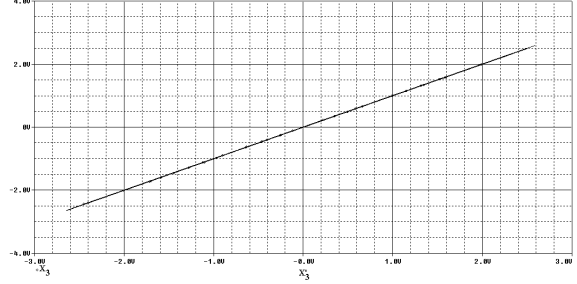
cevaplayıcı sistem değişkenleri ise:

$$\begin{aligned} \dot{x}'_2 &= -x'_2 + s_{21} x_1 + s_{23} x'_3, \\ \dot{x}'_3 &= -x'_3 + s_{32} x'_2 + s_{33} x'_3 \end{aligned} \quad (9)$$

şeklinde oluşmaktadır. Şekil 5'ten de görüldüğü üzere, Pecora-Carroll yöntemine uygun olarak, DK-HSA tabanlı devre keyfi bir şekilde sürücü ve cevaplayıcı kısımlara ayrıldıktan sonra sürücü sistemin cevaplayıcı alt sisteminin eş değer bir kopyası alıcı tarafta yeniden oluşturulmaktadır. Daha sonra yeniden oluşturulan kısım sürücü alt sistem değişkenleri ile sürülmektedir. Cevaplayıcı alt sistem değişkenleri ile alıcıda oluşturulan eş değer cevaplayıcı alt sistem değişkenleri bir süre sonra asimptotik olarak yakınsamaya başlamaktadır. Şekil 5'te görülen DK-HSA tabanlı iki kaotik devrenin X_3 ve X'_3 dinamiklerinin zaman domenindeki gösterimi Şekil 6(a)'da, 45° lik X_3 - X'_3 senkronizasyon eğrisi ise Şekil 6(b)'de görülmektedir.



(a)



(b)

Şekil-6. a) DK-HSA tabanlı kaotik sistemin X_3 ve X'_3 dinamiklerinin zaman domeninde gösterimi, b) DK-HSA tabanlı kaotik sistemin X_3 - X'_3 dinamiklerinin senkronizasyonu.

5. SONUÇ

Burada, DK-HSA tabanlı devre yapısına dayalı kaotik bir sistemde hücreler arası kaotik senkronizasyon ile ilgili bir çalışma sunulmuştur. Elde edilen sonuçlar, orijinal Chua devresinde olduğu gibi, Chua devresi dinamiklerini üretmek için modellenen DK-HSA tabanlı devre yapısında da kaotik dinamiklerin üretilebildiği ve bu devrelerin kullanıldığı kaotik bir sürücü-cevaplayıcı sistemde hücreler arası kaotik senkronizasyonun başarılı bir şekilde sağlandığını göstermektedir. Kaotik senkronizasyonun hücre modeli ile sağlanmış olması DK-HSA tabanlı devre yapısının, kaotik senkronizasyona dayalı haberleşme sistemlerinde orijinal Chua devresi gibi bir kaos üretici olarak kullanılabileceği fikrini doğrulamaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] Pecora, L.M., Carroll, T.L., "Synchronization in Chaotic Systems", Physical Review Letters, Vol. 64, pp. 821-824, Feb., 1990.
- [2] Chua, L.O., Wu, C.W., Huan, g A., Zhong, G.A., "Universal circuit for studying and generating chaos", IEEE Transactions on Circuits and Systems-I 40, Vol.10, pp. 732-745, 1993.
- [3] Chua, L.O., Yang, L., "Cellular Neural Networks: Theory", IEEE Transactions on Circuits and Systems-I, Vol. 35, pp. 732-745, 1988.
- [4] Chua, L.O., and Roska, T., "The CNN paradigm", IEEE Transactions on Circuits and Systems -I, 40, pp.147-156, 1993.
- [5] Arena, P., Baglio, S., Fortuna, L., Manganaro, G., "Chua's Circuit Can Be Generated by CNN Cells", IEEE Transactions on Circuits and Systems-I, Vol.42/2, pp. 123-125, 1995.