

## **Sistem Analizinde Modern Kontrol Mekanizmaları** **Bahman Alp RENÇBER\***

### **Özet**

Bu çalışmanın amacı, sistemlerde modern kontrol mekanizmalarının incelenmesidir. Sistemlerin bazı niteliklerinin zaman içindeki davranışları değiştirmek istenirse, buna kontrol sistemi denir. Sistemin şu andaki durumu ve gelecekteki davranışını belirleyen değişkenlere durum değişkenleri denir. Bir sistemin davranışını belirlerken sistemin matematiksel modelini kurmak gerekir. Sistemin durumu, zamanın bir fonksiyonu olarak birinci dereceden bir dizi diferansiyel denklemin durum değişkenleri cinsinden ifade edilmesidir. Bu çalışmada kontrol değişkeni bulunan ve kontrol değişkeni bulunmayan sistemlerin matematiksel modellerinin çözüm yöntemleri gösterilmiştir. Daha sonra laboratuarda kontrol değişkeni bulunan bir sistemde uygulama yapılmıştır. Uygulamada elektronik devrenin çıkış gerilim değeri denetim değişkeninin (Tranzistörün iletim süresinin) değiştirilmesiyle sistemin kontrolü sağlanmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Sistem analizi, modern kontrol sistemleri, birinci dereceden diferansiyel denklemleri

### **Modern Control Mechanisms in System Analysis**

#### **Abstract**

The aim of this study is to inspect the modern control mechanisms in systems. When the some characteristics of the systems are required to be changed in a time period, it is called as control systems. The variables that determine the current and future characteristics of the systems are called as position variables. A mathematical model should be established when determining the characteristics of the system. The nature of the system should be expressed in terms of position variables obtained through a series of first degree differential equations as a function of time. In this study, mathematical model solutions of the systems having and not having control variables are demonstrated. Afterwards, an application has done in a laboratory setting, within a system having control variables. In this application, the control of the system is ensured through adjusting the

---

\* Yrd. Doç. Dr., Gazi Üniversitesi Endüstriyel Sanatlar Eğitim Fakültesi, Endüstriyel Teknoloji Eğitimi Bölümü

control variable of the output voltage (the transmission period of the transistor).

**Keywords:** System analysis, modern control systems, first degree differential equation.

### 1.Giriş

Sistem, belli bir amaca ulaşabilmek için birbirleriyle karşılıklı ilişki halinde olan unsurların oluşturduğu bir bütündür. Bir sistem en az iki unsurdan oluşur (Blanchard ve Fabrycky, 1990:1-2).

Bir sistemin oluşturulması için gerekli şartlar;

- Amacın belirlenmesi,
- Amaca ulaşabilmek için sistemi oluşturacak unsurların belirlenmesi,
- Unsurlar arasında karşılıklı ilişkinin var olmasıdır.

Sistemi oluşturan unsurlar arasındaki karşılıklı ilişki sayısı aşağıdaki şekilde elde edilir:

$n(n-1)$  = Sistemi oluşturan unsurlar arasındaki ilişki sayısı.

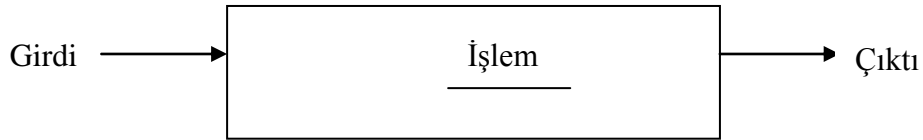
Burada;

$n$  = Sistemi oluşturan unsur sayısını göstermektedir.

Sistemi oluşturan unsurlar sürekli alt sistemlere ayrılmaktadır. Başka bir deyişle, eğer bir üst sistem başka bir sistemi oluşturan unsurlar arasında yer alıyor ise, o sistemin alt sistemi sayılır.

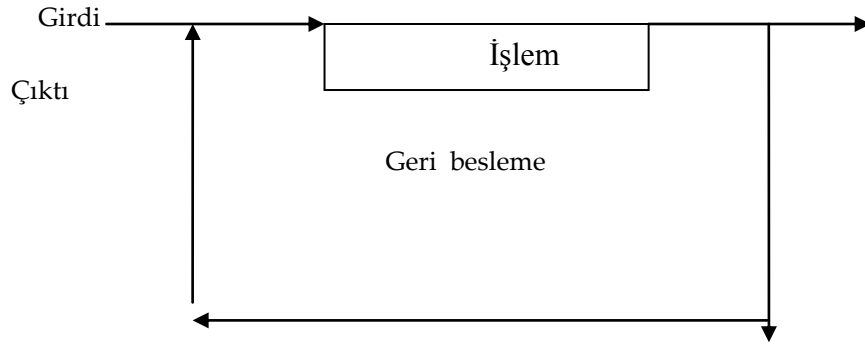
Bir sistemin yapısı üç bölümden oluşur (Tunalıgil ve Eker, 1987:29);

- Girdi (Input)
- İşlem (Process)
- Çıktı (Output),



Şekil 1: Sistemin Oluşturan Unsurlar

Sistemlerde Kontrolü sağlamak amacıyla geri besleme mekanizmasından yararlanılır. Geri besleme mekanizması sistem yöneticilerine sistemin işleyişi hakkında bilgiler aktarır (Licker, 1987).



Şekil 2: Sistemlerde Geri besleme Mekanizması

Geri besleme mekanizmasına Göre sistemler iki gruba ayrılmaktadır;

1. Açık Devre Sistem: Bu tür sistemlerde geri besleme mekanizması yoktur. Başka bir deyişle girdi - çıktı arasında bağlantı söz konusu değildir. Geri besleme mekanizması olmayan sistemler gelişmemiş sistemlerdir.
2. Kapalı Devre Sistem: Geri besleme mekanizması olan sistemlere kapalı devre sistem denir. Başka bir deyişle bu tür sistemlerde girdi ve çıktı arasında bağlantı söz konusudur. Bu tür sistemler gelişmiş sistemlerdir.

Sistemlerde sistem dışında olup, sistemin amacını etkileyen ve sistem yöneticisinin kontrolü dışında olan faktörlerin oluşturduğu çevreye sistemin çevresi denir. Bu faktörler; ekonomik, sosyal, kültürel, siyasi, ideolojik faktörler, iklim koşulları, rakipler, kanunlar, teknolojik gelişmeler ve benzeri faktörlerdir.

Sistemler çevreleri ile olan ilişkilerine göre iki gruba ayrılmaktadır;

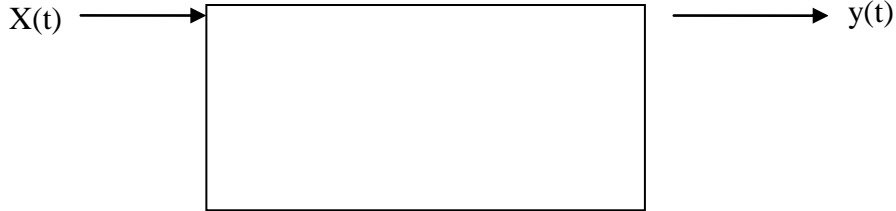
1. Açık sistem: Çevresi ile sürekli karşılıklı ilişki halinde olan ve çevresinden enerji, malzeme, bilgi ve benzeri şeyleri alan ve aynı şeyleri veya onların kalıntılarını çevresine veren sistemlerdir.
2. Kapalı sistem: Çevresi ile herhangi bir ilişkisi olmayan sistemlerdir. Başka bir deyişle kapalı sistemlerin kapıları dış dünya'ya tamamen kapalıdır. Örneğin; atom ve evren

Sistemlerin bazı niteliklerinin zaman içindeki davranışlarını istenildiği gibi değiştirmek istersek buna kontrol sistemi denir. Bu niteliklerden dışarıdan ölçülerek belirlenene sistemin çıkışı denir. Giriş sistemin dışında, çıkış sistemin içindedir. Sistem mühendisliği (kontrolü) açısından bir sistem veya sistem elemanı girdi - çıktı ilişkisiyle karakterize edilebilir (Shinners, 1975).

Sistemler tek girdi - tek çıktı, çok girdi - çok çıktı, doğrusal - doğrusal olmayan ve zaman içinde değişen - değişmeyen şeklinde sınıflandırılmaktadır;

- Tek girdili - Tek çıktılı sistemler:

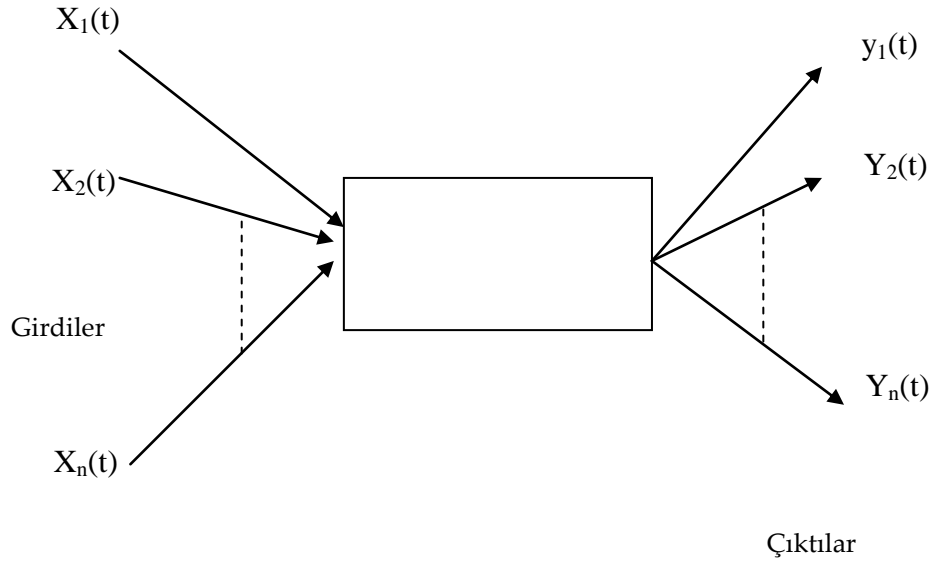
Eğer girdi  $x(t)$  ve çıktı  $y(t)$  ile ifade edilir ise, tek girişli - tek çıkışlı sistemi aşağıdaki şekilde gösterebiliriz.



Şekil 3: Tek Girdili - Tek Çıktılı Sistem

- Çok girişli - Çok çıkışlı Sistemler:

Birden fazla girdi ve çıktısı olan sistemlere çok girişli - çok çıkışlı sistemler denir



Şekil 4: Çok Girişli – Çok Çıkışlı sistem

- Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Sistemler:

$X_1(t)$  ve  $x_2(t)$  girişli ve  $y_1(t)$ ,  $y_2(t)$  çıkışlı bir sistem olduğunu farz edelim.  $C_1$  ve  $c_2$  sabitler olmak üzere,

Girdisi  $x(t) = c_1 x_1(t) + c_2 x_2(t)$ ,

Çıktısı  $y(t) = c_1 y_1(t) + c_2 y_2(t)$

İse, böyle sistemlere doğrusal sistemler denir. Aksı takdirde sistemler doğrusal olmayan sistemlerdir.

- Zamanla Değişen veya Değişmeyen Sistemler:

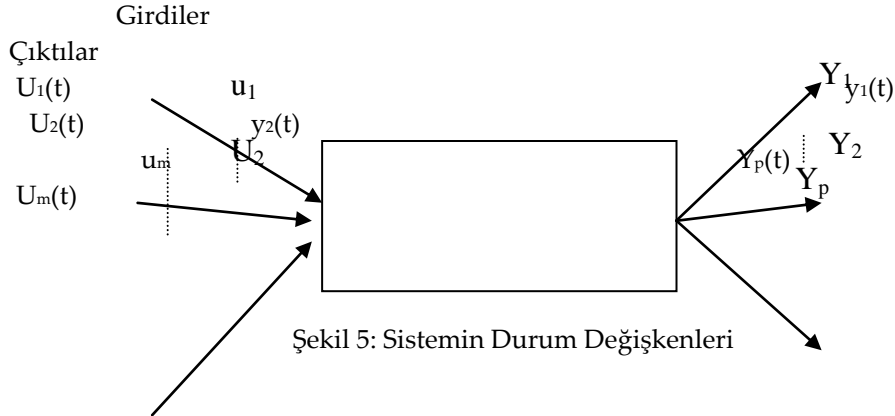
Eğer girdi ve çıktı arasındaki ilişki zamandan bağımsız ise, bu sisteme değişmez zamanlı veya sabit zamanlı sistem denir. Aksi takdirde zamanla değişen sistemdir.

## 2.Yöntem

Sistem durumu, sistemin geçmişteki, şimdiki ve gelecekteki şartlarına işaret eder. Gerçek bir sistemin davranışını belirlerken sistemi matematiksel bir model ile tarif etmek gerekmektedir. Bir sistemin durumunu gösterebilmek için sistemi  $t_0$  anında minimum sayıda bilgi ile ifade etmek gerekir. Çünkü sistemin gelecekteki davranışı önceki girdi değerlerine bağlıdır. Bir başka ifade ile dinamik bir sistemin herhangi bir andaki durumu, bir sistemin gelecekteki davranışını belirlemek için gerekli ve yeterli olan bilgilerin toplamı olarak tarif edilebilir (Elgerd, 1967).

Matematiksel olarak tarif edilirse;

Dinamik bir sistemde, sistemin durumu  $x_1(t)$ ,  $x_2(t)$ ,....., $x_n(t)$  durum değişkenleri ile ifade edilir. Sistemin şu andaki durumu ve bütün dış etkenlerin bilindiği varsayımıyla sistemin gelecekteki davranışını belirleyen değişkenler bu durum değişkenleridir. Şekil ile gösterimi;



Bu sistemde  $u_1(t)$ ,  $u_2(t)$ ,....., $u_m(t)$  girdiler,  $y_1(t)$ ,  $y_2(t)$ ,....., $y_p(t)$  çıktılarıdır. Sistemin  $(x_1, x_2, \dots, x_n)$  durum değişkenleri seti, başlangıç zamanı  $t_0$ 'daki  $x_1(t_0)$ ,  $x_2(t_0)$ ,....., $x_n(t_0)$  başlangıç durum değişkenleri setine bağlı bir settir ve  $t \geq t_0$  için  $u_1(t)$ ,  $u_2(t)$ ,..... ve  $u_m(t)$  girdileri gelecekteki çıktı değerlerini ve durum değişkenlerini belirlemede yeterlidir.

Sistemin durumu, zamanın bir fonksiyonu olarak birinci dereceden bir dizi diferansiyel denklemin durum değişkeni cinsinden ifadesidir. Bu diferansiyel denklemlerin genel gösterimi şöyledir (Istefanopulos, 1981: 110-111);

$$\dot{x}_1 = a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n + b_{11}u_1 + \dots + b_{1r}u_r$$

$$\dot{x}_2 = a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n + b_{21}u_1 + \dots + b_{2r}u_r$$

.....  
.....  
.....

$$\dot{x}_n = a_{n1}x_1 + a_{n2}x_2 + \dots + a_{nn}x_n + b_{n1}u_1 + \dots + b_{nr}u_r$$

$$\dot{x} = \frac{dx}{dt}$$

Diferansiyel denklemlerin matris gösterimi ise;

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} b_{11} & \dots & b_{1r} \\ b_{21} & \dots & b_{2r} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ b_{m1} & \dots & b_{mr} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ \vdots \\ u_r \end{bmatrix}$$

Sistemin kapalı gösterimi  $\dot{x} = AX + BU$  sistemin girdi denklemdir.

Burada;

$[x]_{n \times 1}$  = Durum Vektörü

$[A]_{n \times n}$  = Durum (veya sistem) matrisi

$[B]_{n \times r}$  = Girdi (veya kontrol) matrisi

$[U]_{r \times 1}$  = Girdi vektörü'dür.

Bu doğrusal sistemin çıktısının durum değişkenleri ve girdiler açısından vektör matris denklemleri;

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & \dots & c_{1n} \\ c_{21} & c_{22} & \dots & c_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ c_{m1} & c_{m2} & \dots & c_{mn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} d_{11} & \dots & d_{1r} \\ d_{21} & \dots & d_{2r} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ d_{m1} & \dots & d_{mr} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ \vdots \\ u_r \end{bmatrix}$$

Kısaca,  $Y = CX + DU$  sistemin çıktı denklemdir.

Burada;

$[Y]_{m \times 1}$  = Çıktı vektörü

$[C]_{m \times n}$  = Çıktı matrisi

$[D]_{m \times r}$  = Çiftleme matrisi'dir.

Çiftleme matrisi (D), girdinin çıktı üzerindeki direkt etkisini gösteren katsayıdır.

Sistemin çözümü demek, durum denkleminin çözümüdür.

Sistem (durum) denkleminin çözümü :

Bir sistem (durum) denkleminin çözümü veya sistem davranışı, verilen kontrol vektörü  $U(t)$  ve başlangıç anı  $t_0$ 'daki  $x(t_0) = x_0$  durum vektörü cinsinden ifade edilmesine denir. Matematiksel gösterimi ;

$$X(t) = f(U(t), x_0) \text{ 'dır.}$$

Buna durum denkleminin çözümü veya sistemin davranışı denir.

- Kontrol değişkeni bulunmayan sistemin çözümü :

$x^* = AX$  kontrol değişkeni bulunmayan sistemin durum denkleminin çözümü  $x(t) = e^{A(t-t_0)} x_0$  dir.  $e^{A(t-t_0)}$  ifadesine geçiş matrisi denir. İncelenen sistemler sabit zamanlı olduğundan başlangıç anı  $t_0 = 0$  olarak kabul edilir.

Bu durumda ;

$$X(t) = e^{At} x_0 \text{ olur.}$$

Formülde;

$e^{At}$  = Durum geçiş matrisi' dir.

Orijinal sistemin özvektör matrisi cinsinden çözümü ;

$$X(t) = M e^{jt} M^{-1} x_0 \text{ 'dır.}$$

Burada ;

$M$  = sistemin özvektörü

$e^{jt}$  = Özdeğerlerin Jordan formu

$M^{-1}$  = Özvektörün tersi ' dir (Dorf, 1967).

- kontrol değişkeni bulunan sistemlerin çözümü :

$x^* = AX + BU$  sistemin girdi denklemi 'idi.

Bu denklemin çözümünde  $AX$  ve  $BU$  ayrı ayrı çözülür. Yani ;

$$X(t) = e^{A(t-t_0)} x_0 + B \int_{t_0}^t e^{A(t-z)} U(z) dz \text{ 'dir.}$$

Çıktı denklemi için çözüm ;

$$Y(t) = C e^{A(t-t_0)} x_0 + CB \int_{t_0}^t e^{A(t-z)} U(z) dz$$

elde edilir (Brogan, 1974).

$e^{At}$  'nin hesaplanması :

$e^{At}$  'nin hesaplanması için seri açılım , Cayley – Hamilton , Özdeğer , Fulmer , Laplace ve Sylvester yöntemlerinden yararlanılmaktadır. Ancak burada ilk üç yöntem açıklanmıştır.

Bu yöntemlerde  $e^{At}$  aşağıdaki şekilde elde edilmektedir (Roy ve Close, 1965);



1- Seri açılım yöntemi :

$$e^{At} = I + \frac{(At)^1}{1!} + \frac{(At)^2}{2!} + \dots + \frac{(At)^k}{k!} + \dots = \sum_{i=0}^{\infty} \frac{A^i}{i!} t^i$$

2- Cayley – Hamilton yöntemi :

$$e^{At} = r_0 I + r_1 A^1 + r_2 A^2 + \dots + r_{n-1} A^{n-1}$$

Cayley – Hamilton teoremi :

Bu teoreme göre her kare matris kendi özdenklemini sağlar. Bir A matrisi m\*n'lik bir matris olmak üzere bu matrisin özdenklemini ;

$$|A - \delta I| = \delta^n + b_{n-1} \delta^{n-1} + b_{n-2} \delta^{n-2} + \dots + b_1 \delta^1 + b_0 = 0$$

A matrisi kendi özdenkleminisiğalayacağından ;

$$A^n + b_{n-1} A^{n-1} + b_{n-2} A^{n-2} + \dots + b_1 A^1 + b_0 I = 0$$

Burada ;

$\delta$  = Sistemin özdeğeri

3-Özdeğer yöntemi :

Eğer özdeğerler tekrarsız ise; bu durumda  $e^{At}$  aşağıdaki formülden hesaplanmaktadır :

$$e^{At} = M e^{\Lambda t} M^{-1}$$

$\Lambda$  : Köşegen matris

Eğer özdeğerler katlı ise, bu durumda ;

$$e^{At} = M e^{3t} M^{-1}$$

olarak elde edilir (Shinners, 1975).

Örnek : konunun aydınlanması için kontrol değişkeni bulunan bir sistemi ele alıp, çözümünü yapalım;

$$x^0 = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -2 & -3 \end{bmatrix} x + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} U$$

Çözüm :

$$|A - \delta I| = \begin{vmatrix} -\delta & 1 \\ -2 & -3 - \delta \end{vmatrix} = 0 \longrightarrow \delta_1 = -1, \delta_2 = -2$$

$$(A - \delta_1 I)M_1 = 0 \longrightarrow \delta_1 = -1, (A - \delta_2 I)M_2 = 0 \text{ olur.}$$

Yukarıdaki eşitlikte  $\delta$ 'nın değerini yazdığımızda ;

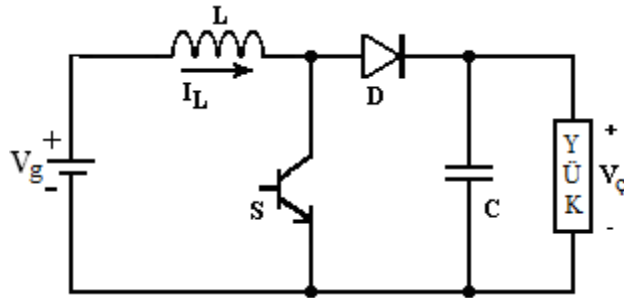
$$\begin{bmatrix} 1 & 1 \\ -2 & -2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} M_{11} \\ M_{21} \end{bmatrix} = 0 \longrightarrow M_1 = \begin{bmatrix} -1 \\ 1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 2 & 1 \\ -2 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} M_{12} \\ M_{22} \end{bmatrix} = 0 \longrightarrow M_2 = \begin{bmatrix} 1 \\ -2 \end{bmatrix}$$

$$\text{Dolayısıyla ; } M = \begin{bmatrix} -1 & 1 \\ 1 & -2 \end{bmatrix} \text{ ve } M^{-1} = \begin{bmatrix} -2 & -1 \\ -1 & -1 \end{bmatrix} \text{ olur.}$$

$$\begin{aligned}
\hat{e}^t &= \begin{pmatrix} e^{\delta_1 t} & 0 \\ 0 & e^{\delta_2 t} \end{pmatrix} \text{ olduğundan ; } e^{t\hat{A}} \cong \begin{bmatrix} e^{-t} & 0 \\ 0 & e^{-2t} \end{bmatrix} \\
e^{At} &= M e^{tM^{-1}} \text{ olduğuna göre ;} \\
e^{At} &= \begin{bmatrix} -1 & 1 \\ 1 & -2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e^{-t} & 0 \\ 0 & e^{-2t} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -2 & -1 \\ -1 & -1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2e^{-t} - e^{-2t}e^{-t} - e^{-2t} \\ -2e^{-t} + 2e^{-2t} - e^{-t} + 2e^{-2t} \end{bmatrix} \\
(e^{At} - I) &= \begin{bmatrix} 2e^{-t} - e^{-2t} - 1 & e^{-t} - e^{-2t} \\ -2e^{-t} + 2e^{-2t} - e^{-t} + 2e^{-2t} - 1 \end{bmatrix} \\
&\quad \begin{matrix} -2e^{-(t-r)} + 2e^{-2(t-r)}e^{-(t-r)} - e^{-2(t-r)} \\ -2e^{-(t-r)} + 2e^{-2(t-r)} - e^{-(t-r)} + 2e^{-2(t-r)} \end{matrix} \\
\int_0^t &\begin{bmatrix} e^{-(t-r)} & -1/2e^{-2(t-r)} \\ -e^{-(t-r)} & e^{-2(t-r)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -\frac{1}{2}e^{-r} + \frac{1}{2}e^{-2r} \\ e^{-r} - e^{-2r} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} dr \\
X(t) &= e^{At} x_0 + \begin{bmatrix} -\frac{1}{2}e^{-t} + \frac{1}{2}e^{-2t} \\ e^{-t} - e^{-2t} \end{bmatrix}
\end{aligned}$$

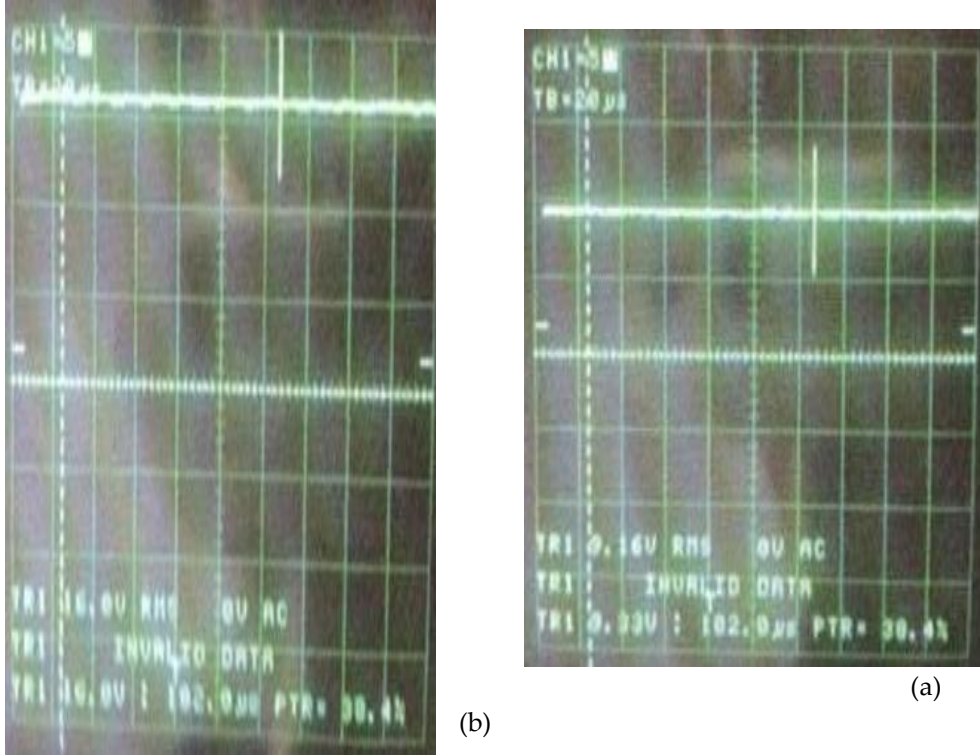
## 2.1 Araştırma İle İlgili Laboratuvar Uygulaması

Konu ile ilgili elektronik laboratuvarında yapılan çalışmanın özeti aşağıda kısaca verilmektedir. Şekil 6'da gösterilen devre bir Doğru Akım yükselticiye aittir. Bu devre, sabit bir Doğru Akım gerilim kaynağından beslenerek elektronik bir yüke enerji aktarmaktadır. Bu devreden faydalanarak giriş güç kaynağının gerilim seviyesi yüksek bir gerilim seviyesine yükseltilebilmektedir. Devrede elektronik bir anahtar (Tranzistör, S) kullanılmaktadır. Tranzistör saniyede 25000 defa açılıp kapanmaktadır (her 40 mikro saniyede Tranzistör iletim ve kesim duruma geçmektedir). Tranzistörün iletim süresinin değiştirilmesiyle yüke uygulanan gerilim seviyesi denetlenmektedir. Yapılan deneylerde giriş gerilimi sabit ve 7.2 volta eşittir. Tranzistörün iletim süresi 8 mikro saniye



olduğunda çıkış gerilimi 9 volt olup (şekil 7-a), iletim süresi 22 mikro saniye olduğunda ise çıkış gerilimi 16 volt olmaktadır (şekil 7-b).

Şekil 6: DA gerilimi yükselten dönüştürücü



Şekil 7: Laboratuvarda Osiloskop yardımıyla ölçülen çıkış gerilim değerleri, a) çıkış gerilimi 9 volt, b) çıkış gerilimi 16 volt

### 3. Bulgular ve Yorumlanması

Yukarıda açıklandığı gibi elektronik devrenin çıkış gerilimi Tranzistörün iletim süresinin değiştirilmesiyle denetlenmektedir. İletim süresinin artmasıyla çıkış gerilimi yükselirken iletim süresinin azalmasıyla çıkış gerilimi azalmaktadır. Buna göre, sabit bir gerilim kaynağından farklı gerilim değeri elde edebilmek için Tranzistörün iletim süresinin değiştirilmesi gerekmektedir. Başka bir ifade ile, devrenin çalışması bir denetim prensibine göre yapılmaktadır. Bu deneyde denetlenen parametre

devrenin çıkış gerilimi ve denetim parametresi ise Tranzistörün iletim süresidir.

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Laboratuvarda yapılan uygulamada kurulan devreden yararlanarak giriş güç kaynağının gerilim seviyesi yüksek bir gerilim seviyesine yükseltilebilmektedir. Tranzistör saniyede 25000 defa açılıp kapanmaktadır. Tranzistörün iletim süresinin değişmesiyle yüke uygulanan gerilim seviyesi denetlenmiştir. Yapılan deneylerde giriş gerilimi sabit ve 7.2 volta eşittir. Tranzistörün iletim süresi 8 mikro saniye olduğunda çıkış gerilimi 9 volt olup, iletim süresi 22 mikro saniye olduğunda ise çıkış gerilimi 16 volt olmaktadır. Böylece ilgili sistemde kontrol sağlanmıştır. Sistemlerin bazı niteliklerinin zaman içindeki davranışları değiştiğine göre, sistemlerin şu andaki durumu ve gelecekteki davranışlarının bilinmesi sistemlerin hayatlarını sürdürebilme açısından büyük önem taşımaktadır. Dolayısıyla, tüm modern ve gelişmiş sistemlerde kontrol mekanizmasının uygulanmasının önemi ortaya çıkmaktadır.

#### Kaynakça

- Blanchard, B., S., Fabrycky, w., J. (1990), SystemsEngineeringand Analysis, Prentice – Hill, Inc.,EnglewoodCliff, New Jersey.
- Brogan, W., L., (1974), Modern Control Theory, Quantum publishersInc., New Work.
- Dorf, R., C., (1967), Modern Control System, Addison – Wesley, Reading, Massachusetts.
- Elgerd, O., I., (1967), Control SystemsTheory, McGraw – Hill, New York.
- Istefanopulas, Y., (1981), StateVariablesandLinear Control System, Boğaziçi University Publications, İstanbul.
- Roy, R., J., Close, C., M., (1965), StateVariablesForEngineering, John Wiley Inc., New York.
- Shinners, S., M., (1975), Modern Control SystemTheoryandapplications, addison – Wesley, Reading, Massachusetts.
- Tunalıgil, B.,G., Eker, B., (1987), Tarımsal Mekanizasyonda Sistem Analizi, Ankara Üniversitesi Basımevi, Ankara.