

Microkontrolör Tabanlı Sıcaklık Ölçümünde Termistör Kullanımı

Prof. Dr. Doğan İbrahim

Yakın Doğu Üniversitesi,
Mühendislik Fakültesi, KKTC

ÖZET

Günümüzde sıcaklık sensörü olarak çok değişik sensörler kullanılmaktadır. Bu yazımızda oldukça yaygın olarak kullanılan termistör sıcaklık sensörlerine göz atacağız. Yazıda ayrıca termistör sensörlerin teorisi ve bu sensörlerin mikro kontrolör tabanlı sistemlerde kullanımları açıklanmıştır.

1. GİRİŞ

Sıcaklık sensörleri sıcaklık ölçüm ve sıcaklık kontrol uygulamalarında kullanılmaktadırlar. Piyasada çeşitli sıcaklık sensörleri bulmak mümkündür. Sıcaklık sensörleri vermiş oldukları çıkış tipine göre ikiye ayrılmaktadırlar: Analog sensörler ve sayısal (dijital) sensörler. Analog sensörler genellikle algılamış oldukları sıcaklığa bağlı olarak bir gerilim veya akım üretmektedirler. Bu tip sensörleri mikroişlemci veya mikro kontrolör sistemlerinde kullanmazdan önce çıkış gerilimini analog-sayısal dönüştürücü (A/D) kullanarak dijitale dönüştürmek gerekir. Dijital sensörler dijital çıkış vermektedirler ve bu sensörler direk olarak mikroişlemci veya mikro kontrolör giriş portlarına bağlanabilirler.

Genel olarak aşağıdaki sıcaklık sensörleri yaygın olarak kullanılmaktadır:

Yarı İletken Entegre Devre Sıcaklık Sensörleri

Genellikle 0 - 100°C arasında kullanılan bu sensörler yarı iletken entegre olarak yapılmıştır. Bu tip sensörler sıcaklık ile doğru orantılı olarak akım veya gerilim üretmektedirler. Örneğin, LM35DZ modeli entegre sensör 3 bacaklı olup çıkış gerilimi 10mV/°C'dir. Örneğin, 20°C sıcaklıkta çıkış gerilimi 200mV ve 30°C sıcaklıkta ise çıkış

gerilimi 300 mV kadardır. Entegre devre sıcaklık sensörlerin dezavantajları çok yüksek veya çok düşük sıcaklıkları ölçmede kullanılmalarının mümkün olmayışıdır.

Termokupıl Sıcaklık Sensörleri

Termokupıl sıcaklık sensörleri normal sıcaklıklara ilaveten çok yüksek ve çok düşük sıcaklıkları ölçmede kullanılmaktadırlar. Örneğin bu tip sensörlerle 2000°C veya üzeri sıcaklıkları ölçebiliriz. Termokupıl sensörlerin elektronik devrelerde kullanımları genellikle diğer sensörlerden daha kompleksdir.

RTD Sensörler

RTD sensörlerin çalışma prensipleri metallerin dirençlerinin sıcaklıkla değişimine dayanmaktadır. RTD sensörler de genellikle hassas ve yüksek sıcaklık ölçümlerinde kullanılmaktadırlar. Bu tip sensörlerin dezavantajı diğer sensörlere kıyasla daha pahalı olmalarıdır.

En yaygın olarak kullanılan RTD metali platinyumdur. Bir platinyumun sıcaklık ve direnç değişimi şu bağıntı ile gösterilmektedir (aşağıdaki formül sadece 0°C ve 650°C arasında geçerlidir):

$$R = R_0 [1 + At + Bt^2] \quad (1)$$

Burada, R, t sıcaklığındaki direnç
R₀, 0°C'daki platinyum direnci
t, sıcaklık
A = 3.9083 x 10⁻³
B = -5.775 x 10⁻⁷

Termistör Sensörler

Termistörler sıcaklık sensörü olarak en yaygın olarak kullanılan sensör tipleridir. Bu sensörlerin standart bir direnç gibi iki bacağı bulunmaktadır. Termistör sıcaklıkla direnci değişen bir direnç tipidir. İki tip termistör bulunmaktadır:

PTC: Bu termistörler *Pozitif Sıcaklık Katsayılı* termistör olarak da bilinmektedirler. Bu tip termistörlerin direnci sıcaklıkla doğru orantılı olarak değişmektedir. Sıcaklık arttıkça direnç artmakta ve sıcaklık azalınca ise direnç azalmaktadır.

NTC: Bu termistörler *Negatif Sıcaklık Katsayılı* termistör olarak da bilinmektedirler. Bu tip termistörlerin direnci sıcaklıkla ters orantılı olarak değişmektedir. Sıcaklık arttıkça direnç azalmakta ve sıcaklık düştükçe direnç artmaktadır. NTC tipi sensörler esas olarak sıcaklık ölçümünde kullanıldıkları için bu sensörlerin teorisine ve elektronik devrelerde kullanımına detaylı olarak göz atacağız.

Şekil 1 de tipik termistörler gösterilmiştir.



Şekil 1.
Tipik termistörler

Yaygın olarak kullanılan sıcaklık sensörlerinin karşılaştırılmaları Tablo 1 de verilmiştir. Tablodan da görüleceği gibi çok yüksek veya çok düşük sıcaklık ölçümlerinde termokupül seçilmelidir.

Tablo 1. Sıcaklık sensörlerinin karşılaştırılması

	Termokupül	RTD	Termistör
Fiyat	Düşük	Yüksek	Düşük
Sıcaklık aralığı	-350 ° C'dan +3500°C	-400°C dan +1200°C	-100°C dan +500°C
Stabilite	Düşük	İyi	Düşük
Hassasiyet	Orta	Yüksek	Orta
Respons	Orta-yüksek	Orta	Orta
Lineerlik	Düşük	İyi	Düşük
Isınma	Yok	Düşük	Yüksek
Büyüklik	Küçük	Orta	Küçük

Termokupül RTD Termistör Fiyat Düşük Yüksek Düşük Sıcaklık aralığı -350 ° C'dan +3500°C -400°C dan +1200°C -100°C dan +500°C Stabilite Düşük İyi Düşük

Hassasiyet Orta Yüksek Orta Respons Orta-yüksek Orta Orta Lineerlik Düşük İyi Düşük Isınma Yok Düşük Yüksek Büyüklik Küçük Orta Küçük

2. NTC TERMİSTÖR SENSÖRLER

NTC termistor kullanarak sıcaklığı ölçmek için ilk olarak termistörün direncini bulmamız gerekmektedir. Direnci bulduktan sonra ise termistörün sıcaklığını bulmak için aşağıda da açıklandığı gibi genellikle 3 değişik metot bulunmaktadır.

METOD 1 – Steinhart-Hart Denklemi

NTC termistörlerde sıcaklık ve direnç arasındaki bağıntı Steinhart-Hart denklemi olarak bilinir ve şu şekilde yazılabilir:

$$1/T = A + B \cdot \ln(R) + C \cdot [\ln(R)]^3 \quad (2)$$

Burada, T sıcaklık (Kelvin olarak)
R direnç (ohm olarak)
A,B,C katsayılar

Yukarıdaki denklemde A,B ve C katsayılarını bulmak için 3 değişik değerdeki sıcaklık değerlerini ve karşılık gelen direnç değerlerini bilmemiz yeterlidir. Örneğin, kullanacağımız termistörün aşağıdaki tabloda verilen sıcaklık ve direnç değerlerini bulduğumuzu kabul edelim:

Bulmuş olduğumuz değerleri (2) nolu denkleme yerleştirirsek,

Sıcaklık (°C)	Direnç (ohm)
0	16,330
25	5,000
50	1,801

0°C için:

$$1/273 = A + B \cdot \ln(1330) + C \cdot [\ln(16330)]^3$$

25°C için:

$$1/298 = A + B \cdot \ln(5000) + C \cdot [\ln(5000)]^3$$

50°C için:

$$1/323 = A + B \cdot \ln(1801) + C \cdot [\ln(1801)]^3$$

Yukarıdaki 3 bilinmeyenli 3 denklemi çözersek, A, B, ve C katsayılarını şu şekilde bulmuş oluruz:

$$A = 0.001284$$

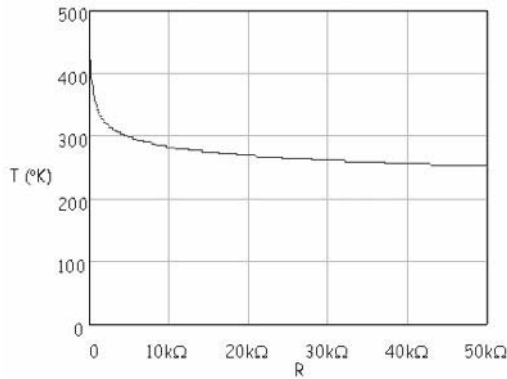
$$B = 2.364 \times 10^{-4}$$

$$C = 9.304 \times 10^{-8}$$

Böylece, sıcaklık ve direnç arasındaki bağıntımız şu şekilde olmuş olur:

$$\frac{1}{T} = 0.001284 + 2.364 \times 10^{-4} \ln(R) + 9.304 \times 10^{-8} [\ln(R)]^3 \quad (3)$$

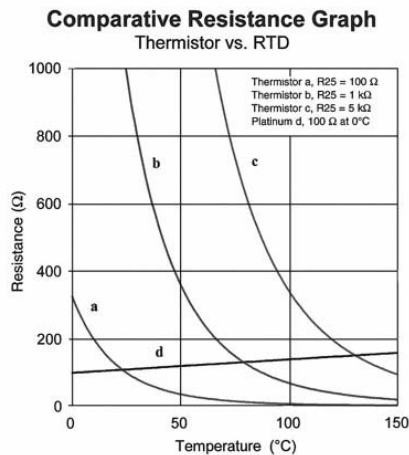
Şekil 2 de katsayılarını bulmuş olduğumuz termistörün sıcaklık-direnç grafiği verilmiştir.



Şekil 2. Termistörün sıcaklık-direnç grafiği

Sıcaklığı ölçmek için termistörün direncini bulup (3) nolu formüle koyup tersini almamız yeterlidir. Formülde logaritma işlemi yapmak gerekmekte olup hemen her program derleyici logaritma işlemlerini desteklemektedir.

Termistörlerin sıcaklık-direnç grafikleri genellikle logaritmik olarak verilmektedir. Şekil 3 de bir termistörün tipik sıcaklık-direnç değişiminin üretici firma tarafından nasıl verildiği gösterilmiştir.



Şekil 3 Termistör sıcaklık-direnç değişimi

METOD 2 – BETA Değerinin Kullanılması

Termistor uygulamalarında kullanılan bir diğer metot ise termistörün “Beta” değerini kullanılmasıdır. Üretici firmalar genellikle üretmiş oldukları termistörlerin Beta değerlerini vermektedirler. Bu değer sıcaklığa da bağlı olduğu için değişik sıcaklık aralıklarında değişik Beta değerleri verilmektedir.

Üretici firmalar genellikle termistörün 25°C'daki sıcaklık ve direnç değerlerini esas olarak almaktadırlar. Herhangi bir sıcaklıktaki termistör direnci ise Beta katsayısı kullanılarak şu şekilde hesaplanmaktadır:

$$R = R_{25} \left(e^{\beta/T} - e^{\beta/T_{25}} \right) \quad (4)$$

Burada R_{25} , 25°C'daki direnç

T_{25} , 25°C

T , sıcaklık

R , direnç

Yukarıdaki formülü sıcaklık cinsinden yazarsak,

$$T = \frac{\beta}{\ln\left(\frac{R}{R_{25}}\right) + \frac{\beta}{T_{25}}} \quad (5)$$

Böylece, β katsayısını ve 25°C'daki direnci bilirse, ölçülmüş olan direnci (5) nolu formüle koyup sıcaklığı kolaylıkla hesaplayabiliriz.

Örneğin, verilen bir termistörün $\beta = 2930$ ve 25°C da direncinin 100 ohm olduğunu kabul edelim. Direncin 52 ohm olarak ölçüldüğü bir ortamda sıcaklığın ne kadar olduğunu hesaplayalım. (5) nolu formülden,

$$T = \frac{2930}{\ln\left(\frac{52}{100}\right) + \frac{2930}{273 + 25}} = 319.23$$

Veya, sıcaklık Santigrat olarak 46.2°C bulunur.

Genel olarak Beta metodu Steinhart-Hart metodu kadar hassas netice vermemektedir.

METOD 3 – Sıcaklık-Direnç Tablosu Kullanarak

Termistör üreten firmalar genellikle üretmiş oldukları termistörlerin dirençlerinin sıcaklık ile değişimini bir tablo halinde sunmaktadırlar. Böyle bir tablodan alınan bir kesinti Tablo 2 de gösterilmiştir (tablolar genellikle termistörün çalışmış olduğu tüm sıcaklık aralığını kapsamaktadırlar).

Sıcaklık (°C)	Direnç (ohm)
0	245.00
5	202.30
10	168.20
15	140.60
20	118.30
25	100.00
30	84.97
35	72.53
40	62.19
45	53.55
50	46.30
55	40.18
60	35.00

Tablo 2 Örnek termistör sıcaklık tablosu

Tablodan da görüleceği gibi sıcaklık arttıkça direnç azalmaktadır. Tabloda olmayan herhangi bir direnç değerine karşılık gelen sıcaklığı bulmak için interpolasyon tekniğini kullanabiliriz. Örneğin, termistör direncinin 79 ohm olarak ölçüldüğünü kabul edersek termistörün sıcaklığının 30°C ve 35°C arasında olduğunu biliriz. Sıcaklığı hassas olarak interpolasyon metodu ile şu şekilde bulabiliriz:

Çeşitli interpolasyon teknikleri bulunmaktadır. İnterpolasyon yapacağımız noktaların bir doğru ile birleştirildiğinde hassas netice vereceğini kabul edersek, verilen (x_0, y_0) ve (x_1, y_1) gibi iki nokta arasında interpolasyon yapmak için Newton'un bölünmüş fark interpolasyon metodunu kullanarak şu formülü yazabiliriz:

$$f_1(x) = f(x_0) + \frac{f(x_1) - f(x_0)}{x_1 - x_0}(x - x_0)$$

Bu örnekte $x_0=84.97$, $x_1=72.53$

$f(x_0) = 30$, $f(x_1) = 35$, ve $x = 79$ dur.

Böylece, yukarıdaki formülü kullanarak 79

ohm dirence karşılık gelen sıcaklığı şu şekilde hesaplayabiliriz:

$$f_1(79) = 30 + \frac{35 - 30}{72.53 - 84.97}(79 - 84.97)$$

Buradan da,

Sıcaklık = 32.4°C olarak bulunur.

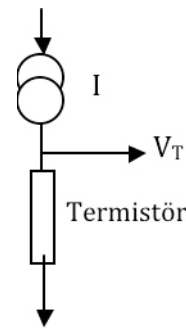
Tablo metodunu kullanırken tablodaki değerler birbirlerine ne kadar yakın olursa o kadar hassas netice elde ederiz.

3. NTC TERMİSTÖRLE SICAKLIK ÖLÇÜM DEVRELERİ

Termistörle sıcaklık ölçebilmek için ilk olarak termistörün direncini ölçebilmemiz gerekmektedir. Direnci bilince, yukarıda bahsedilen herhangi bir metot kullanılarak termistörün sıcaklığı kolaylıkla hesaplanabilir.

Termistörü standart bir direnç olarak kabul edersek verilen bir termistörün direncini ölçmek için en kolay yöntem Şekil 4 de gösterildiği gibi termistörden sabit bir akım geçirip termistörün gerilimini ölçmektir. Sabit akımın I ve termistör geriliminin V_T olduğunu kabul edersek, termistörün direnci R kolaylıkla bulunabilir:

$$R = V_T / I \quad (6)$$



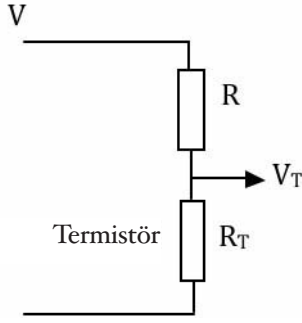
Şekil 4 Termistörden sabit akım geçirmek

Termistör direncini ölçmek için kullanılan başka bir devre ise potansiyel bölücü devresidir. Bu devrede Şekil 5 de görüleceği gibi termistörle seri olarak bir direnç kullanılmakta ve devreye sabit bir gerilim verilmektedir. Termistör çıkışındaki gerilim şu şekilde hesaplanabilir:

$$V_T = \frac{R_T}{R + R_T} V \quad (7)$$

Veya termistörün direnci şu şekilde hesaplanabilir:

$$R_T = \frac{RV_T}{V - V_T} \quad (8)$$



Şekil 5. Potansiyel bölücü termistör devresi

Böylece, termistörün çıkışındaki gerilimini, devrede kullanılan direncinin değerini ve sabit geriliminin değerini bilince termistörün direncini bulmuş oluruz. Şekil 5 de hassas netice elde etmek için dikkat edilmesi gereken nokta direncinin çok hassas olması ve (8) nolu formülün sabit gerilime bağlı olduğu için bu gerilimin değişmemesidir.

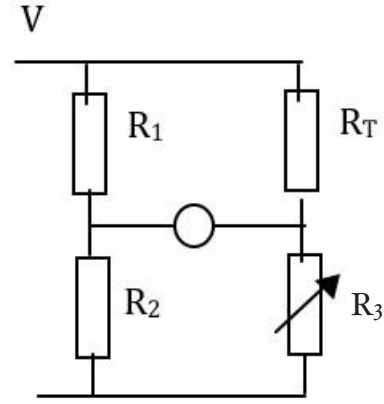
Şekil 6 da termistörün direncini bulmak için köprü devresinde kullanımı gösterilmiştir. Burada köprü devresi balans olduktan sonra termistörün direnci şu formülden hesaplanabilir:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_T}{R_3} \quad (9)$$

Şekil 6 da olduğunu kabul edersek ve köprüyü balans yapmak için direncini değiştirdiğimizi kabul edersek, köprü balans olduğunda termistörün direnci şu formülle hesaplanabilir:

$$R_T = R_3 \quad (10)$$

Böylece termistörün direnci direncine eşit olmuş olur. Köprü devresinin avantajı devrenin balans olmasının V gerilimine bağlı olmamasıdır.



Şekil 6. Termistör köprü devresi

Bilgisayar destekli devrelerde termistör çıkışı analog-sayısal dönüştürücü (A/D) tarafından sayısal olarak dönüştürülmektedir. En yaygın olarak kullanılan devrelerden biri Şekil 7 de gösterilen potansiyel bölücü ve A/D devresidir. Bu devrede potansiyel bölücü ve A/D çevirici aynı V_T referans gerilim tarafından beslenmektedir. Devrenin çalışmasını şu formüllerle açıklayabiliriz:

$$V_T = \frac{R_T}{R + R_T} V \quad (11)$$

A/D çevirici sayısal çıkışını şu formülle gösterebiliriz:

$$ADC = \frac{V_T}{V_r} 2^N \quad (12)$$

Örneğin, 10 bitlik bir A/D kullanırsak, $2^N = 1024$ olur, $V_r = 5.0$ volt ve $V_T = 2.5$ volt olduğunu kabul edersek $ADC = 512$ olur.

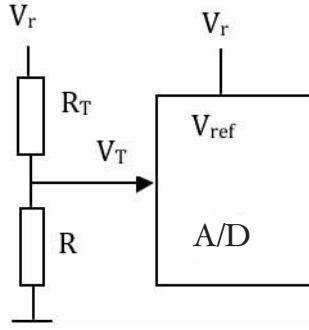
(11) ve (12) nolu formülleri birleştirecek,

$$ADC = \frac{R}{R + R_T} 2^N \quad (13)$$

Termistörün direncini ise formül (13) den şu şekilde bulabiliriz:

$$R_T = \left(\frac{2^N}{ADC} - 1 \right) R \quad (14)$$

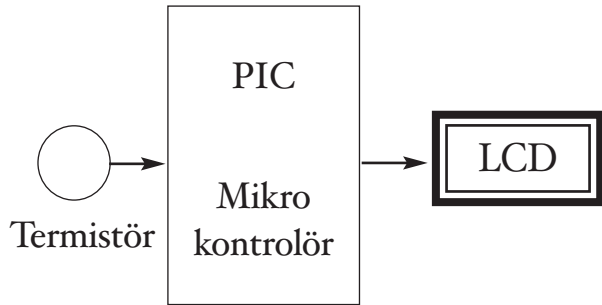
Formül (14) ü kullanarak ilk olarak termistörün direncini bulabiliriz. Daha sonra termistörün sıcaklığını hassas bir şekilde bulabiliriz.



Şekil 7. Termistörün A/D devresinde kullanımı

4. MİKROKONTROLÖR TABANLI SICAKLIK ÖLÇÜMÜ

Bu yazımızda bir mikro kontrolör ve termistör sensör kullanarak sıcaklığın nasıl ölçüldüğüne göz atacağız. Yazımızda, elektronik projelerde yaygın olarak kullanılan PIC mikro kontrolör serisi kullanılmıştır. Sıcaklık ölçüm sisteminin blok şeması Şekil 8 de verilmiştir. Projenin elektrik devresi ise Şekil 9 da verilmiştir.



Şekil 8. Sıcaklık ölçüm sistemi blok şeması

Devrede PIC16F877 modeli bir mikro kontrolör kullanılmıştır. Bu mikro kontrolörün şu özellikleri bulunmaktadır:

- 20MHz kadar çalışma hızı
- 8K flash program belleği
- 368 bayt RAM bellek
- 256 bayt EEPROM bellek
- 33 giriş-çıkış portu
- 8 kanal, 10 bit A/D çevirici
- 3 zamanlayıcı (Timer)

- 14 kesme kaynağı
- USART
- SPI ve I²C modunda çalışma
- 10 bit PWM
- 40 bacaklı

Termistör daha önce açıklandığı gibi bir potansiyel bölücü olarak bağlanmış ve termistör çıkışı mikrokontrolörün ANo analog giriş bacağına bağlanmıştır. Termistör devresinde ısınmayı önlemek için termistörden geçen akımın oldukça küçük olması gerekmektedir. Şekil 9 da termistör ile seri olarak 10K bir direnç bağlanmış ve referans gerilimi olarak +5V seçilmiştir. Ölçülmüş olan sıcaklığı göstermek için devremize bir de LCD takılmıştır.

Sıcaklık ölçüm sistemimizin çalışması oldukça basit olup genel olarak şu şekildedir:

Termistörün çıkış gerilimi mikro kontrolör içerisinde bulunan A/D çevirici ile sayısal dönüşürülür.

(14) nolu formül kullanılarak termistörün direncini ohm olarak buluruz. Burada, A/D çevirici 10 bit olduğu için 1024 adım bulunmaktadır. Direnci veren gerekli formül ise (14) formülünü kullanarak şu şekilde yazılabilir:

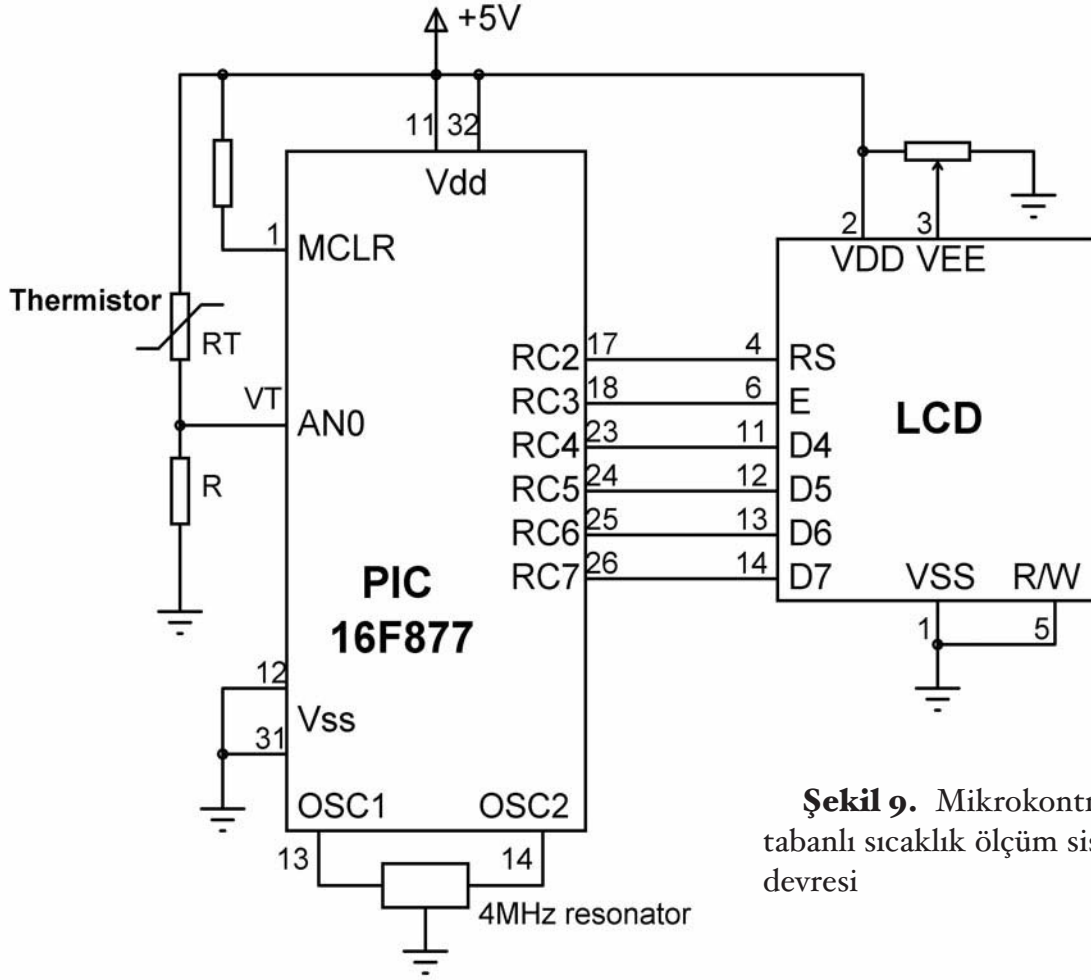
$$R_T = \left(\frac{1024}{ADC} - 1 \right) + R \quad (15)$$

(2) nolu formülü kullanarak (daha önceden termistör katsayılarını bulduktan sonra) termistörün sıcaklığını Kelvin olarak buluruz. Bulmuş olduğumuz sıcaklıktan 273 çıkarıp sıcaklığı Santigrat cinsinden buluruz.

Son olarak, bulmuş olduğumuz sıcaklığı LCD de gösteririz.

1 saniye kadar bekledikten sonra yukarıdaki işlemi tekrarlarız.

Bu durumda sıcaklık dinamik olarak ve gerçek zamanda her saniye LCD de gösterilmiş olur.



Şekil 9. Mikrokontrolör tabanlı sıcaklık ölçüm sistemi devresi

5. SONUÇ

Bu yazımızda termistör sıcaklık sensörlerinin teorisinden ve sıcaklık ölçüm devrelerinde kullanımlarından bahsettik. Birçok avantajları olan termistörler sıcaklık devrelerinde günümüzde oldukça yaygın olarak kullanılmaktadırlar.

Yazımızda bir termistörün mikro kontrolör tabanlı bir sistemde nasıl kullanılabileceği detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

5. KAYNAKÇA

1. <http://www.temperatures.com/rtds.html>
2. <http://www.temperatures.com/thermistors.com>
3. "Thermistors in Single Supply Temperature Sensing Circuits", Microchip Application Note: AN685, <http://www.microchip.com>.
4. Lavenuta, G. "Negative Temperature Coefficient Thermistors – the Temp

Calibration Standard", Sensors, August 1997, pp. 54

5. Lavenuta, G. "Negative Temperature Coefficient Thermistors – Measuring", Sensors, Sept. 1997. pp. 48

6. Baker, B. "Temperature Sensing Technologies", AN679, Microchip Technology Inc. 1998.

7. "NTC Thermistors", Advanced Thermal Products Inc. PO Box 249, 328 State Street, St Marys, PA 15857

8. "Practical Temperature Measurements", Omega catalogue, p. Z-II

9. Cox, D. "Implementing Ohmmeter/Temperature Sensor", AN512, Microchip Technology Inc.

10. "A Simple Thermistor Interface to an SDC", Maxim Inc. Application Note: 1753.

11. "Thermistor Temperature Transducer to ADC Application", Texas Instruments Inc., Analog Applications Journal, Nov. 2000