

Yağ Sıcaklığının Termistör İle Kontrolü

Muharrem KARAASLAN*¹, Emin ÜNAL¹ ve Faruk KARADAĞ²

¹ Mustafa Kemal Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, İskenderun/Türkiye

² Çukurova Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü, Adana/Türkiye

Özet

Bu çalışmada, sıcak metalin yağ içerisinde istenen sıcaklığa getirilmesi işlemi dolayısıyla yağ sıcaklığındaki artışın termistör ile kontrolünü sağlayacak bir prototip sistem gerçekleştirilmiştir. Isınan yağın termistöre etkisi sonucu motorun devrindeki değişimler gözlenmektedir. Sistemin mekanik aksamı, elektronik uygulamaları, bağlantı şemaları ve aşamaları gösterilmektedir. ISIS PROTEUS programı kullanılarak gerçekleştirilen sistemin simülasyonu hazırlanmış ve termistörün sıcaklıkla aldığı farklı direnç değerlerinde, kapasitör şarj-deşarj grafiği, tetikleme sinyali ve çıkış sinyali grafikleri gösterilmiştir. Gerçekleştirilen bu minyatür sistem ile soğutma amaçlı kullanılan yağın ve benzeri sıvıların belli bir sıcaklık üstüne çıktığı durumda yeniden devir daim yöntemi ile soğutulmasını sağlamak mümkün olacaktır.

Anahtar Kelimeler: Termistör, Endüstriyel Elektronik, Haddehane Simülasyonu

Oil Temperature Control Circuit with Thermistor

Abstract

In this study, the temperature of the hot metal is controlled with the control circuit which is connected via the thermistor. First, the hot oil effects the thermistor, then the thermistor resistance decreases following which the Universal motor begins pumping the oil to the cooling system by the control circuit which is activated by oil temperature. Unless the temperature is at the required temperature range, the Universal motor pumps faster to get the oil on the required range. When the Universal motor pumps the oil faster, the temperature decreases more. Finally the temperature of the iron reaches the required temperature range.

In simulations, instead of using a cooling system or water input, we have focused on the Control Circuit and the Universal motor. We have used Proteus for the CAD of the Electronic Circuit. Developed an Oil Tank Cooling System, which will help the students to improve their understanding for when they are working with real time analog systems. It will provide the possibility for the students to see an example of the Electronic Circuit and Mechanical reduced in size for an experimental example.

Key words: Oil temperature, Industrial Electronics, Simulation

* Yazışmaların yapılacağı yazar: Muharrem Karaaslan, Mustafa Kemal Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, İskenderun/Türkiye. muharremkaraaslan@mku.edu.tr

1. GİRİŞ

Isıl işleme tabi tutulan ürünleri soğutmak için çeşitli yöntemler kullanılır. Ventilasyon ve direk su ile soğutma bunlardan birkaçıdır [1]. Haddehanelerde işlenmiş veya yeni kalıba dökülmüş demirin bir sonraki işlem basamakları için soğutulması gerekir. Bu işlem demirin su ile reaksiyon vermesi nedeniyle direk su ile yapılamadığı için yağ kullanılır, yağ tankının içinde bulunan taşıyıcı sistemler ile demir, tankın içine bırakılır ve bu şekilde ısıyı yağa aktarır, ısıyı yağa aktaran demirin üzerinde atölye çalışması yapılmak üzere yine taşıyıcı sistemler ile yağ tankından alınır. Bu sistemde ısınan yağ uygun yöntemlerle tanktan alınarak soğutma tankına aktarılır ve buradan soğumuş yağ tekrar yağ tankının içine verilir. Bu işlemler sonucu döngü ne kadar hızlı yapılırsa yağ o kadar soğuk tutulması mümkündür.

Bu projede yapılan devre, yağ tankındaki yağın ısıyı termistör probu sayesinde NTC'ye aktarmak sureti ile kontrol etmekte ve bu kontrol sonucu eğer demir ve yağ ikilisi uygun sıcaklık aralığında değilse uygun sıcaklık aralığına almak için UJT'nin çıkışına bağlı olan izolasyon devresi aracılığı ile triyak'ı tetiklemekte ve triyak üzerinden motoru sürerek yağ ve demirin istenilen ısı aralığında kalması sağlanmaktadır [2].

Motorun sürülmesi triyakın tetiklenme süresi ile ters orantılı olarak değişecektir. Yani triyak ne kadar erken tetikleniyorsa motor o kadar çok dönecektir, eğer triyak geç tetikleniyorsa yağ istenilen ısı aralığına yakın olacağından, motor daha az dönecektir.

Motora iletilen sinyal ne kadar uzun olursa bir başka deyişle iletim süresi ne kadar uzunsa motor o kadar çok yağ pompalar ve o kadar çok yağ soğutucudan geçer. Buda daha çok ısı transfer demektir. Isısını ısı tankında veren yağ soğumuş olarak yağ tankına gittiğinde yağ tankındaki ısıyı düşürür ve döngü tamamlanmış olur.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Universal Motorlar

Doğru akım seri motoruna benzeyen universal motorların statoru, sac paketlerinden çıkıntılı kutuplu olarak yapılmıştır. Kutuplara kutup bobinleri yerleştirilmiştir. Rotor sac parçalarından yapılmıştır ayrıca doğru akım makinesi endüvisine benzerlik gösterir [3]. Rotor oluklarına yerleştirilen sargılar DC endüvi sargılarının aynıdır. Yapısı nedeniyle hem DC hem de AC'de çalışabilir. Her iki akımda da kullanıldığı için bu motorlara universal motor denilmektedir.

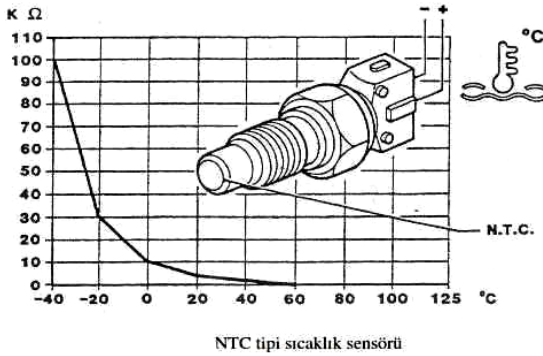
Universal motora bir fazlı alternatif gerilim uygulandığında statordaki kutup bobinlerinden ve endüvi sargılarından alternatif akım geçer. Kutup bobinlerinden geçen akım manyetik alan meydana getirir. Endüvi sargılarından akım geçirilince bir Magneto Motor Kuvvet oluşur ve iletken manyetik alanın dışına doğru itilir. Oluşan bu kuvvet endüvinin dönmesini sağlar [4].

Alternatif akımın pozitif periyodunda kutup bobinlerinden ve endüviden bir yönde akım geçerken negatif periyotta ise her ikisinden de tersi yönde akım geçmesi endüvide N kutbunun altındaki iletkenler bir yönde itilirken, S kutbunun altındaki iletkenlerde ters yönde itilmesine sebep olur [5]. Endüvinin iki tarafındaki bu kuvvet çiftinin meydana getirdiği döndürme momenti ile endüvi dönerken alternatif akımın negatif yarım periyodunda kutuplardan geçen akımın yönü değiştiği için kutuplar değişir. Aynı anda endüviden geçen akımın da yönü değiştiği için kutupların altındaki akım yönleri aynıdır. Manyetik alan tarafından endüvi iletkenlerinin itilme yönleri değişmediği için endüvi aynı yönde dönmeye devam eder. Endüvide meydana gelen döndürme momenti hem endüviden geçen akıma hem de kutupların manyetik akısına bağlıdır. Endüvi ve kutup sargıları seri bağlı olduğu için manyetik akının ve endüvi akımının artışı birlikte olur. Bu yüzden universal motorların kalkınma ve döndürme momentleri yüksektir.

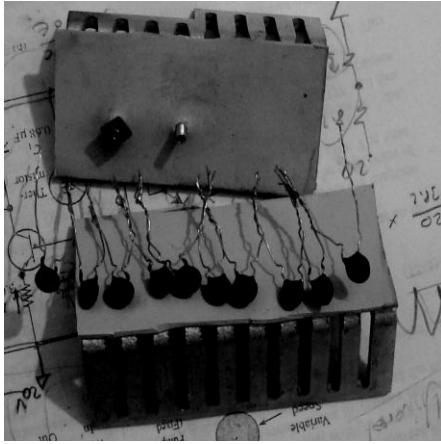
2.2. Kullanılan Sensörler

Termistörleri, sıcaklığın etkisiyle, direncinin azalması veya artması özelliğine göre iki gruba

ayrılabilir. Sıcaklığa bağlı olarak direnci artıranlar pozitif ısı katsayılı (PTC) termistörler, direnci azalananlar ise negatif ısı katsayılı (NTC) termistörler olarak adlandırılırlar. NTC termistörler, manganez oksit, demir oksit gibi maddelere bir miktar titanyum veya nikel oksit, kobalt oksit gibi maddelere de lityum karıştırılmak suretiyle elde edilir [6].



Şekil 1. Direncin Sıcaklıkla Değişimi Grafiği



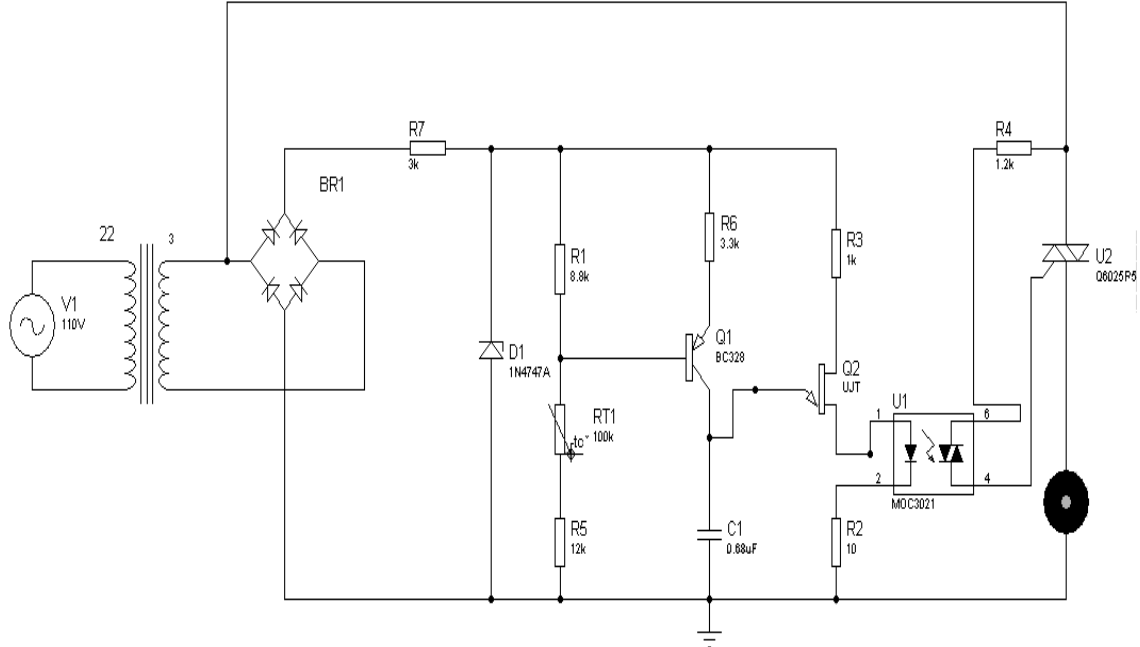
Şekil 2. Oluşturulan sensor grubu

PTC termistörlerde ise, baryum veya stronsiyum gibi maddelere uygun miktarda titanyum oksit karıştırılarak elde edilir. Isıtılan NTC nin yarı iletken yapısındaki kovalent bağlı elektronlar serbest kaldığı için iletkenlik özelliği yükselir, dolayısıyla termistör direnci azalmış olur. Direncin sıcaklıkla değişimi Şekil 1’de grafik olarak gösterilmiştir. Grafikte sıcaklık arttıkça direncin azaldığı gözlemlenmektedir [7].

Devrede kullanılan sensörlerin hepsi NTC olarak seçilmiştir. 10 tane NTC’nin seri bağlanmasıyla elde edilmiş olan 100k lık sensör grubunun ısısının yükselmesiyle direnci düşer ve sistemin çalışması bu şekilde tetiklenmiş olur. Şekil 2 de NTC grubunun oluşum aşamasından bir fotoğrafı görülebilir.

2.3. Elektronik Devrenin Matematiksel Çözülmesi

Modül modül tasarımını yaptığımız devrenin güç modülünü yaparken kullanılan elemanların yaşam ömürlerini arttırmak amacıyla şebeke gerilimini devreye direk uygulamak yerine 220 V/ 30 V trafo kullanarak besleme verilmesi devre elemanlarını korurken ayrıca devrenin laboratuvar koşullarında bilinçli veya bilinçsiz kişilerce çalıştırılması sonucu doğabilecek kazaların önlenmesi açısından da önem taşımaktadır. Çünkü her hangi bir problem halinde 30 V’un, 220 V’a göre devre elemanlarına ve insana zarar verme olasılığı daha düşüktür.



Şekil 3. Elektronik devrenin ilk hali

Sistem pozitif alternansta çalıştığı için köprü diyot ile tam dalga doğrultma sağlanır ve her alternansta zener üzerine ters polarma voltajı olan 20 V düşer bu şekilde devre sinüsün her iki yarısında da 20Vrms ile beslenmiş olur. Zenerden sonra gelen gerilim bölücü transistörün iletme geçmesini ve Ic akımının NTC sayesinde istenilen değerde akmasını sağlar. Bununla beraber şarj olan kapasitör UJT'yi tetikler ve buna bağlı olan opto-isolator triyakyı ateşler. Ateşlenen triyak üzerinden Universal motor beslenir ve motor döner. Şekil 3' de görüleceği üzere devre opto-isolator ile izole edilmiştir, bu izolasyonun sebebi 20V la beslenen devre elemanlarına $220\sin(2\pi \times 50t)$ işaretinin karışmasının istenmemesidir, bu şekilde devrede oluşabilecek arızalar için bir önlem alınmıştır. Aynı devre maliyet ve fizibilite uygunsa izolasyon trafosuyla da gerçekleştirilebilir.

NTC nin 20 K değeri için herhangi bir tetikleme olmadan üzerine düşecek voltaj değerini:

$$V(R_1) = \frac{V(D_1) * R_1}{R_1 + RT_1 + R_5} \quad (1)$$

Voltaj bölüm kuralı kullanıldığında V(RT1) in sayısal değeri:

$$V(R_1) = \frac{(20 * 8,8)}{(8,8 + 20 + 12)} = 4,31V \quad (2)$$

Q1 transistörün base akımını yaklaşık sıfır kabul edersek R6 direnci üzerine düşecek voltaj:

$$V(R_6) = V(R_1) - 0,7 \quad (3)$$

$$V(R_6) = 4,31 - 0,7 = 3,61V \quad (4)$$

*0,7 V çıkarmamızın sebebi transistorün eşdeğer devresi incelendiğinde base-emiter üzerine düşen voltaj değeridir. Bu da kullandığımız transistorün karakteristiğinden gelen sabittir. Transistörün base akımını yaklaşık sıfır kabul ettiğimiz için, transistorün emitöründen geçen akım, kollektöründen geçen akıma yaklaşık eşit olacaktır dolayısıyla UJT henüz tetiklenmediğinden R6 direnci üzerinden geçen akım, kapasitör üzerinden geçen akıma eşit olur. Sonuç olarak;

$$I(R_6) = \frac{V(R_6)}{R_6} \quad (5)$$

$$I(R_6) = \frac{[3,61V]}{[3,3K]} = 1,09mA \quad (6)$$

olarak bulunur.

$$I(R_6) = I(C_1) = 1,09mA \quad (7) \quad \text{UJT nin tetiklenme voltajı;}$$

$$V_p = \mu V(B_1B_2) + 0,6 \quad , \quad \mu = 0,64 \quad (8)$$

$$V(B_1B_2) = 20V \quad V_p = 0,64 * 20 + 0,6 = 13,4 \quad V \quad (9)$$

$$\frac{dV(C_1)}{dt} = \frac{I_c}{(C_1)} \quad (10) \quad t = 8,35 \text{ ms } 50 \text{ Hz frekansta çalıştığımız için şebeke sinyalinin periyodu:}$$

olduğundan

$$T = \frac{1}{f} \rightarrow T = \frac{1}{50} = 20 \text{ ms} \quad (13)$$

$$\frac{[dV(C_1)]}{dt} = \frac{[1,09mA]}{[0,68\mu F]} = 1,60 \frac{V}{ms} \quad (11)$$

20 ms'lik süre zarfında tam bir periyod sağlandığına göre (360°), 8,35 ms' deki değer:

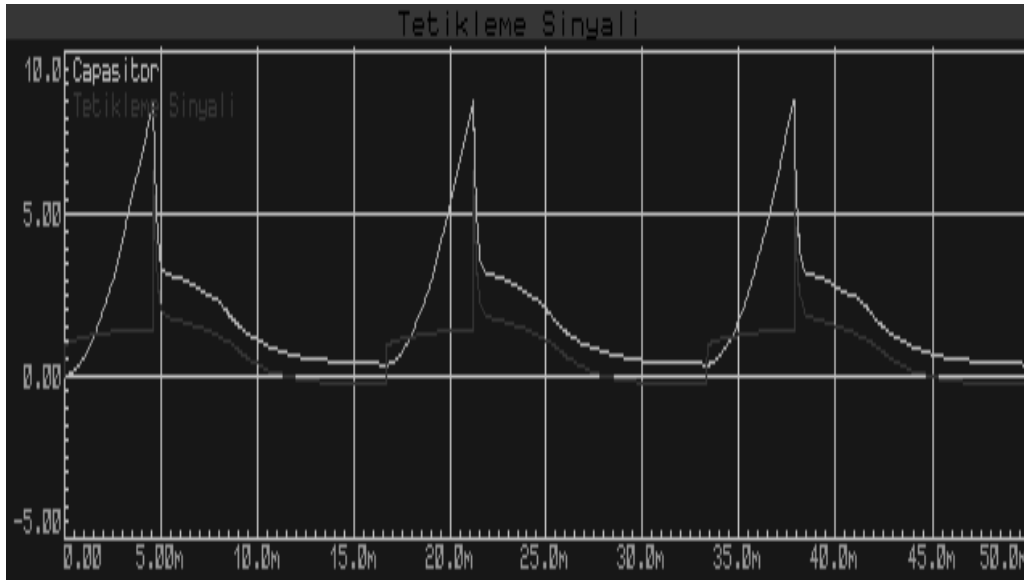
Dolayısıyla tetikleme süresi:

$$\alpha = \frac{(360 * 8,35)}{20} \quad \alpha = 150,3^\circ \quad \text{bulunmaktadır.}$$

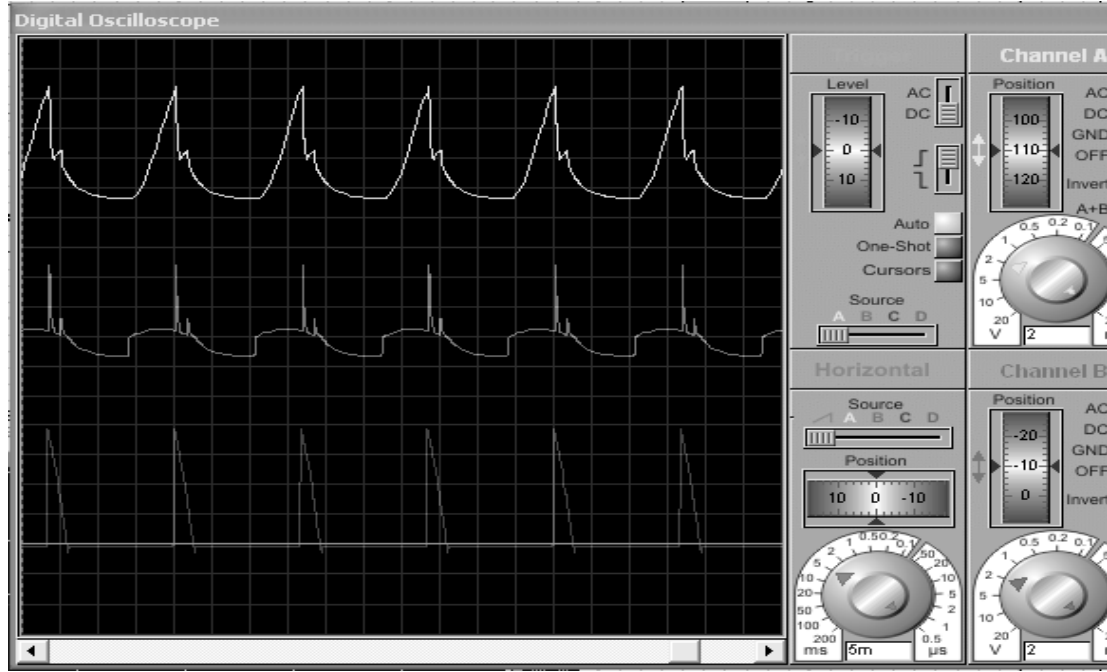
$$t = \frac{V_p}{\left(\frac{[dV(C_1)]}{dt}\right)} = \frac{[13,4V]}{\left(1,60 \frac{V}{ms}\right)} \quad (12)$$

Sistem;

180°-150,3°=29,7° lik bir performansa sahiptir.



Şekil 4. Tetikleme sinyalinin grafiği



Şekil 5. Çıkış sinyallerinin Osiloskop görüntüsü

Şekil 4 te kapasitörün şarj ve deşarj periyoduna bağlı opto-isolator ün girişinde oluşan tetikleme sinyalini, Şekil 5 te ise bu sinyal sonucu tetiklenen triyakın motora gönderdiği sinyali görülmektedir. Görülen bu sinyalden anlaşıldığı üzere yağın istenilen ısı aralığına yakın olduğu ve 150° lik ateşleme açısı sebebiyle motorun az döndüğü motora giden sinyal üzerinden görülmektedir.

3.Prototip Oluşturmada Karşılaşılan Problemler ve Çözümleri

Çalışma sırasında en çok zaman ar-ge kısmına ayrılmıştır. İşlem sırası olarak, kullanılacak eleman

ve malzemelerin temin edilmesinin ardından elektronik bordun hazırlık aşamaları, mekanik aksamın nerede ve nasıl yapılacağı, kaynak ve birleştirme işlemleri şeklinde devam etmiştir. İlk karşımıza çıkan problem devrede dolaşan 220V ve devreyi besleyen zenerin bu voltaj değerinde 15 dakika içerisinde erimesiydi. Çünkü laboratuvar da kullanılan dirençlerin gücü 100V gibi bir gerilimi kaldıracak kadar yüksek değildi. Proteusta çalışan ilk devreyi Şekil 6 da görülmektedir.



Şekil 8. Kullanılan dirençler

Trafonun gerilimini en düşük değerdeki maksimum çalışma geriliminin altında seçildi. Bu yüzden 220V / 30V luk bir trafo kullanması uygun görülmektedir. Şekil 7' de trafo ile oluşturulan devreyi görebilirsiniz. İleride herhangi bir sorun çıkabilir diye Şekil 8(a)'da görebileceğiniz gibi R7 direncinin Watt değerini yüksek bir dirençle değiştirilmiştir. Sistem 20Vrms ile çalıştığından 30V'luk bir gerilim herhangi bir arıza durumunda hiçbir elemana zarar vermeyecektir.

Devreyle ilgili alınan bir diğer önlem, ısınma problemiydi. Motorun kalkış anında yüksek akım çekmesi ve yağın viskozitesinden dolayı motora ağır bir yük binmesi ile triyak yüksek akım çekecektir. Bu sebeple soğutulması gerekiyordu. Soğutma için soğutma ünitesini takmadan devreyi yük altında hiç çalıştırmamak gerekmektedir.

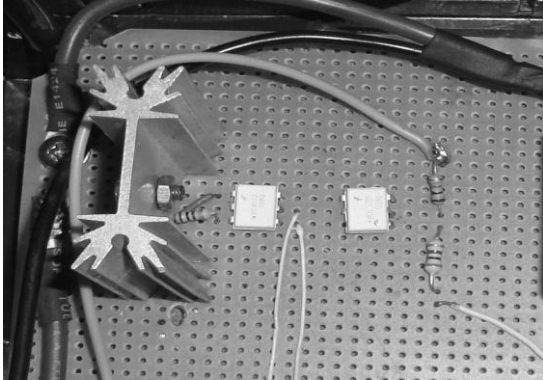
Devreyi ilk önce board üzerine kuruldu, board üzerinde kurulum bittikten ve osiloskopta uygun çıkışları gördükten sonra sırada devrenin gerçek bir plakete kurulması işlemi vardı. Aynı devreyi plaket üzerine kurulduğunda aynı sonuçları görülemedi. Sorunu uzun bir süre birçok delikli pertinax ve devre elemanı harcayarak çözmeye çalışıldı. Aynı devre boardda herhangi bir lehimleme işlemi yapılmadan kurulduğunda veya delikli pertinaxta krokodillerle birleştirildikten sonra çalışıyor, fakat lehimleme işleminden sonra triyak öngörülen grafikleri vermemiştir. Sorunun işçilikte ve lehimlemelerde olduğunun farkına varılması devrenin ayrıntılı olarak incelenmesi ile mümkün olmuştur. Bunun farkına varıldığında direnç değerlerinin lehimlemeden önce ve sonra olmak üzere bir listesi çıkarıldı, gerçekten lehimleme işlemi direnç seviyesinde gözle

görülebilen değişiklikler yapıyordu. Kapasitörün deşarjı 10Ω üzerinden yapılırken lehimleme işlemiyle bu 30Ω a kadar çıkıyordu. Buda eğer matematiksel olarak tetikleme süresini 8ms bulunduyorsa bu süreyi üç katı olan 24ms ye çekiyordu, bir periyodun 20ms olması 24msnin periyodun üzerinde bir değer olması ve bu sorunun sistemin çalışma prensibini bozmasından ötürü çözülmesi gereken en büyük problemdi.

Bu problemi çözmek direncin değerini 10Ω yerine 3Ω a çekmek kadar kolay olmamaktadır, çok ince bir ayar tutturmak gerekiyordu. Çünkü hat üzerinde sadece saf direnç yoktu bir opto-isolator vardı ve bu elemanın iç direncini ölçmekte oldukça zordur. Sorun bir devrede aktif çalışma anında herhangi bir elemanın giriş empedans değeri standart multimetrelerle ölçülememesidir. Farklı yollarla (V/I) ölçülse bile bu 5 ms aralıkta LCDde görülememekte, elemanı devreden söküp direnci ölçülmek istendiğinde ise opto-isolator çalışma prensibinden ötürü kesimde iken sonsuz direnç göstermektedir. Bu yüzden bu yolla da ölçülemeyen empedans değeriyle oynama yapılamamasına rağmen, bu değeri düşürmek gerekmektedir.

Sorunun çözümünü opto-isolatore paralel çalışan fakat çıkış bacakları boşa bırakılmış aynı değerde sahip başka bir opto-isolator(Şekil 9) lehimleyerek gerçekleştirildi. Bu şekilde iki opto-isolator aynı anda çalışacağı için (paralel olarak) giriş empedansı çalışma anında tam olarak yarıya düşecekti, nitekim de öngörülen şekilde sistem boarddaki sistemle oluşturulan grafiklerin aynısını çizmiştir.

Devreye sensörü yerleştirmeden, deneme süresince 100k Ω luk bir potansiyometre kullanılmıştır. Bu şekilde herhangi bir ısıtma soğutma yapmadan defalarca devreyi çalıştırma imkanı elde edilmiştir. Bu pratik çözümlerle, ısıtma ve soğutma ile zaman kaybedilmemiş olacaktır. Mekanik aksamı yaparken ilk başta motoru santrifüje akuple olarak bağlanmıştır, yani motorun mili santrifüjün milini direk çevirmekte, bu yükte motor kalkış yapamamaktadır, sadece en yüksek devirde santrifüjü çevirebiliyor onun dışındaki aralıklarda sistemi çalıştıramamaktadır. Elektronik olmayan bu sorunu çözmek için sistemimizde aynı şekilde çalışabilen elektrikli dikiş makineleri motoru kullanılmıştır. motorun yükünü düşürüp santrifüjün dönme sayısını azaltmak sisteme bir zarar vermemekte, sistemimiz daha az devirde de çalışabilir olduğundan hemen motorun miline uygun bir kasnak ile sistemi tekrar kurduk. Uygun kasnak ve lastiği bulduktan ve sistemi kurduktan sonra motora düşen güç azaldığı için kolaylıkla kalkışını yapabilir duruma gelmişti.



Şekil 9 Opto-couple çifti

Sistemde 100k Ω 'luk NTC yerine 10 tane seri bağlı 10k Ω 'luk NTC kullanılarak sistemin prototipini çalıştırırken yağ yerine kullanılacak su için deneme mümkün kılınmıştır. Yağ için 120 $^{\circ}$ C-180 $^{\circ}$ C aralığında bir çalışma periyodu izlemesi gereken motor suyun kaynama noktasından dolayı hiç çalışmayacaktır. Yağı ısıtıp soğutmakta çok uzun zaman alacağından, seri bağlı olan 10 NTC yerine su ile çalışırken 6. NTC'nin bacağından çıkış alınarak bu sorun giderilmiştir. Bu şekilde

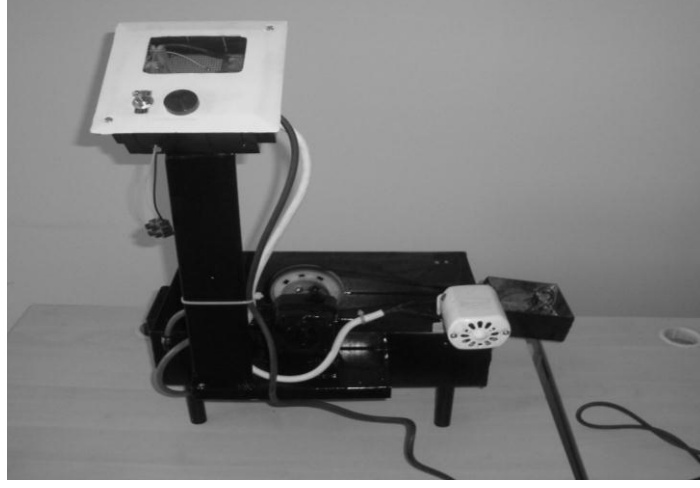
çalışma esnasında motor maksimum performansını 180 $^{\circ}$ C derece yerine 100 $^{\circ}$ C de göstermiştir.

4. SONUÇLAR

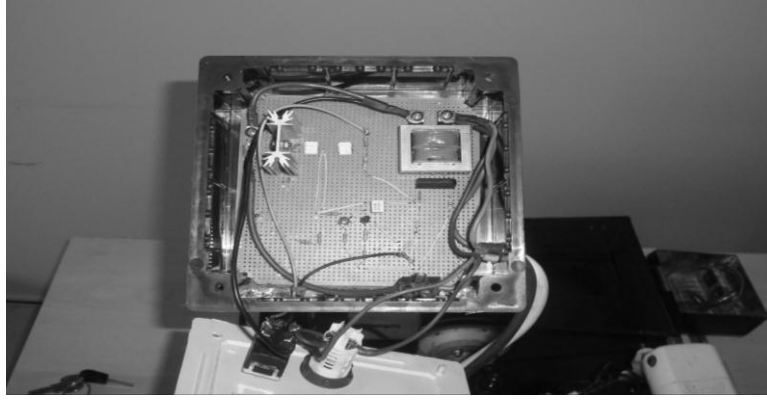
Bu çalışmada Endüstride kullanılan analog bir ısı algılayıcı devresi hem mekanik hemde elektronik donanımıyla birlikte geliştirilmiştir. Geliştirilen bu sistemin son halinin fotoğrafını Şekil 10 'da ayrıca devrenin son halini Şekil 11' de görülmektedir. Isis Proteus programı kullanılarak Elektronik modellemesi yapılan devre grafikleri öngörülmesi gibi gerçek devrede de aynı sonuçları vermiştir. Gurup çalışması sonucu ortaya çıkan bu proje sayesinde UJT Relaxation Oscilator ile güç katının elektronik kontrolü sağlanmış, sensör kullanımı ile sistemin ısı bilgisi elektronik devreye iletilmiş, opto-couple, opto-isolator kullanımı, optik izolasyon, magnetik izolasyon, güç kontrol devrelerinde triyak kullanımı, Endüstriyel Tasarım, Spice ve Proteus içeren geniş bir yelpazede çalışma yaparak haddane benzeri yerlerde soğutucu eleman olarak kullanılan yağ ısı kontrol sistemi prototipi üretilmiştir.

Üretilen prototip ile suyun çok daha yüksek sıcaklığında kaynama derecesine sahip olan yağ içerisinde bulunan sıcak demir parçalarının yağ ile sıcaklık etkileşimi sonucu yağın sıcaklığı artmıştır. Bu sıcaklığın belli bir dereceye çıkması durumu termistör devresi ile takip edilmiş ve yağın dolaşımı elektriksel sistem sayesinde sağlanarak soğutulması gerçekleştirilmiştir. Sistemin çalışması ayrıca soğutucu olarak suyun kullanılması durumu içinde incelenmiş ve sistemin farklı soğutucular için uygun olduğu gözlenmiştir.

Görülen odur ki bir sistemin soyut çözümlenmesi ile birlikte matematiksel hesaplamaları yapıldıktan sonra fizibilite çalışması sırasında sistem üzerinde birçok değişiklik yapılması gerekebilmektedir. Bu yüzden modüler tasarımın önemi artmaktadır. Modüler sistemlerin gerek entegrasyonlarının kolaylığı gerekse gelişime açık olmaları sebebiyle bundan sonraki çalışmalarımızın hepsinde modüler yapılar geliştirmek istemekteyiz.



Şekil 10. Projenin son hali



Şekil 11. Devrenin son hali

5. KAYNAKLAR

1. Akın, E. ve Karaköse, M., Elektrik ve Bilgisayar Mühendisliği Eğitiminde Sanal laboratuvarların Kullanımı, Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendislikleri Eğitimi 1. Ulusal Sempozyumu, Ankara, 30 Nisan-2 Mayıs 2003
2. Timothy J. M., Modern Industrial Electronics Fifth Edition, Pearson Prentice Hall Book Company, New Jersey, Columbus, Ohio, 2010
3. Miller R., Miller M. R. Industrial Electricity and Motor Controls, McGraw – Hill Book Company New York, NY, 10121-2298, 2007.
4. Dorf R. C., Bishop R. H, Modern Control Circuits, Pearson Prentice Hall Book Company, Pearson Education, Inc., New Jersey, NJ 07458 , 2008
5. Tomal D., Widmer N., Electronic Troubleshooting, McGraw – Hill Book Company, New York 2003
6. Rashid M. H. Power Electronics Handbook, Elsevier Inc. Jordan Hill Oxford 2010
7. Rorabaugh B., Mechanical Devices For The Electronics Experimenter McGraw – Hill Inc., USA, 1995