

Inverter Klima Elektronik Kontrol Sistemi Tasarımı

Inverter Air Conditioner Electronic Control System Design

Ersin SARIKAYA¹, Nihan KAHRAMAN¹, Halime USTA YOĞUN², İlker YAĞCI²

¹Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği, Elektrik-Elektronik Fakültesi

Yıldız Teknik Üniversitesi

ersinsarikaya@gmail.com, nicoskun@yildiz.edu.tr

²ARÇELİK-LG Klima A.Ş.

halime.usta@arcelik-lg.com, ilker.yagci@arcelik-lg.com

Özet

Inverter klima elektronik kontrol sistemleri iç ünite ve dış ünite olmak üzere iki birimden oluşmaktadır. Bu çalışmada iç ünite elektronik kontrol kartı tasarımı gerçekleştirilmiştir. BLDC motor, sıcaklık sensörü, step motor, seri haberleşme, kızılötesi alıcı gibi kontrol edilecek birimler ile ilgili yazılım algoritmaları oluşturulmuş ve kontrol sistemine yerleştirilmiştir. Yazılımlar C programlama dilinde yazılarak Mplab v8.86 C derleyicisinde derlenip makine diline çevrilmiş ve Microchip firmasının 32-bitlik mikrodenetleyicisine yüklenmiştir. Inverter klimanın çalışması ile ilgili termal çevrim algoritmaları ilk önce C++ programlama dili ile bilgisayar ortamında geliştirilen simülasyon programında çalıştırılmış ve daha sonra bu algoritmalar mikrodenetleyici ortamına uyarlanmıştır. Termal çevrim algoritmaları; ısıtma algoritmaları, soğutma algoritmaları, defrost algoritmaları ve güvenlik algoritmalarından oluşmaktadır. Bu algoritmalar iç ve dış ünite birimlerindeki sıcaklık verilerini alarak kompresör frekansı, fan hızı, genişleme vanası pozisyonu gibi donanımsal birimlerin çalışma aralığını belirlemektedir. Bu değerleri belirlerken bulanık mantık, oransal kontrol gibi kontrol yöntemleri kullanılmıştır. Bu çalışmaların sonucu olarak inverter klima elektronik kontrol sistemi gerçekleştirilmiştir.

Abstract

Inverter air conditioner electronic control systems consists of two units which are indoor unit and outdoor unit. Inverter air conditioner electronic control system's hardware units applied in practice. Software algorithms are developed for controlling BLDC motors, temperature sensors, stepper motor, serial communications, infrared receiver units and added to the

system. Softwares are implemented using C programming language on Microchip's 32-bit micro controller. Also micro controller is programmed using the MPLAB C Compiler v8.86. Before running algorithms which are implemented in C programming language on micro controller, inverter air conditioner thermal converter control system algorithms are tested on a simulator program written in C++ programming language. Thermal conversion algorithms consists of heating algorithms, cooling algorithms, defrost algorithms and security algorithms. These algorithms get temperature data in indoor and outdoor units to determine work range of hardware units such as compressor frequency, fan speed, the expansion valve position. While determining these values, control methods such as proportional control, fuzzy logic were used.

As a result of these studies, inverter air conditioner electronic control system was designed and developed..

1. Giriş

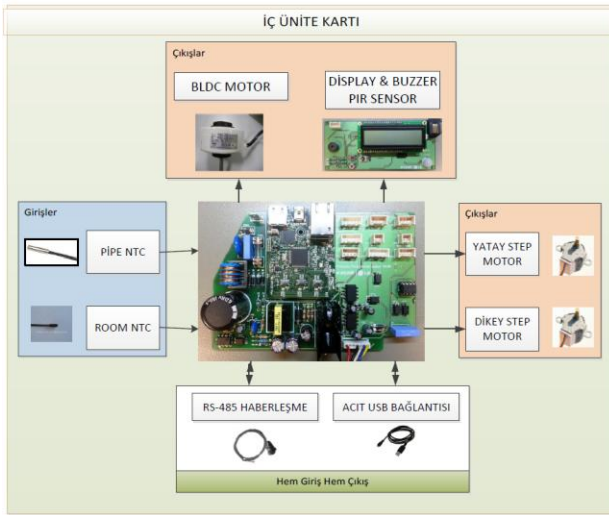
Sabit kompresör hızına sahip on-off klimalar günümüzde geniş bir şekilde kullanılmaktadırlar. Fakat bu klimalarda oda sıcaklığı ne olursa olsun klima açıkken harcanan enerji hep aynıdır. Kompresör hızı sabittir ve iki konumdadır (on/off). Sıcaklık değişiklikleri belli bir eşiği geçmediği sürece harekete geçmez, dolayısıyla ortam sıcaklığı dalgalanır. On-off klimalar bu yönleri itibarıyla enerji verimliliği açısından iyi bir tablo ortaya çıkarmamaktadırlar. Inverter klimalarda ise istenilen sıcaklığa yaklaştıkça kompresör yavaşlar ve daha az enerji harcar. Kompresör dur-kalk yapmadığı için oda sıcaklığındaki değişimlere karşı daha hassastır ve motor ömrü daha uzundur. Ortam sıcaklığındaki oynamaları düzeltmek için gereken enerjiden fazlasını harcamaz ve bu da inverter klimaların enerji verimliliği açısından ne kadar önemli olduğunu göstermektedir. Inverter klima elektronik kontrol sistemi iki birimden

oluşmaktadır. İç ünite birimi ve dış ünite birimidir. Bu çalışmada iç ünite elektronik kontrol kartı tasarımı ve yazılımı gerçekleştirilmektedir. Mekanik aksamalar olarak LG firmasının SB UA3+ modelli kliması kullanılmaktadır [3]. Dış ünite elektronik kontrol sisteminde kompresör kontrolü, elektronik genleşme vanası kontrolü (eev), dört yollu vana ve sıcaklık okuma birimleri kontrol edilmektedir. Bu kontrolü iç ünitenden gelen bilgilere göre sağlamaktadır. Dış ünite, iç üniteye sıcaklık bilgilerini göndererek termal çevrim algoritmalarında giriş olarak kullanılmaktadır.

Literatürde inverter klima elektronik kontrol sisteminin bulanık mantıkla kontrol edildiği çalışmalar da bulunmaktadır. Bu çalışmada, iç ünite ve dış ünitenden oluşan inverter klimanın iç ünitesinde ADC ile sıcaklık okuma, dış ünite ile haberleşme, uzaktan kumanda kontrol programı, fan motoru kontrolü ve bulanık mantık sıcaklık kontrol programı açıklanmıştır [1].

2. Inverter Klima İç Ünite Kartı Donanımı

Elektronik kontrol donanımına giriş olarak; iki adet NTC sıcaklık sensörü (ortam ve boru sıcaklığı), uzaktan kumanda vasıtasıyla kullanıcının girdiği komutlar ve iç-dış ünite arası haberleşme kapsamında çalışma adımları ile ilgili veriler gelmektedir. Çıkış olarak ise, fırçasız DC motor, step motorlar, buzzer ve ekran bulunmaktadır. İç ünite kartının ana görevi kullanıcının uzaktan kumanda vasıtasıyla girdiği çalışma adımlarını yönetmektir. Inverter klima iç ünite elektronik kontrol sistemi belirtilen giriş verilerini kullanarak, üzerinde çalışan kontrol algoritmaları vasıtasıyla hava yönlendirme motorları ile iç ünite havalandırma fanını kontrol etmektedir. İç ünite kartının giriş ve çıkış birimleri Şekil 1’de gösterilmiştir.



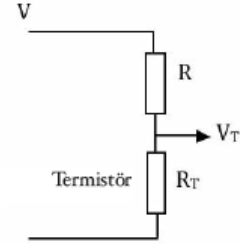
Şekil 1: İç ünite kartının genel şeması.

2.1. İç Ünite Kartı Ana Kontrol Birimi(Mikrodenetleyici)

İç ünite kartında 32-bitlik PIC32MX795F512L mikrodenetleyicisinin bulunduğu Microchip firmasının PIC32 ethernet modülü kullanılmaktadır [4].

2.2. Sıcaklık Sensörü (NTC)

Inverter klimalarda modelden modele değişmekle birlikte, iç ünite evaporatör pasları üzerine kullanılan termal çevrim kontrol yöntemine göre belirli adette sıcaklık sensörü yerleştirilmektedir. Genelde evaporatör giriş, orta ve çıkış pasları tercih edilmektedir. Boru sıcaklığı vasıtası ile akışkanın sıcaklığı ölçüleceğinden, sensörün boruya teması ve sabitlenmesi için bir bakır sensör kılıfı (housing) kullanılmıştır. İç ünite kontrol kartı yukarıda yerleşim yerleri verilen ortam sensörü ve evaporatör boru sensörü bilgisini kullanarak; dış ünite üzerinde yerleştirilmiş üç adet sıcaklık sensörü bilgisi ile birlikte ilgili görev ve fonksiyonları yerine getirmektedir. Şekil 2’de gerilim bölücü termistör devresinin en basit hali görülmektedir. Burada V gerilimi sabit bir gerilim olup, referans gerilimi olarak adlandırılır. Pic32MX795F512L mikrodenetleyici pin çıkışlarından 3.3V verdiği için, V referans gerilimi 3.3V alınmaktadır. R direnci de sabit değerli bir dirençtir. Bu direnç değeri boru sıcaklık sensörü/NTC için 6.2 KΩ, ortam sıcaklık sensörü/NTC için 12.1 KΩ alınmaktadır [5].



Şekil 2: Sıcaklık sensörü gerilim bölücü.

T1 sıcaklığındaki termistör direncini (R_T) bulmak için

$$R_T = R_{St} * \exp\left[\left\{\frac{1}{273,15 + T_1} - \frac{1}{273,15 + T_{ref}}\right\} * B\right] \quad (1)$$

ifadesi kullanılmaktadır. Burada “B”, termistörün sıcaklık değişimdeki direnç eğilim sabiti, “ R_{St} ” standart direnç (NTC için 10K alınmıştır), “ T_{ref} ” ise referans sıcaklığı ifade etmektedir (25 C°). Buna göre her sıcaklık değeri için R_T değeri hesaplanmaktadır.

$$V_T = \frac{R_T}{R + R_T} * V \quad (2)$$

R_T değerleri bulunduktan sonra denklem 2’den V_T değerleri bulunur. V_T gerilimi mikrodenetleyicinin analog girişine uygulanacak olan gerilimdir. V_r gerilimi referans gerilimi ve 3.3

voltttur. ADC dönüştürücü çıkışındaki dijital ifade denklem (3) ile hesaplanır.

$$ADC = \frac{V_T}{V_r} * 2^N \quad (3)$$

2.3. Nem Sensörü

İç ünite kartında ortam nemini algılamak için, Sensirion firmasının SHT11 entegre nem ve sıcaklık sensörü kullanılmaktadır. SHT11 12-bit çözünürlükte nem ile 14-bit çözünürlükte sıcaklık (T) ölçebilen, ayrıca kalibrasyon gerektirmeyen bir sensördür. Güç tüketimi çok düşük olduğundan bu çalışmada seçilmiştir [6].

2.4. Step Motor

Inverter klima iç ünitesinde iki adet step motor kullanılmaktadır. Bunlardan bir tanesi aşağı-yukarı hareketleri, diğeri ise sağ-sol hareketleri yapmak için kullanılmaktadır. Klimadan çıkan şartlandırılmış hava, step motorlar kullanılarak ve klimanın kanatları oynatılarak seçilen fonksiyon çeşidine göre yönlendirilir [7].

2.5. Fırçasız DC Motor (BLDC)

BLDC motor klimanın iç ünitesinde yer almakta ve hava sirkülasyonunu sağlayan cross flow fan'ın dönmesini sağlamaktadır. BLDC motor pulse width modulation (PWM)sinyaliyle sürülerek değişik frekanslarda isteğe göre ortama hava sirkülasyonunun yapılması sağlanmaktadır.

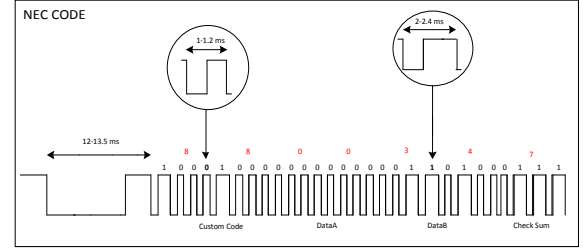
2.6. Haberleşme Devresi

Haberleşme katı dış ünite ile iç ünite arasındaki bağlantıyı sağlamaktadır. Ana kontrol birimi olarak iç ünite bulunmakta ve yardımcı kontrol birimi olarak da dış ünite bulunmaktadır. Bütün kontrol iç ünite kartı tarafından sağlanmaktadır. Bu yüzden dış ünitenin ne yapacağını iç ünite söylemektedir. Buradaki haberleşme RS-485 protokolü ile yapılmaktadır.

İç ünite kartı dış üniteye veri gönderdikten sonra kendini alıcı konumuna alır ve veri gelmesini beklemektedir. Saniyede bir iç ünitenden dış üniteye veri gitmektedir. Haberleşmede 9600 baudrate kullanılmaktadır. İç ünite kartından dış ünite kartına on iki byte veri gönderilmektedir. Dış ünite iç ünitenden verileri aldıktan sonra iç üniteye 30 byte veri göndermektedir.

2.7. Uzaktan Kumanda

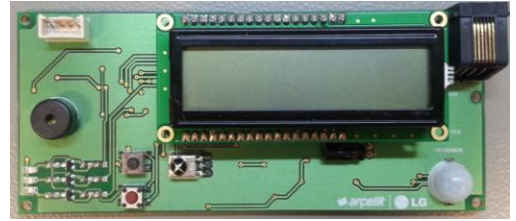
Uzaktan kumanda kızılötesi haberleşmesi ile display kartı ile haberleşmektedir. IR alıcısı ile uzaktan kumandadan gönderilen sinyaller alınarak mikroişlemciye gönderilmektedir. Uzaktan kumandada NEC infrared transmisyon protokolü kullanılmaktadır. Bu protokol uzaktan kumandadan gelen sinyalleri şifrelemek için kullanılmaktadır. Şekil 3'de uzaktan kumandadan nec kodları ile gelen sinyaller gösterilmiştir.



Şekil 3: Uzaktan kumanda sinyali gönderimi.

2.8. Kullanıcı Görsel Arayüz Kartı

Bu kartta kızılötesi alıcısı, bir adet buzzer ve karakter ekran ve mikrodenetleyici yer almaktadır. Karakter ekranın arka plan ışığı her mod için farklı yanmaktadır. Soğutma için mavi, ısıtma için kırmızı yanmaktadır. Ayrıca ekranda ayarlanan sıcaklık değeri, fan değeri, çalışma modu yazmaktadır. Buzzer ile sesli uyarı vermektedir. İç ünite kartı ile seri haberleşme ile haberleşmektedir. Şekil 4'de display kartı gösterilmektedir.



Şekil 4: Display kartı görünümü.

3. Inverter Klima İç Ünite Yazılımı

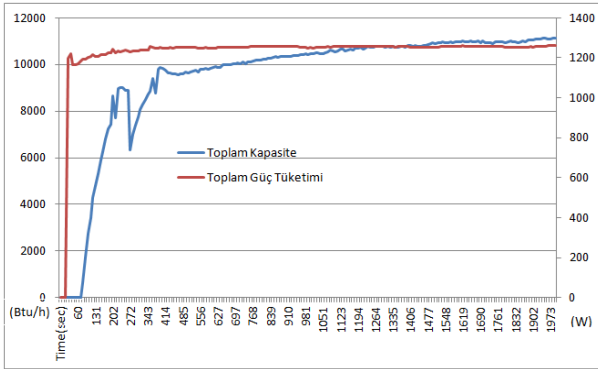
Inverter klima iç ünite elektronik kontrol sisteminin yazılımında termal çevrim algoritmaları ve donanımsal birim kontrol algoritmaları bulunmaktadır. Donanımsal algoritmalar sıcaklık sensörlerinden sıcaklık hesaplama, BLDC motorun çalışması, step motorlar ile hava yönlendirme, dış ünite ile haberleşme ve kullanılan donanımsal komponentlerde oluşan hataları algılama ve bildirme algoritmalarından oluşmaktadır. İç ünite sisteminin oluşturduğu elektronik aksanlar çalışması için kullanılan yazılımlardır. Şekil 5'de iç ünite kontrol kartında donanımsal birimlerin kontrolü ile ilgili yazılım blok diyagramı bulunmaktadır.



Şekil 6: Termal çevrim giriş ve çıkış bloğu.

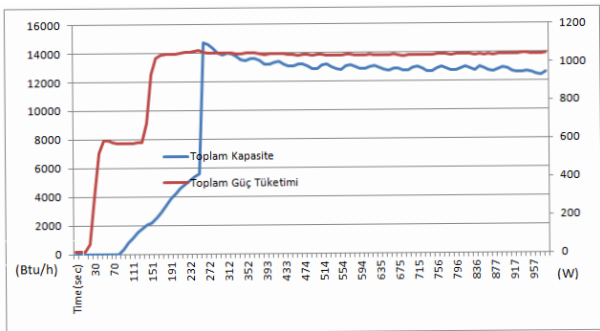
4. Sonuçlar

İnverter klima elektronik kontrol sistemi tamamlandıktan sonra inverter klima ilgili performans testleri uygulanmaktadır. İnverter klimanın çalışmasını kontrol etmek için seksen adet farklı test şartlarında test edilmekte, performans ve doğrulama testleri ile doğruluğu sağlanmaktadır. Soğutma kapasitesi, ısıtma kapasitesi, farklı gerilim testleri, defrost testleri vb. gibi testler özel test odalarında uygulanmaktadır. Test sonuçları ile ilgili bilgiler test bilgisayarlarında kayıt edilerek grafikleri çıkarılmaktadır. Şekil 7’de on-off klimalar için soğutma kapasitesi test sonuç grafiği gösterilmektedir. Bu grafikte zamana göre toplam kapasite ve toplam güç tüketimi gösterilmektedir. Ortalama olarak toplam kapasite 11000 Btu/h çıkmıştır. Btu(British thermal unit) bir klimanın saatte verdiği ısı miktarıdır. Ortalama 1300 Watt toplam güç tüketmektedir.



Şekil 7: On-off klima soğutma kapasitesi test sonuçları.

Şekil 8’ de inverter klima için yapılan soğutma kapasitesi test sonuç grafiği gösterilmektedir. Bu test sonucuna göre toplam kapasite 12000-14000 Btu/h arası olarak görülmektedir. Ortalama güç tüketimi ise 1000 Watt olarak görülmektedir.



Şekil 8: İnverter klima soğutma kapasitesi test sonuçları.

Yapılan araştırmalara [2] ve testlere göre inverter klimanın on-off klimalara göre daha az güç tükettiği ve aynı zamanda daha yüksek kapasitede çalıştığı görülmüştür. Bu testlerde ki güç tüketimleri azaltılabilir. Aynı zamanda performansında artırılabilir. On-off klimalarda daha az kapasitelerde daha yüksek enerji harcandığı görülmüştür. Test sonuçlarında güç tüketimi, çektiği akım değerleri, sıcaklık değerleri, ısıtma ve soğutma kapasitesi gibi parametrelere bakılarak diğer inverter klima değerleri ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonuçlarına göre algoritmalar ve tasarımlar optimize edilmiştir.

5. Teşekkür

Bu çalışma, Arçelik-LG Klima Sanayi ve Ticaret A.Ş. ile Yıldız Teknik Üniversitesi arasında ortak yürütülen “Endüstride Uygulama Destekli Tez Programı” kapsamında yapılmıştır.

6. Kaynaklar

- [1] Jiang, J., Zhang, X., (2010). “Electric Control System of Inverter Air-conditioning Based on Fuzzy Control”, IEEE, 978-1-4244.
- [2] “Evaluation of Power Consumption and Comfort using Inverter Control of Air-conditioning”, IEEE, 978-1-61284.
- [3] Air Conditioner Model SB UA3+, <http://www.lg.com/in/split-ac/lg-AS-W126B1U1>, 18 Nisan 2013.
- [4] PIC32 Ethernet User Manual, <http://www1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/61166A.pdf>, 18 Nisan 2013.
- [5] NTC Sensor Measurement, <http://www.epcos.com/blob/531128/download/2/pdf-standardizedrt.pdf>, 12 Mart 2013.
- [6] Sensirion, Sensirion SHT11 Humidity Sensor, www.sensirion.com/en/products/humidity-temperature/humidity-sensor-sht11, 12 Mart 2013.
- [7] BYJ46 Step Motor Datasheet, ULN2003A Datasheet, <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/uln2003a.pdf>, 18 Haziran 2013.
- [8] Arçelik-LG Klima, “İnverter Klima İçin Yazılım Kütüphanesi Ve Simulatör Geliştirilmesi Raporu”, 2013