

32 Bit ARM İşlemci ile Hız Denetimi Yapılan Bir DA Motorun Android Arayüzü Olan Bir Cihaz Üzerinden Uzaktan Kontrolü ve İzlenmesi

İbrahim SEFA¹, Necmi ALTIN¹, Şaban ÖZDEMİR², Zeki ZÜREY¹

¹ Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Gazi Üniversitesi, 06500 Besevler, Ankara, TÜRKİYE

² Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu, Gazi Üniversitesi, Ostim, Ankara, TÜRKİYE

isefa@gazi.edu.tr, naltin@gazi.edu.tr, sabanozdemir@gazi.edu.tr, zeki.zurey@gazi.edu.tr

(Geliş/Received: 13.04.2015; Kabul/Accepted: 01.06.2015)

DOI: 10.17671/btd.17552

Özet—Bu çalışmada Android işletim sistemli herhangi bir mobil cihazla bir DA motorunun, uzaktan izlenmesi ve kontrol edilmesi için bir sistem tasarlanmış ve gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan sistemde, motorun hız denetimini gerçekleştirmek amacıyla 32-Bit Cortex M-3 sınıfı ARM işlemci kullanılmıştır. Kontrol kartı ile mobil cihaz Bluetooth ile iki yönlü haberleşmektedir. Çalışma süresince motorun akım, gerilim ve hız bilgileri lokal denetleyici olan ARM işlemci tarafından okunarak mobil cihaza Bluetooth bağlantısı üzerinden aktarılmakta ve böylece motor uzaktan izlenebilmektedir. Ayrıca, tasarlanan kontrol yazılımı vasıtasıyla kullanıcı tarafından uzaktan girilen komutlar ARM işlemciye aktarılarak yeni değerlere göre denetim işlemi gerçekleştirilmekte ve anahtarlama elemanları için gerekli sürme sinyalleri oluşturulmaktadır. Ana ekranda gerilim, akım ve hız bilgileri sürekli olarak görüntülenmektedir. Bunun yanında başlatma ve durdurma gibi kontrol işlemleri bu ekran sayesinde gerçekleştirildiği gibi akım limiti ve hız gibi parametreler de bu yazılım üzerinden girilebilmektedir. Böylece tüm kontrol fonksiyonlarının Bluetooth teknolojisine sahip Android yüklü herhangi bir mobil cihaz ile uzaktan gerçekleştirilmesine imkan sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler— DA motor, ARM işlemci, Android işletim sistemi, Uzaktan kontrol, Bluetooth.

Remote Control and Monitoring Through a Device with Android Application of Speed Controlled DC Motor with 32 Bit ARM Processor

Abstract— In this study, a system for remote controlling and monitoring of a DC motor with any mobile device which has Android operating system is designed and implemented. The ARM Cortex-M3 processor is used to control the motor speed. Bidirectional communication is set up between the control board and the mobile device via Bluetooth. Motor data such as current, voltage and speed are read and sent to the mobile device through Bluetooth by ARM processor. Thus, remote monitoring is achieved. In addition, entered commands are sent to ARM processor via control software and control is carried out according to new commands, and gate pulses required for static switches are generated. The voltage, current and speed data are shown in main page. Besides, control processes such as start, stop can be carried out and current and speed limit values can be entered by using this software. Thus, performing all control functions remotely with the Android installed mobile device which has Bluetooth technology is made possible.

Keywords— DC motor, ARM processor, Android operating system, Remote control, Bluetooth

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Yarı iletken teknolojisinde meydana gelen gelişmeler sonucunda, daha yüksek akım ve gerilim değerlerinde

çalışabilen, kayıpları daha düşük ve anahtarlama hızları yüksek olan küçük boyutlarda güç anahtarları üretilmiştir. Bunun yanında işlem kabiliyeti yüksek mikrodenetleyicilerin maliyetleri ciddi oranda azalmıştır.

Bu durum, motor sürücülerinin gelişmesine büyük katkı sağlamış ve uygun maliyetli, kompakt motor sürücülerinin tasarlanmasına imkan tanımıştır [1].

Endüstriyel uygulamalarda kullanılan motorların kalkınma, duraklama, yön değiştirme, frenleme, devir sayısını arttırma ve azaltma gibi işlemlere sıkça ihtiyaç duyuyor olmaları düşük maliyetli sürücü yapılarını ve kolay kontrol edilebilirliği gerektirir. Doğru akım motorları, ileri kontrol teknikleri sayesinde bu ihtiyacı kolayca karşılamakta ve endüstriyel uygulamalarda sıkça kullanılmaktadır [1-2].

Bir doğru akım motoru açık çevrim ve kapalı çevrim olmak üzere iki tür algoritma ile kontrol edilebilmektedir. Açık çevrim kontrol tekniğinde motordan sürücüye herhangi bir geri besleme bilgisi aktarılmamaktadır. Bu durum değişken yüklerde, ortam ve sargılar ısındığında veya sistemin parametrelerinde herhangi bir nedenle bir değişiklik ortaya çıktığında motorun beklenenden farklı bir davranış göstermesine neden olmaktadır. Bu davranış, çoğu uygulamada istenilmeyen bir durumdur. Kapalı çevrim kontrol tekniğinde ise bir enkoder veya takometre üzerinden sürücüye geri besleme bilgisi iletilmektedir. Bu geri besleme sayesinde sürücü, girilen referans değerinden bir sapma olması durumunda, algoritmadaki adımları işleyerek kontrol edilen motor parametresini referans değerine taşımaktadır. Yürütülen bu algoritma, motorun ileri seviyede kontrolünü gerektiren durumlarda çok karmaşık bir yapıda olabilmektedir. Günümüzde bu tür uygulamalar için PID, PI ve PD gibi denetleyiciler sıklıkla kullanılmaktadır. PID algoritması oransal, integral ve türevsel olmak üzere üç ayrı sabit parametreyi içermektedir [2-4].

Motor sürücülerinde kullanılan mikrodenetleyicilerin yüksek çözünürlükte analog girişlere, karmaşık algoritmaları işleyebilecek ve yüksek frekansta anahtarlama sinyali üretebilecek bir ana darbe üreticisine sahip olması beklenmektedir. Bu sebeple motor sürücü uygulamalarında genellikle DSP sınıfı ve ARM mimarisine sahip işlemciler kullanılmaktadır [2-4].

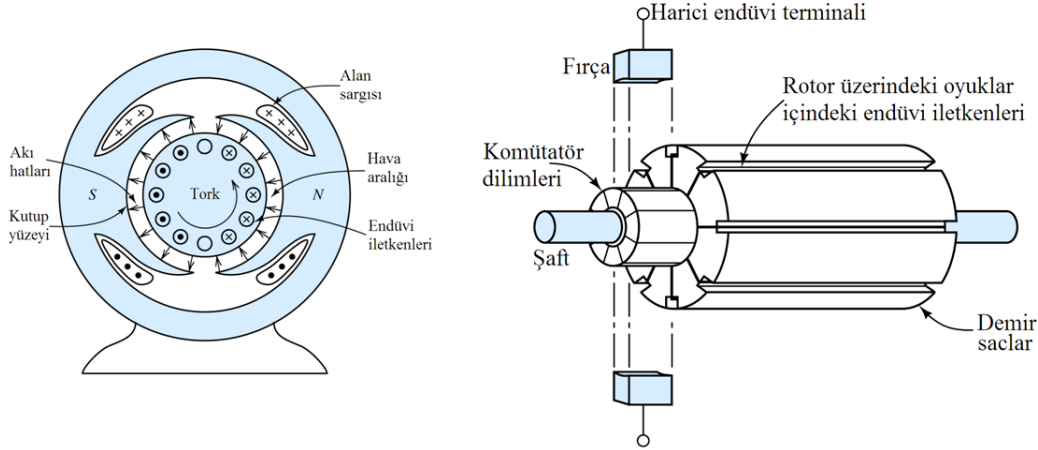
32-Bit Cortex M-3 sınıfı ARM işlemciler yüksek çözünürlüklü analog girişler üzerinden motorun akım,

gerilim ve hız bilgilerinin okunmasına imkan tanımaktadır. Ayrıca sahip oldukları haberleşme opsiyonları ile mobil cihazlar gibi başka donanımlar ile veri iletişimini de mümkün kılmaktadır.

Bu çalışmada bir DA motorun hız kontrolü gerçekleştirilmiştir. Tüm kontrol ve haberleşme fonksiyonları 32-Bit Cortex M-3 sınıfı ARM işlemci ile tasarlanmış bir kontrol kartı ve geliştirilen kontrol yazılımı sayesinde gerçekleştirilmekte ve anahtarlama elemanları için gerekli sürme sinyalleri oluşturulmaktadır. Ayrıca, DA motorun uzaktan kontrolünün sağlanması amacıyla mobil cihaz için bir uygulama geliştirilmiştir. Geliştirilen uygulama, Android işletim sistemi ile çalışan tüm cihazlar ile uyumludur ve Bluetooth teknolojisini kullanarak kontrol kartı ile haberleşmektedir. Bu uygulama ile motorun gerilim, akım ve devir sayısı anlık olarak görüntülenebilmekte ve motor kontrolüne ilişkin komutlar icra edilebilmektedir. Bu sayede Android işletim sistemini kullanan herhangi bir mobil cihaz üzerinden bir DA motorun uzaktan izlenmesi ve kontrol edilmesi gerçekleştirilmektedir.

2. DA MOTOR (DC MOTOR)

Doğru akım (DA) elektrik enerjisini mekanik enerjiye dönüştüren motorlara DA motor denilmektedir. DA motorlar ile DA generatörlerin yapıları aynı olduğundan DA generatör için uygulanan modeller DA motor için de kullanılabilir. Model dikkate alındığında farklılık temel endüvi gerilimindedir. Generatör durumunda endüvide endüklenen gerilim (E_g), motor durumunda endüvide meydana gelen zıt emk (E_c) olarak adlandırılmaktadır [1]. DA motorlarının, güvenilir ve dayanıklı olmaları, hız karakteristiklerinin doğrusala yakın olması, kontrollerinin kolay olması gibi avantajları bulunmaktadır. Sabit mıknatıslı DA (SMDA) motorları, özellikle hız ve pozisyon kontrolü uygulamalarında sıklıkla kullanılan, alan sargısı yerine sabit mıknatısların kullanıldığı elektrik makineleridir. SMDA motorun bileşenleri ve eşdeğer devresi sırasıyla Şekil 1 ve Şekil 2'de verilmiştir. Burada, endüviye uygulanan gerilim (V_a), zıt emk (E_c), endüvi sargısı direnci (R_a), endüzi akımı (i_a) ve endüvi sargı endüktansı (L_a) ile temsil edilmektedir [4].



Şekil 1. Bir doğru akım motorunun bileşenleri (Components of a direct current motor)

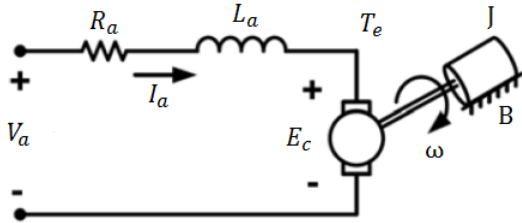
Kirchoff'un gerilim kanunundan yararlanılarak,

$$V_a = R_a I_a + L_a \frac{di_a}{dt} + E_c \quad (1)$$

yazılabilir. Burada endüvide endüklenen zıt emk; alan akısı ϕ_f ve endüvi açısız hızı ω veya devir sayısı n ile değişmektedir:

$$E_c = K_i \phi_f \omega \quad (2)$$

K_i sabiti; endüvideki iletken sayısı, kutup sayısı gibi makine parametrelerine bağlıdır.



Şekil 2. SMDA Motorun Eşdeğer Devresi (Equivalent circuit of the PMDC motor)

Motorda üretilen toplam moment (T_e), yük moment (T_y) ve parasitik momentin (T_L) toplamına eşit olmalıdır. Buna göre;

$$T_e(k) - T_y(k) - T_L(k) = 0 \quad (3)$$

$$T_e(k) - j \frac{d\omega(k)}{dt} - B\omega(k) - T_L(k) = 0 \quad (4)$$

ve

$$T_y = j \frac{d\omega(k)}{dt} + B\omega(k) \quad (5)$$

$$T_e(k) = K_T i_a \quad (6)$$

burada j atalet moment sabiti ve B ise sürtünme katsayısını göstermektedir. Eş. 1, Eş. 4 ve Eş. 6 kullanılarak SMDA motor durum uzay formunda aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_a \\ \omega_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{R_a}{L_a} & -\frac{K_i}{L_a} \\ \frac{K_T}{L_a} & -\frac{B}{j} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ \omega_m \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{L_a} & 0 \\ 0 & -\frac{1}{j} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a \\ T_L \end{bmatrix} \quad (7)$$

Yukarıda ifade edilen denklemlerin yardımıyla SMDA motorun blok diyagramı Şekil 3'te verildiği gibi çizilebilir. Bu blok diyagram üzerinden sistemin transfer fonksiyonu ifadesi bulunabilmektedir. Böylece, SMDA motorun transfer fonksiyonu Eş. 8'da verildiği gibi olur [1, 5].

$$\frac{\theta(s)}{V(s)} = \frac{K_T}{s[(L_a s + R_a)(j s + B) + K_T K_i]} \quad (8)$$

3. ÖNERİLEN KONTROL SİSTEMİ DONANIMI VE YAZILIMI

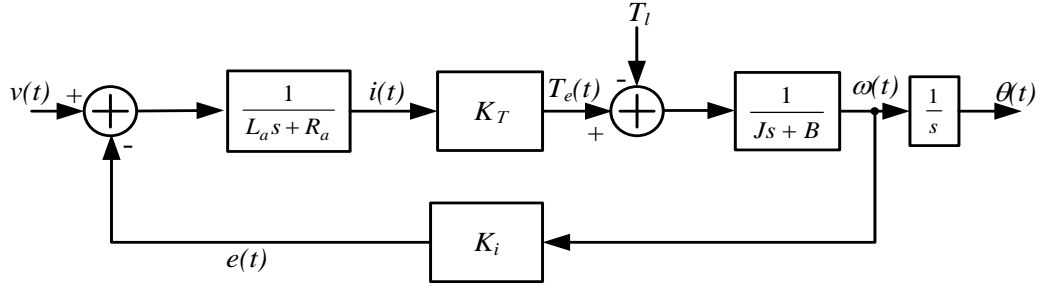
(PROPOSED CONTROL SYSTEM HARDWARE and SOFTWARE)

DA motorun mobil cihaz üzerinden kontrol edilebilmesi için tasarlanan sisteme ilişkin blok diyagram Şekil 4'te verilmiştir. Görüldüğü gibi sistem UDOO-QUAD kontrol kartı, motor sürücü devresi, DA motor, mobil cihaz ile kontrol yazılımı ile mobil arayüz yazılımından oluşmaktadır.

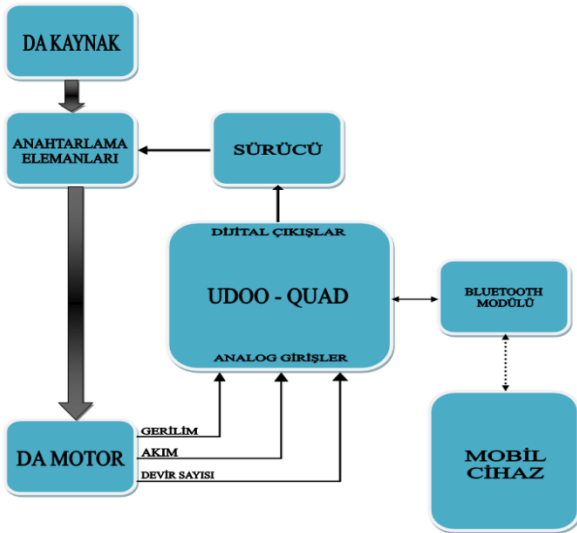
3.1. DA Motor ve Sürücü Sistemi (DC Motor and Drive System)

Bu çalışmada SANYO-DENKI T730-012 model sabit mıknatıslı DC servo motor kullanılmıştır. Sürücü kısmında yarım köprü DA-DA dönüştürücü yapısı kullanılmıştır. Bu dönüştürücü azaltan-artıran (buck-boost) özellikle çalışabilmektedir. Kalkınma anında

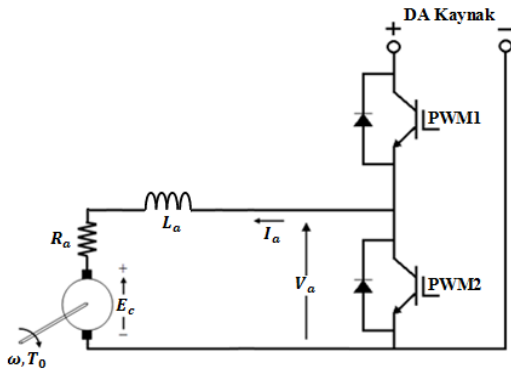
alttaki kapısı yalıtılmış çift kutuplu transistör (IGBT) kesimden, üstteki IGBT, kapı ucuna uygulanan darbe genişlik modülasyonu (PWM) sinyali oranında iletimdedir. Frenleme anında ise üstteki IGBT kesime götürülür, alttaki IGBT kapı ucuna uygulanan PWM sinyali oranında iletime geçirilerek faydalı frenleme sağlanır. Böylece yarım köprü DA-DA dönüştürücü, motor çalışma sırasında azaltan dönüştürücü, frenleme veya regeneratif çalışma sırasında ise artıran dönüştürücü olarak çalıştırılmaktadır. Kullanılan sürücü yapısı Şekil 5'te gösterilmiştir.



Şekil 3. SMDC motorun blok diyagramı (Block diagram of the PMDC motor)



Şekil 4. Sistem blok diyagramı (Block diagram of the system)



Şekil 5. Motor sürücüsünün yapısı (Structure of motor drive)

IGBT'leri sürmek için frekansı 10 KHz çözünürlüğü 13 bit olan PWM sinyalleri ARM işlemcide üretilmektedir. Anahtarların kısa devreye düşmemesi için PWM1 ve PWM2 darbeleri arasında 0.25 μ s ölü zaman eklenmiştir. Motorun hız denetimi PI denetleyici algoritması ile gerçekleştirilmiştir. Motorun transfer fonksiyonu ve Ziegler Nichols metodu kullanılarak PI denetleyicinin

orsansal (K_p) ve integral (K_i) kazanç parametreleri belirlenmiştir [6]. Hesaplamalar için Tablo 1'de verilen model parametreleri kullanılmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucu $K_p=0.16$, $K_i=0.5$ ve örnekleme süresi 100 ms olarak ayarlanmıştır.

3.2. UDOO-Quad Kontrol Kartı

(UDOO-Quad Controller Board)

Motor sürücülerinden beklenen yüksek dinamik tepki, sıfır kalıcı durum hatası gibi kriterlerin sağlanabilmesi için yüksek performanslı işlemcilerin kullanılması gerekmektedir. Bu nedenle bu çalışmada ana kontrol kartı olarak UDOO-Quad isimli gelişme kartı kullanılmıştır (Şekil 6). UDOO-Quad, üzerinde iki adet işlemcisi bulunan yüksek performanslı ve çok yönlü bir geliştirme kartıdır. Bu işlemcilerden ilki Freescale i.MX 6 ARM Cortex-A9 Quad, ikincisi ise Atmel SAM3X8E ARM Cortex-M3'dür.



Şekil 6. UDOO-Quad kontrol kartı (UDOO-Quad controller board)

Tablo 1. Model parametreleri (Model parameters)

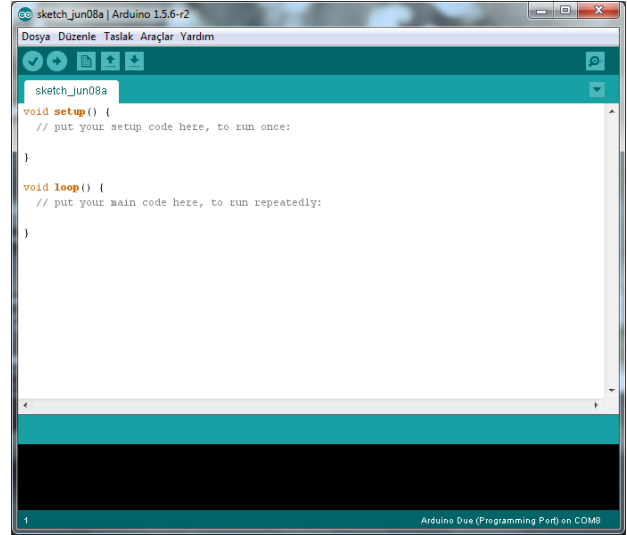
| Parametre | Değer |
|-----------|----------------------------|
| R | 1,1 Ω |
| L | $1,6 \times 10^{-3} H$ |
| B | $2,34 \times 10^{-3} Nms$ |
| j | $2,7 \times 10^{-4} kgm^2$ |
| K_i | $17,2 \times 10^{-2} Vs$ |
| K_T | $27,3 \times 10^{-2} Nm/A$ |

Grafik işlemci olarak Vivante GC 2000 + Vivante GC 355 + Vivante GC 320 işlemci grubu ve OpenGL® ES2.0 3D ve OpenVG™ bulundurmaktadır ve HDMI portu üzerinden 1080p HD görüntü aktarımına imkân vermektedir. Ayrıca kart üzerinde ethernet soketi, LVDS+touch screen soketi, WIFI modülü, mikrofon girişi ve 3.5 mm stereo jak çıkışı, SATA soketi, kamera soketi, mikro SD kart yuvası, 2 adet USB portu, mini USB ve mini USB OTG portu bulunmaktadır [7].

"Advanced RISC Machines" kelimelerinin ilk harflerinden adını alan ARM, "Gelişmiş RISC Makineleri" anlamına gelmektedir. RISC, "İndirgenmiş komut setli bilgisayar" anlamına gelen "Reduced Instruction Set Computer" ifadesinin kısaltmasıdır. Sonuç olarak ARM için, kısa komut setlerinden oluşan gelişmiş bir mikro kontrol mimarisidir denilebilir. Bu projede kart üzerinde bulunan işlemcilerden yalnızca ATMEL SAM-3X8E ve ilgili birimleri kullanılmıştır. SAM3X8E, ARM mimarisine sahip, 32 Bit, Cortex-M3 sınıfı bir işlemcidir. Clock frekansı 84 Mhz, ADC çözünürlüğü 12 bit ve PWM çözünürlüğü 10 Khz ve çözünürlüğü 13 bit değerindedir. Android yazılımı ile haberleşen ve sürücü sinyallerini oluşturan PI denetleyicisi ana programı Arduino IDE arayüzünde hazırlanmıştır ve bu işlemci üzerinde çalışmaktadır [4, 8-9].

Arduino IDE, kod geliştirme, derleme ve derlenen kodu karta yükleme işlemlerini yapan bir uygulamadır. HBU uygulama, kullanıcıları programlamayla tanıştırmak için geliştirilmiş olan Processing yazılımından yola çıkılarak Java programlama dilinde yazılmıştır. ARDUINO-IDE arayüzü Şekil 7'deki gösterilmiştir [10-12].

Atmel SAM3X8E üzerinde koşan ana program Arduino IDE arayüzünde, "C" dilinde hazırlanmıştır. Bu program seri port üzerinden HC-05 Bluetooth modülü ile haber-



Şekil 7. ARDUINO-IDE arayüzü (ARDUINO-IDE interface)

leşir ve Bluetooth aracılığıyla Android yazılımla iletişim kurar. Android yazılımdan girilen değerler doğrultusunda motorun başlatılması, durdurulması, devir sayısının değiştirilmesi ve akımın sınırlanması için gerekli algoritmaları yürüterek IGBT'ler için kapı sinyalleri üretir. Motor miline bağlı takometre üzerinden alınan gerilim, bir gerilim bölücü ve gürültü filtresinden geçirilerek motorun devri, LA-25P alan etkili akım sensörü ile motorun akımı işlemcinin ADC girişlerince sürekli olarak okunur. Bu bilgiler PI algoritması için geri besleme sağlar. Ayrıca okunulan analog değerler gerçek zamanlı olarak uzaktaki Android cihaza gönderilir.

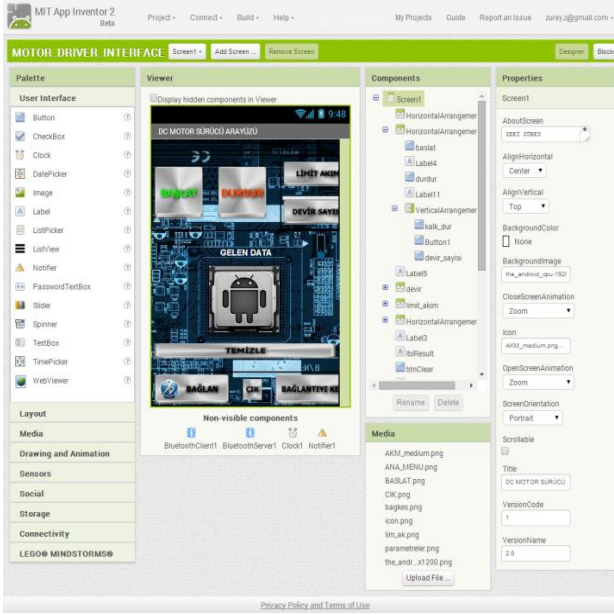
3.3. Android Uygulaması (Android Application)

Android, Google sahipliğinde Open Handset Alliance ve özgür yazılım topluluğu tarafından Linux tabanlı olarak cep telefonları ve mobil cihaz için geliştirilmekte olan, açık kaynak kodlu bir mobil işletim sistemidir. Bu çalışmada Android uygulamanın geliştirilmesi için App Inventor 2 arayüzü kullanılmıştır [13].

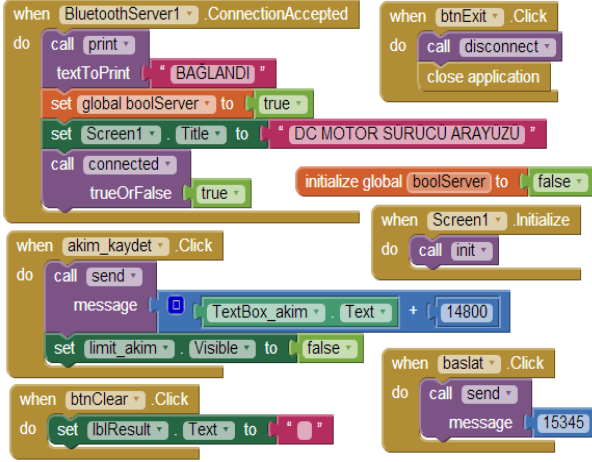
Google ve MIT'nin ortak çalışmaları ile geliştirilen App Inventor 2 arayüzü, herhangi bir kurulum gerektirmeden, internet tarayıcısı üzerinden Android programı tasarlayabilmeyi mümkün kılar. Bu arayüz, kod yazmaktan ziyade bir puzzle gibi nesnelere sürükleyip bırakmak suretiyle birbirleriyle ilişkilendirerek program yazabilmek amacı ile tasarlanmıştır. Bu durum gelişmiş mobil uygulamalar için uygun olmasa da küçük çaplı uygulamalar için bir hayli kolaylık sağlamaktadır. App Inventor 2 arayüzüne ait görsel Şekil 8'da verilmiştir. Kontrol yazılımının geliştirilmesi sürecinde kullanılan program bloklarının bir kısmı Şekil 9 ve Şekil 10'da verilmiştir [13].

Uygulamanın ana ekranında motorun kontrolü için "Başlat" ve "Durdur" düğmeleri, akımı sınırlamak ve

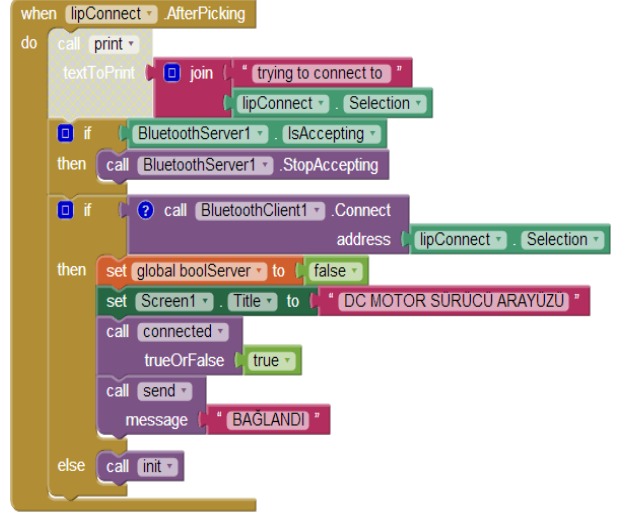
devir sayısını ayarlamak için “Limit Akım” ve “Devir Sayısı” düğmeleri, gerilim, akım ve devir sayısını anlık



Şekil 8. App Inventor 2 arayüzü (App Inventor 2 Interface)



Şekil 9. Program blokları – 1 (Program blocks -1)



Şekil 10. Program blokları – 2 (Program blocks -2)

olarak görüntüleyebilmek için “Gelen Data” penceresi ve pencerede gösterilen son verileri temizlemek için “Temizle” düğmesi, Bluetooth üzerinden anakarta bağlanmak ve bağlantıyı sonlandırmak için “Bağlan” ve “Bağlantıyı Kes” düğmeleri ve programdan çıkmak için “Çık” düğmesi bulunmaktadır. Program açıldığında ilk olarak “Bağlan” düğmesine tıklanır, açılan pencereden anakartın bağlı olduğu Bluetooth modem seçilir ve anakartla eşleşme gerçekleştirilir. Açılış ekranı ve anakartla eşleşme sağlandıktan sonra “Gelen Data” penceresinde motorun gerilim, akım ve devir sayısı bilgileri anlık olarak görüntülenmeye başlar. İstenilen limit akım ve devir sayısı buradan girilebilir.

Ardından “Başlat” düğmesine tıklanır ve motor girilen devirde dönmeye başlar. Yükün değişmesi durumunda dahi motor referans değerinde dönmeye devam eder. Ayrıca motor çalışır haldeyken dahi devir sayısı değiştirilebilir. Ayrıca motor çalışırken motor gerilimi, motor akımı ve devir sayısı bilgileri ekranda gösterilmektedir. “Başlat” düğmesine basıldıktan sonraki motor çalışır haldeyken ekran görüntüsü Şekil 11’deki gibidir.



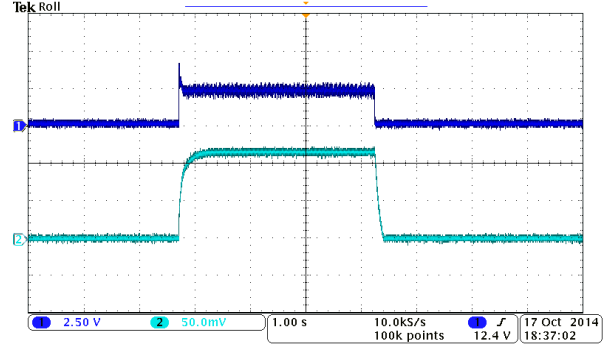
Şekil 11. Motor çalışır haldeyken ekran görüntüsü
(Mobile device monitor while motor is running)

4. UYGULAMA SONUÇLARI (EXPERIMENTAL RESULTS)

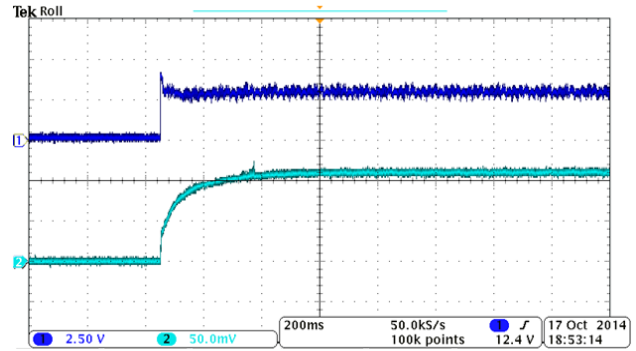
Sistem 30V besleme gerilimi ile 800 d/d referans devir değeri için değişken yük koşullarında test edilerek tasarlanan kontrol sisteminin performansı ve uzaktan izleme ve kontrol yeteneği test edilmiştir. Motorun ilk kalkınma ve durma anında motor akımı ile motor devrinin değişimi Şekil 12’te verilmiştir.

Burada 1. kanal motorun çektiği akımı, 2. kanal ise motorun devir sayısını ifade etmektedir. Motor 0’dan 800 devire 500ms’nin altında bir zaman içinde ulaşmakta ve kararlı duruma geçmektedir. Motorun kalkınma anındaki motor akımı ve motor devrinin değişimi Şekil 13’de daha açık olarak verilmiştir. Görüldüğü gibi motorun kalkınma süresi kısa olmasına rağmen kalkınma akımının anma akımının çok üstünde değerlere çıkması önlenmiş ve yüksek hızlı bir dinamik performans elde edilmiştir.

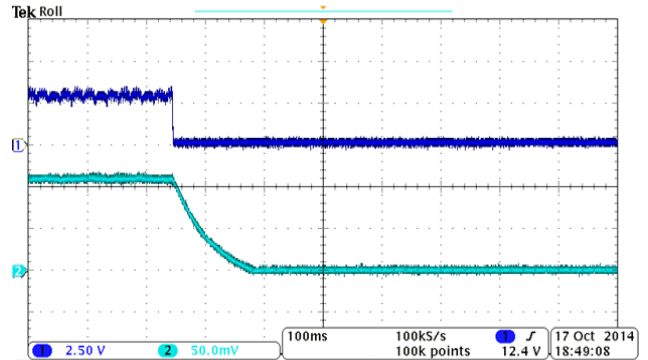
Motorun durma anı da Şekil 14’de verilmiştir. Kalkınma durumundaki gibi durma anında da herhangi bir olumsuzluk görülmemiştir. Görüldüğü gibi tasarlanan sistem DA motorun uzaktan kontrol edilmesine imkan tanırken, motor kontrolüne ilişkin dinamik performans, kalıcı durum hatası gibi kriterlerde de istenilen başarıyı gerçekleştirmiştir.



Şekil 12. Motor akımı ile motor devrinin değişimi
(Variation of motor current and speed)



Şekil 13. Motorun başlangıç anındaki akımı ve hız değişimi
(Motor current and speed variations at start up)



Şekil 14 . Durdurma anındaki hız değişimi
(Speed variation at stopping moment)

5. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışma ile bir doğru akım motorunun uzaktan izlenmesi ve kontrol edilmesi işlemi gerçekleştirilmiştir. Motor olarak 300W anma çıkış gücüne sahip bir DA servo motor kullanılmıştır. Motor sürücüsü olarak ise IGBT’ler ile oluşturulmuş yarım köprü DA-DA dönüştürücü devresi kullanılmıştır. Analog verilerin okunması, denetim ve kontrol algoritmalarının yürütülmesi için 32 Bit ARM işlemcisi ve haberleşme çevre birimleri olan bir kontrol kartı kullanılmıştır. Bu kartın mobil cihazla haberleşebilmesi için ise harici

Bluetooth modülü bağlanmıştır. Geliştirilen Android yazılımı, farklı Android versiyonlarındaki mobil cihazlar üzerinde test edilmiştir.

Çalışmanın sonraki aşamalarında kontrol kartının üzerindeki diğer işlemci olan Freescale iMX6 kullanılacaktır. Motor kontrolüne ilişkin daha karmaşık algoritmaların kullanımı test edilecektir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Güngör Bal, **Doğru Akım Makinaları ve Sürücüler**, Seçkin Yayıncılık, Ankara, Türkiye, 2008.
- [2] M.U. Rafique, U. Rashid, S. Iqbal, Q. Shafique, S. Jabeen, "A Prototype Implementation of a Digital Controlled Rectifier-Based Wireless PMDC Motor Drive", **International Conference on Emerging Technologies (ICET)**, Islamabad, Pakistan, 1-6, 8-9 Oct. 2012.
- [3] H.-S. Juang, K.-Y. Lum, "Design and Control of a Two-Wheel Self-Balancing Robot using the Arduino Microcontroller Board", **2013 10th IEEE International Conference on Control and Automation (ICCA)**, Hangzhou, China, 634-639, June 12-14, 2013.
- [4] M. Nithyasree, K.V. Kandasamy, "A Generic PID Controller Based on ARM Processor", *Procedia Engineering*, Volume 38, 2012, Pages 1044-1049.
- [5] A.M. Sharaf, İ.H. Altaş, E. Özkop, "Elektrikli Araçlar İçin Çift Çevrim Destekli Da Motor Kontrol Uygulaması", 12. Elektrik Elektronik Bilgisayar Biyomedikal Mühendisliği Ulusal Kongresi ve Fuarı, Eskişehir, Türkiye, 443-448, 14-18 Ekim 2007.
- [6] J. G. Ziegler, N. B. Nichols, "Optimum settings for automatic controllers", *Transactions of ASME*, Vol. 64, pp. 759-768, 1942.
- [7] Internet: UDOO Starting manual, http://udoo.org/download/files/Documents/UDOO_Starting_Manual_beta0.4_11_28_2013.pdf
- [8] Internet: Atmel AT91SAM ARM-based Flash MCU SAM3X SAM3A Series Summary, <http://www.atmel.com/images/doc11057s.pdf>
- [9] Internet: <http://www.arm.com/products/processors/>
- [10] Internet: <https://www.processing.org/>
- [11] Internet: <http://www.arduino.cc/en/Main/Software>
- [12] W. M. H. W. Kadir, R. E. Samin, B. S. K. Ibrahim, "Internet Controlled Robotic Arm", *Procedia Engineering*, Vol.41, pp. 1065 - 1071, 2012.
- [13] Internet: App Inventor Templates <http://appinventor.mit.edu/explore/>