

**ANALISIS PEMBERIAN TEGANGAN DAN SINYAL PWM PADA
MOTOR DC SEBAGAI PENDORONG BOLA PADA ROBOT
SEPAKBOLA BERODA**

SKRIPSI

TEKNIK ELEKTRO KONSENTRASI ELEKTRONIKA

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



ANDY KURNIA SANTOSO

NIM. 135060300111051

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG**

2017

LEMBAR PENGESAHAN
ANALISIS PEMBERIAN TEGANGAN DAN SINYAL PWM PADA
MOTOR DC SEBAGAI PENDORONG BOLA PADA ROBOT
SEPAKBOLA BERODA

SKRIPSI
TEKNIK ELEKTRO KONSENTRASI TEKNIK ELEKTRONIKA

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



ANDY KURNIA SANTOSO
NIM.135060300111051

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing
pada tanggal 31 Juli 2017

Dosen Pembimbing I

Dr. Eng. Panca Mudjirahardjo, S.T., M.T.

NIP. 19700329 200012 1 001

Dosen Pembimbing II

Ir. Nurussa'adah, M.T.

NIP. 19680706 199203 2 001

Mengetahui,

Ketua Jurusan

M. Aziz Muslim, S.T., M.T., Ph.D.

NIP. 19741203 200012 1 001

JUDUL SKRIPSI:

ANALISIS PEMBERIAN TEGANGAN DAN SINYAL PWM PADA MOTOR DC
SEBAGAI PENDORONG BOLA PADA ROBOT SEPAKBOLA BERODA

Nama Mahasiswa : ANDY KURNIA SANTOSO

NIM : 135060300111051

Program Studi : TEKNIK ELEKTRO

Konsentrasi : TEKNIK ELEKTRONIKA

Komisi Pembimbing :

Ketua : Dr. Eng. Panca Mudjirahardjo, S.T., M.T.

Anggota : Ir. Nurussa'adah, M.T.

Tim Dosen Penguji :

Dosen Penguji 1 : R. Arief Setyawan, S.T., M.T.

Dosen Penguji 2 : Dr. Ir. Ponco Siwindarto, M.Eng.Sc.

Dosen Penguji 3 : Dr. Ing. Onny Setyawati, S.T., M.T., M.Sc.

Tanggal Ujian : 19 Juli 2017

SK Penguji : 846/UN.10.F07/SK/2017

PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 3 Agustus 2017

Mahasiswa,



Andy Kurnia Santoso

NIM. 135060300111051

Repository Universitas Brawijaya

*Teriring Ucapan Terima Kasih kepada:
Ayahanda dan Ibunda tercinta*



ANDY KURNIA SANTOSO

Tempat, Tanggal lahir : Jayapura, 24 Juni 1995

Email : andy.ksantoso24@gmail.com

No. Hp : 081232494935

Alamat : Perumahan Bukit Cemara Tidar E1-11, Sukun, Malang, 65149

Agama : Islam

Jenis Kelamin : Laki-laki

RIWAYAT PENDIDIKAN

2001-2007 : SD KARTIKA VI-I Jayapura

2007-2010 : SMP Negeri 5 Jayapura

2010-2013 : SMA Ar-Risalah Lirboyo Kediri

2013-2017 : Teknik Elektro Universitas Brawijaya Malang

EKSTRAKURIKULER

2014-2017 : Asisten Laboratorium Elektronika

2014-2017 : Asisten Laboratorium Mekatronika dan Robotika

2014-2017 : Anggota Tim Robot Teknik Elektro Universitas Brawijaya

RINGKASAN

Andy Kurnia Santoso, Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, 22 Juni 2017, *Analisis Pemberian Tegangan Dan Sinyal PWM Pada Motor DC Sebagai Pendorong Bola Pada Robot Sepakbola Beroda*. Dosen Pembimbing: Panca Mudjirahardjo, Nurussa'adah

Pulse Width Modulation (PWM) merupakan sebuah cara memanipulasi lebar sinyal yang dinyatakan dengan pulsa dalam satu periode untuk mendapatkan tegangan rata-rata yang berbeda. PWM menggunakan sinyal digital untuk mengendalikan aplikasi daya sekaligus cukup mudah untuk dikonversikan kembali ke analog dengan perangkat keras minimum. Salah satu parameter untuk menghasilkan sinyal gelombang persegi adalah *duty cycle*. Sebagian besar gelombang persegi mendekati simetris yang dihasilkan mempunyai nilai *duty cycle* sebesar 50%. Waktu ON dapat divariasikan sepenuhnya antara sinyal yang memiliki nilai *duty cycle* sebesar 0% - 100%. Berdasarkan hasil penelitian, tegangan masukan pada motor mempengaruhi pada kecepatan putar motor. Motor DC yang digunakan memiliki kecepatan putar maksimal sebesar 800 rpm. Kecepatan terendah pengujian ketika tegangan masukan 11 V sebesar 310.9 rpm dan kecepatan tertinggi ketika tegangan 24 V sebesar 733.1 rpm. Sedangkan perubahan *duty cycle* mempengaruhi tegangan masukan pada driver. Dengan tegangan awal sebesar 24 V, tegangan pada driver saat *duty cycle* 10% adalah sebesar 2.44 V dan memiliki tegangan maksimum saat *duty cycle* 100% sebesar 23.52 V. Pada sistem keseluruhan, robot mampu mendorong bola dengan jarak terjauh sebesar 524 cm saat tegangan 24 V dan nilai *duty cycle* nya 100%. Untuk tegangan masukan yang sama, jarak dorongan berbanding lurus dengan nilai *duty cycle* pada PWM.

Kata kunci – PWM, Tegangan

SUMMARY

Andy Kurnia Santoso, *Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, University of Brawijaya, 22 June 2017, Voltage and PWM Signal Analysis on DC Motor as a Ball Pusher On a Wheeled Soccer Robot. Academic Supervisor: Panca Mudjirahardjo, Nurussa'adah.*

Pulse Width Modulation (PWM) is a way of manipulating signal widths expressed by pulses in a period to get different mean voltages. PWM uses digital signals to control power applications as well as easy enough to be converted back to analog with minimum hardware. One of the parameters to generate a square wave signal is the duty cycle. Most of the resulting symmetrical square wave has a duty cycle value of 50%. ON time can be varied completely between signals having a duty cycle value of 0% - 100%. Based on the research results, the input voltage on the motor affects the motor's rotational speed. The used DC motor has a maximum rotational speed of 800 rpm. The lowest speed of testing when the input voltage of 11 V at 310.9 rpm and the highest speed when the 24 V voltage of 733.1 rpm. While the changing of duty cycle affects the input voltage in the driver. With an initial voltage of 24 V, the voltage on the driver during the 10% duty cycle is 2.44 V and has a maximum voltage at 100% duty cycle of 23.52 V. On the whole system, the robot is capable of pushing the ball with the furthest distance of 524 cm at 24 V and its duty cycle value is 100%. For the same input voltage, the push spacing is directly proportional to the duty cycle value of the PWM.

Keywords – PWM, Voltage



PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Allah SWT atas rahmat dan karunia-Nya serta petunjuk-Nya penulis dapat menyelesaikan penulisan laporan skripsi ini.

Dalam penyusunan laporan ini tidak sedikit hambatan yang penulis hadapi, namun penulis menyadari bahwa kelancaran dalam penyusunan laporan ini berkat bantuan, dorongan, dan bimbingan dari berbagai pihak baik secara langsung maupun tidak langsung, untuk itu penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua orang tua Bapak Yudi Santoso dan Ibu Sri Suyati selaku orang tua penulis atas segala inspirasi, dukungan, nasehat, kasih sayang, perhatian dan kesabarannya didalam membesarkan dan mendidik penulis, serta telah banyak mendoakan kelancaran penulis hingga terselesaikannya skripsi ini,
2. Seluruh Saudara, Keluarga besar dan Teman-teman di Jayapura.
3. Bapak M. Aziz Muslim, S.T., MT., Ph.D selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya,
4. Bapak Hadi Suyono, S.T., MT., Ph.D selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya,
5. Bapak Dr. Eng. Panca Mudjirahardjo, S.T., M.T selaku Dosen Pembimbing I atas bimbingan, pengarahan, saran dan dukungannya selama proses pengerjaan skripsi.
6. Ibu Ir. Nurussa'adah, MT. selaku Dosen Pembimbing II dan KKDK Elektronika atas segala bimbingan, pengarahan, saran, dan kritik yang telah diberikan selama proses pengerjaan skripsi.
7. Seluruh dosen pengajar Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya,
8. Seluruh staff Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
9. Keluarga Tim Robot 13 atau asisten Laboratorium Mekatronika dan Robotika, Hasdi, Hemi, Chandra, Ryan, Oky, Ekky, Doni, Alec, Hanif, Itsna, Yuda, Surya, Dicka, Arfai, Hasyim, Ulya, Shinta, Hesti, dan Ain atas segala dukungan dan segala pengalaman, kebersamaan dan bantuan selama 3 tahun ini.
10. Adik-adik TIM Robot 2014 dan 2015 yang selalu mendukung dan memberi bantuan secara langsung maupun tidak langsung selama ini.



11. Keluarga Besar Laboratorium Elektronika atas segala pengalaman, kebersamaan dan bantuan selama menjadi asisten.
12. Teman-teman kontrakan SLR12, David, Kemal, Inul, Orlando, Mukti, Herman, dan Abyan atas segala keceriaannya selama ini.
13. Saudara - saudari “Spectrum” angkatan 2013 atas segala bantuan dan kebersamaan yang telah diberikan selama 4 tahun ini.
14. Semua pihak yang telah memberikan bantuan serta dukungan baik secara langsung maupun tidak langsung atas penyusunan skripsi ini.

Dalam penyusunan skripsi ini, penulis menyadari bahwa skripsi ini masih belum sempurna.

Oleh karena itu, penulis sangat memerlukan dan mengharapkan kritik dan saran yang membangun. Penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi serta bagi masyarakat.

Malang, Juli 2017

Penulis



DAFTAR ISI

PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR TABEL	vii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	Error! Bookmark not defined.
1.2 Rumusan Masalah.....	Error! Bookmark not defined.
1.3 Batasan Masalah.....	Error! Bookmark not defined.
1.4 Tujuan.....	Error! Bookmark not defined.
1.5 Manfaat.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Mikrokontroler STM32 F401RE Nucleo.....	5
2.2 Pulse Width Modulation (PWM).....	7
2.3 Rotary Encoder.....	11
2.4 Motor DC.....	15
2.5 Driver Motor H-Bridge.....	19
BAB III METODE PENELITIAN	Error! Bookmark not defined.
3.1 Studi Literatur.....	Error! Bookmark not defined.
3.2 Penentuan Spesifikasi Alat.....	Error! Bookmark not defined.
3.3 Perancangan <i>Hardware</i>	Error! Bookmark not defined.
3.3.1 Perancangan Blok Diagram Keseluruhan.....	Error! Bookmark not defined.
3.3.2 Perancangan Rangkaian Antarmuka Mikrokontroler Utama.....	Error! Bookmark not defined.
3.3.3 Perancangan Catu Daya.....	Error! Bookmark not defined.
3.4 Perancangan <i>Software</i>	Error! Bookmark not defined.
3.5 Pengujian Alat.....	Error! Bookmark not defined.
3.5.1 Pengujian Motor.....	Error! Bookmark not defined.
3.5.2 Pengujian Duty Cycle Rangkaian Mikrokontroler dan Driver L298N.....	Error! Bookmark not defined.
3.5.3 Pengujian Perubahan nilai Tegangan terhadap perubahan <i>Duty Cycle</i>	Error! Bookmark not defined.
3.5.4 Pengujian Rotary Encoder.....	30



3.5.5 Pengujian Driver Motor	30
3.5.6 Pengujian Jarak Tendangan Bola	31

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN..... 33

4.1 Pengujian Motor	33
4.2 Pengujian <i>Duty Cycle</i> Rangkaian Mikrokontroler dan Driver L298N	35
4.3 Pengujian Perubahan nilai Tegangan terhadap perubahan <i>Duty Cycle</i>	36
4.4. Pengujian Rotary Encoder	38
4.5 Pengujian Driver Motor	39
4.6 Pengujian Jarak Tendangan Bola	39
4.6.1 Jarak Tendangan Bola dengan Tegangan 12 Volt	39
4.6.2 Jarak Tendangan Bola dengan Tegangan 24 Volt	41

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN 45

5.1 Kesimpulan	45
5.2 Saran	45

DAFTAR PUSTAKA 47

LAMPIRAN 1 49

LAMPIRAN 2 52

LAMPIRAN 3 55

LAMPIRAN 4 65

LAMPIRAN 5 68



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Board Pinout	5
Gambar 2.2 Sinyal PWM	7
Gambar 2.3 Sinyal PWM dan persamaan Vout PWM	8
Gambar 2.4 Pengaruh perubahan <i>Duty Cycle</i> terhadap Tegangan Output	8
Gambar 2.5 Rangkaian PWM Analog	9
Gambar 2.6 Pembentukan Sinyal PWM	9
Gambar 2.7 Pulsa <i>Output</i> dari perubahan nilai <i>Duty Cycle</i>	10
Gambar 2.8 Susunan pola 16 cincin konsentris pada <i>absolut encoder</i> ... Error! Bookmark not defined.	
Gambar 2.9 Piringan dengan 10 cincin dan 10 LED <i>photo-transistor</i> untuk membentuk sistem biner 10 bit	13
Gambar 2.10 Susunan piringan untuk <i>incremental encoder</i>	14
Gambar 2.11 <i>Magnetic Encoder</i>	14
Gambar 2.12 Motor DC	15
Gambar 2.13 Rangkaian motor penguat terpisah	17
Gambar 2.14 Rangkaian motor dc shunt	17
Gambar 2.15 Rangkaian ekuivalen motor dc seri	18
Gambar 2.16 <i>Driver motor H-bridge</i> L298N	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2.17 Konfigurasi <i>H-bridge</i> MOSFET	Error! Bookmark not defined.
Gambar 3.1 Diagram Blok Sistem secara keseluruhan	24
Gambar 3.2 Diagram Blok Antarmuka Mikrokontroler Utama Secara Keseluruhan	25
Gambar 3.3 Diagram Blok Catu Daya Sistem Keseluruhan	26
Gambar 3.4 Rangkaian catu daya 5V	26
Gambar 3.5 Diagram Alir sistem utama mobile robot	Error! Bookmark not defined.
Gambar 3.6 Skema pengujian perubahan kecepatan motor dan arus terhadap tegangan	28
Gambar 3.7 Skema pengujian <i>Duty Cycle</i> Rangkaian Mikrokontroler dan Driver L298N	29
Gambar 3.8 Skema pengujian perubahan nilai tegangan	30
Gambar 3.9 Skema pengujian rotary encoder	31

Gambar 3.10 Skema pengujian driver motor	31
Gambar 4.1 Grafik Perubahan Tegangan terhadap Kecepatan Motor DC.....	34
Gambar 4.2 Data keluaran osiloskop saat duty cycle 70%	36
Gambar 4.3 Bentuk sinyal saat duty cycle 70%.....	36
Gambar 4.4 Grafik Hubungan Duty Cycle terhadap tegangan rata-rata	37
Gambar 4.5 Grafik Jarak Tendangan Bola dengan Tegangan 12 V.....	41
Gambar 4.6 Grafik Jarak Tendangan Bola dengan Tegangan 24 V.....	43



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Perubahan masukan terhadap aksi motor	21
Tabel 4.1. Data Pengujian Motor.....	34
Tabel 4.2. Pengujian duty cycle pada mikrokontroler dan driver	35
Tabel 4.3. Perubahan Duty Cycle terhadap Tegangan rata-rata	37
Tabel 4.4. Pengujian sensor rotary encoder.....	38
Tabel 4.5. Data perubahan masukan terhadap arah gerak platform	39
Tabel 4.6. Pengujian jarak tendangan bola dengan jarak antara robot dan bola sebesar 10 cm	40
Tabel 4.7. Pengujian jarak tendangan bola dengan jarak antara robot dan bola sebesar 20 cm	40
Tabel 4.8. Pengujian jarak tendangan bola dengan jarak antara robot dan bola sebesar 20 cm	40
Tabel 4.9. Pengujian jarak tendangan bola dengan jarak antara robot dan bola sebesar 20 cm	42
Tabel 4.10. Pengujian jarak tendangan bola dengan jarak antara robot dan bola sebesar 20 cm	42
Tabel 4.11. Pengujian jarak tendangan bola dengan jarak antara robot dan bola sebesar 20 cm	42



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pertandingan antara robot dengan tim juara dunia dalam permainan sepakbola yang diperkirakan dilaksanakan di tahun 2050 adalah cita-cita dari para pengembang Robocup. Para peneliti robot *soccer* ini terus melakukan berbagai riset. Pembagian divisi robotpun dibagi menjadi 2 yaitu divisi humanoid yang mempunyai bentuk seperti manusia dan divisi mobile robot yang mempunyai penggerak berupa motor. Divisi Humanoid berkonsentrasi dalam membangun sebuah mekanik robot pemain sepakbola layaknya seperti manusia. Divisi *Mobile Robot soccer* berkonsentrasi pada *Artificial Intelligent/AI* untuk mengenali pergerakan bola, lawan, dan kawan (Wibowo, 2016).

Ada banyak kontes robot di Indonesia salah satunya adalah Kontes Robot Sepak Bola Indonesia (KRSBI). Perlombaan kontes robot sepak bola terbagi dalam dua divisi yaitu divisi humanoid dan robot sepak bola beroda. Robot sepak bola memiliki berbagai kemampuan dalam menjalankan fungsinya seperti mencari bola, mencari gawang, menghindari musuh, mengumpan bola hingga menendang bola. Semua fungsi tersebut berjalan secara otomatis berdasarkan kontrol proses di dalam robot (Wibowo, 2016).

ERSB merupakan divisi terbaru pada KRI yang mulai diperkenalkan pada eksibisi di KRI 2016 Tingkat Nasional. Aturan kompetisi mengacu pada KRSBI (lapangan, permainan, *game controller*). Robot harus memiliki kamera untuk mendeteksi bola, dengan jumlah dan tipe yang tidak dibatasi. Robot dapat menggunakan komputer luar sebagai pengendali. Divisi baru ini diadakan untuk menyongsong sepak bola robot dunia. Sistem kompetisinya yaitu satu tim robot terdiri dari 2 (dua) robot yang masing-masing harus mempunyai kemampuan untuk mendeteksi, mengejar, dan menendang bola. Lapangan bermain adalah lapangan sepakbola berkarpet hijau dengan ukuran panjang 6 m dan lebar 4 m (seperti lapangan KRSBI 2014) dan bola yang digunakan adalah bola tenis berwarna orange. Robot memiliki ukuran maksimum diameter 40 cm dan tinggi 30 cm (Dikti, 2016).

Salah satu kemampuan yang harus ada pada robot beroda adalah menendang. Penelitian terkait mengenai perancangan robot dengan metode logika fuzzy pada *mobile robot* sebagai alternatif untuk mengontrol kecepatan motor dan mengoptimalkan kerja sehingga didapatkan respon yang cepat (Putra, 2015). Dengan memanfaatkan penelitian dalam pengoptimalan kerja

motor sehingga dikembangkan sebagai pendorong bola yang dapat difungsikan untuk menendang menggunakan motor yang langsung di *couple* pada roda. Karena ini merupakan kompetisi baru pada Kontes Robot Indonesia, sistem penendang yang digunakan oleh tim peserta masih sangat beragam bahkan masih ada robot yang tidak memiliki kemampuan untuk menendang. Sistem penendang yang digunakan juga masih kurang efektif dari segi penggunaan ruang pada robot.

Berdasarkan masalah tersebut, penulis mengajukan skripsi ini untuk menganalisis sistem penendang bola pada robot sepakbola beroda. Dengan sistem ini diharapkan penggunaan ruang pada robot lebih efisien dan dapat mengatur jarak tendangan bola.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang di atas, dapat disusun rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh tegangan masukan pada motor DC?
2. Bagaimana hubungan antara tegangan masukan dan besaran sinyal PWM?
3. Bagaimana pengaruh tegangan dan sinyal PWM (*Pulse Width Modulation*) pada jarak dorongan bola?

1.3 Batasan Masalah

Dengan mengacu pada permasalahan yang telah dirumuskan, batasan masalah untuk skripsi ini adalah sebagai berikut :

1. Tidak menggunakan robot jenis *humanoid* melainkan menggunakan dua buah roda sebagai aktuator,
2. Jumlah robot yang dibuat satu buah
3. Lapangan tempat pengujian digunakan karpet berwarna hijau seperti pada lomba
4. Pemberian tegangan maksimal pada motor DC dalam pengujian sebesar 24V
5. Bola yang digunakan yaitu bola tenis berwarna orange dengan berat 60 gram
6. Motor DC yang digunakan yaitu Motor DC PG28 dengan torsi 20 kgf cm pada tegangan 24 Volt dan memiliki kecepatan maksimum 800 rpm.

1.4 Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah pada subbab sebelumnya maka tujuan penelitian adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui pengaruh pemberian tegangan pada motor DC
2. Mengetahui hubungan antara sinyal PWM dengan tegangan dan pengaruhnya terhadap motor DC
3. Merancang sistem pendorong bola menggunakan motor dc
4. Mampu mengendalikan dorongan bola menggunakan PWM (*Pulse Width Modulation*)

1.5 Manfaat

Manfaat dari penelitian ini adalah dapat membuat suatu sistem penendang bola yang efisien dari segi penggunaan ruang pada robot dan juga mampu mengatur jarak tendangan bola sehingga dapat diimplementasikan pada Kontes Robot Indonesia.

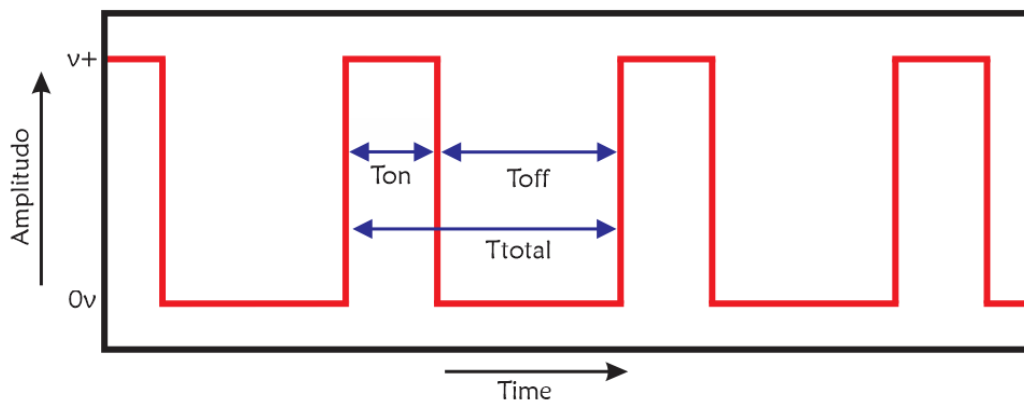
- *GPIO (50) with external interrupt capability*
- *12-bit ADC with 16 channels*
- *RTC*
- *Advanced-control Timer*
- *General Purpose Timers (7)*
- *Watchdog Timers (2)*
- *USART/UART (4)*
- *I2C (3)*
- *SPI (3)*
- *SDIO*
- *USB 2.0 OTG FS*

2. Board Features

- *Two types of extension resources*
 - *Arduino Uno Revision 3 connectivity*
 - *STMicroelectronics Morpho extension pin headers for full access to all STM32 I/Os*
- *On-board ST-LINK/V2-1 debugger/programmer with SWD connector*
 - *Selection-mode switch to use the kit as a standalone ST-LINK/V2-1*
- *Flexible board power supply*
 - *USB VBUS or external source (3.3 V, 5 V, 7 - 12 V)*
 - *Power management access point*
- *User LED (LD2)*
- *Two push buttons: USER and RESET*
- *USB re-enumeration capability: three different interfaces supported on USB*
 - *Virtual Com port*
 - *Mass storage (USB Disk drive) for drag'n'drop programming*
 - *Debug port*

2.2 Pulse Width Modulation (PWM)

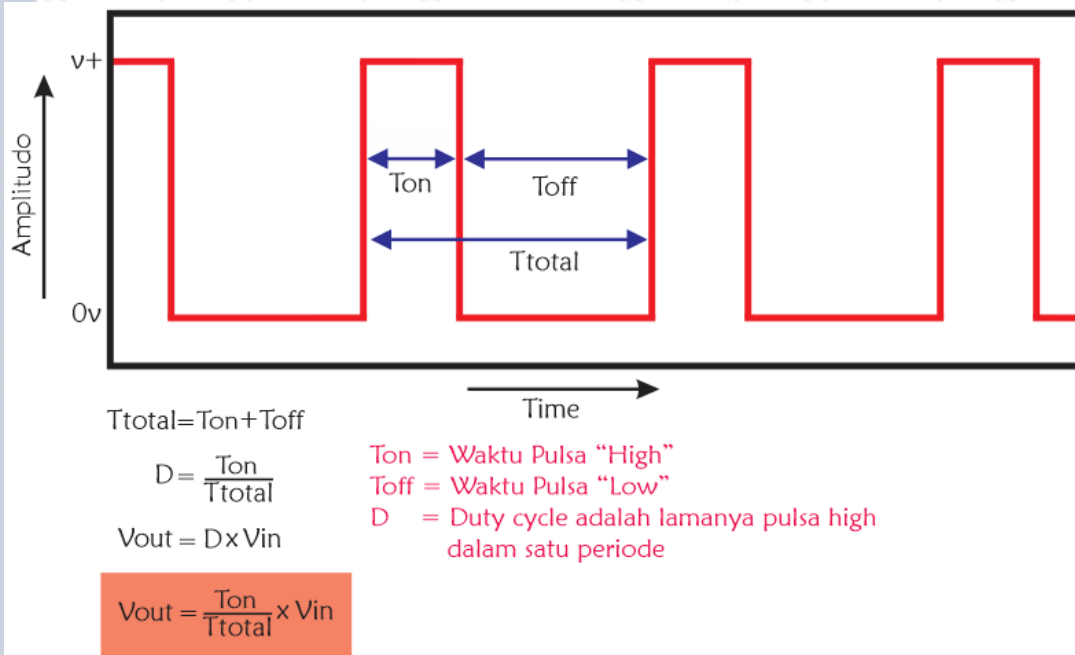
Pulse Width Modulation (PWM) secara umum adalah sebuah cara memanipulasi lebar sinyal yang dinyatakan dengan pulsa dalam satu periode, untuk mendapatkan tegangan rata-rata yang berbeda. Beberapa contoh aplikasi PWM adalah pemodulasian data untuk telekomunikasi, pengontrolan daya atau tegangan yang masuk ke beban, regulator tegangan, audio effect dan penguatan, serta aplikasi-aplikasi lainnya. Aplikasi PWM berbasis mikrokontroler biasanya berupa, pengendalian kecepatan motor DC, pengendalian Motor Servo, pengaturan nyala terang LED. Sinyal PWM ditunjukkan dalam Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Sinyal PWM

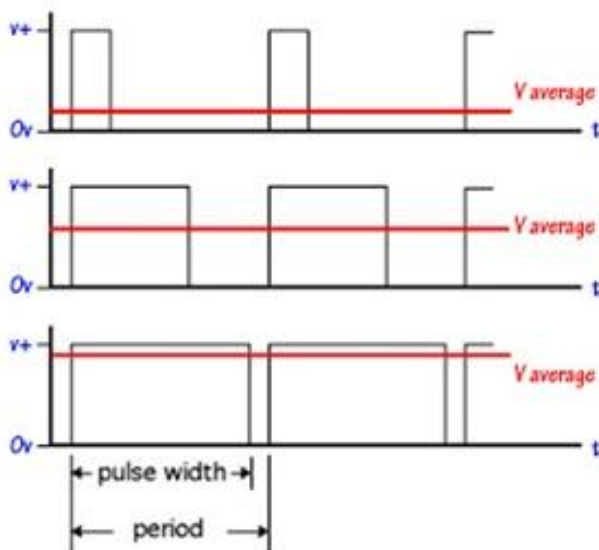
Sumber : Prayogo (2012)

Sinyal PWM pada umumnya memiliki amplitudo dan frekuensi dasar yang tetap, namun memiliki lebar pulsa yang bervariasi. Lebar pulsa PWM berbanding lurus dengan amplitudo sinyal asli yang belum termodulasi. Artinya, sinyal PWM memiliki frekuensi gelombang yang tetap namun *duty cycle* bervariasi antara 0% hingga 100%. Persamaan dari tegangan keluaran PWM ditunjukkan dalam Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Sinyal PWM dan persamaan V_{out} PWM
 Sumber : Prayogo (2012)

Dari persamaan tersebut diketahui bahwa perubahan *duty cycle* akan mengubah tegangan keluaran atau tegangan rata-rata. Pengaruh perubahan *duty cycle* terhadap tegangan keluaran ditunjukkan dalam Gambar 2.4.

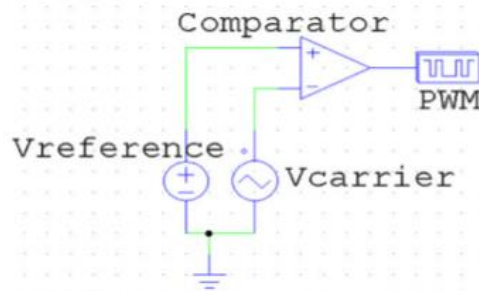


Gambar 2.4 Pengaruh perubahan *Duty Cycle* terhadap Tegangan Output
 Sumber : Prayogo (2012)

PWM dibedakan menjadi 2 jenis yaitu ;

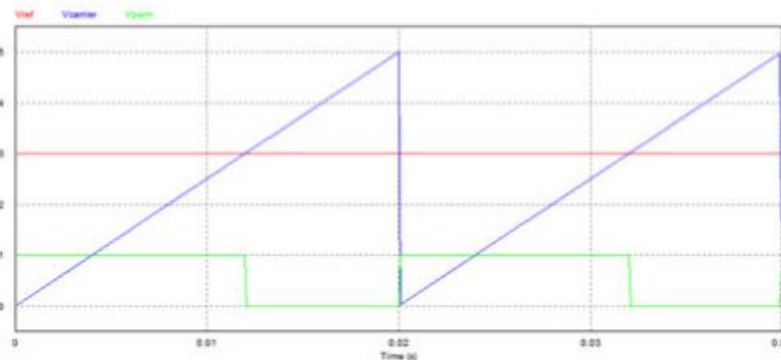
1. Analog

Pembangkitan sinyal PWM yang paling sederhana adalah dengan cara membandingkan sinyal gigi gergaji sebagai tegangan carrier dengan tegangan referensi menggunakan rangkaian op-amp comparator. Rangkaian PWM analog ditunjukkan dalam Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Rangkaian PWM Analog
Sumber : Prayogo (2012)

Cara kerja dari komparator analog ini adalah membandingkan gelombang tegangan gigi gergaji dengan tegangan referensi. Pembentukan sinyal PWM ditunjukkan dalam Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Pembentukan Sinyal PWM
Sumber : Prayogo (2012)

saat nilai tegangan referensi lebih besar dari tegangan *carrier* (gigi gergaji) maka keluaran dari komparator akan berlogika *high*. Namun saat tegangan referensi bernilai lebih kecil dari tegangan *carrier*, maka keluaran dari komparator akan berlogika *low*. Dengan memanfaatkan prinsip kerja dari komparator inilah, untuk mengubah *duty cycle* dari sinyal keluaran cukup dengan mengubah-ubah besar tegangan referensi. Besarnya *duty cycle* rangkaian PWM ini

$$\text{Duty Cycle} : \frac{V_{reference}}{V_{carrier}} \times 100\% \quad (2-1)$$

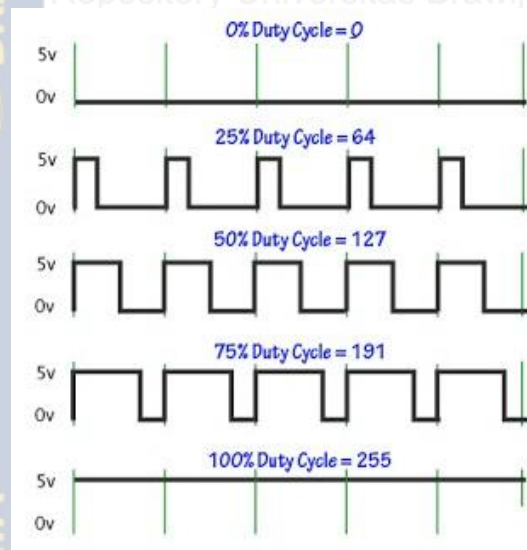
Sumber : Prayogo (2012)

2. Digital

Pada metode digital setiap perubahan PWM dipengaruhi oleh resolusi dari PWM itu sendiri. Misalkan PWM digital 8 bit berarti PWM tersebut memiliki resolusi $2^8 = 256$, maksudnya nilai keluaran PWM ini memiliki 256 variasi, variasinya mulai dari 0 – 255 yang mewakili *duty cycle* 0 – 100% dari keluaran PWM tersebut.

PWM merupakan salah satu teknik untuk mendapatkan sinyal analog dari sebuah piranti digital. Sebenarnya sinyal PWM dapat dibangkitkan dengan banyak cara, secara analog menggunakan IC op-amp atau secara digital.

Secara analog setiap perubahan PWM-nya sangat halus, sedangkan secara digital setiap perubahan PWM dipengaruhi oleh resolusi PWM itu sendiri. Resolusi adalah jumlah variasi perubahan nilai dalam PWM tersebut. Misalkan suatu PWM memiliki resolusi 8 bit, berarti PWM ini memiliki variasi perubahan nilai sebanyak 256 variasi mulai dari 0 – 255 perubahan nilai yang mewakili *duty cycle* 0% – 100% dari keluaran PWM tersebut. Pulsa Output dari perubahan nilai *Duty Cycle* ditunjukkan dalam Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Pulsa Output dari perubahan nilai *Duty Cycle*

Sumber : Prayogo (2012)

Untuk membandingkannya terhadap tegangan DC, PWM memiliki 3 mode operasi yaitu

1. *Inverted Mode*

Pada mode *inverted* ini jika nilai sinyal lebih besar dari pada titik pembanding (*compare level*) maka output akan di set *high* (5 V) dan sebaliknya jika nilai sinyal lebih kecil maka output akan di set *low* (0 V).

2. *Non Inverted Mode*

Pada mode *non inverted* ini *output* akan bernilai *high* (5 V) jika titik pembanding (*compare level*) lebih besar dari pada nilai sinyal dan sebaliknya jika bernilai *low* (0 V) pada saat titik pembanding lebih kecil dari nilai sinyal

3. *Toggle Mode*

Pada mode *toggle*, *output* akan beralih dari nilai *high* (5 V) ke nilai *low* (0 V) jika titik pembanding sesuai dan sebaliknya beralih dari nilai *low* ke *high*.

2.3 *Rotary Encoder*

Rotary Encoder adalah suatu komponen elektro mekanis yang memiliki fungsi untuk memonitoring posisi sudut pada suatu poros yang berputar. Dari perputaran benda tersebut data yang termonitoring akan diubah ke dalam bentuk data digital oleh *rotary encoder* berupa lebar pulsa kemudian akan dihubungkan ke kontroler (Mikrokontroler/PLC). Berdasarkan data yang di dapat berupa posisi *angular* (sudut) kemudian dapat diolah oleh kontroler sehingga mendapatkan data berupa kecepatan, arah, dan posisi dari perputaran porosnya. *Rotary Encoder* melacak gerakan poros motor untuk berbagai peralatan industri dan perangkat komersial.

Untuk aplikasi industri, *encoders* tambahan (digunakan ketika hanya posisi relatif yang diperlukan) biasanya digunakan dengan motor ac induksi. Sebaliknya, *encoders* mutlak (yang memberikan output biner yang berbeda di setiap posisi, sehingga posisi poros benar-benar tetap) sering dipasangkan dengan magnet permanen pada motor *brushless* di aplikasi servo. Seringkali, umpan balik *encoder* digunakan untuk memastikan sinkronisasi posisi stator motor dan rotor untuk pergerakan diterapkan ketika gulungan magnet rotor berada dalam kisaran posisi yang tepat (untuk memaksimalkan torsi).

2.3.1 *Konstruksi Rotary Encoder*

Konstruksi *Rotary Encoder* berupa piringan tipis yang biasanya di kopel dengan poros yang berputar, umumnya di kopel langsung dengan *shaft* motor. Piringan tipis tersebut terdapat lubang di sepanjang pinggir lingkarannya. Di bagian sisi-sisi piringan terdapat sebuah led dan

phototransistor di bagian yang bersebrangan. Fungsi dari lubang-lubang yang berada di sepanjang pinggir lingkaran tersebut akan menghantarkan cahaya led ke *phototransistor*, sebaliknya jika cahaya led tidak menembus lubang piringan maka cahaya akan tertahan. Piringan tersebut akan berputar sesuai dengan kecepatan putaran motor sehingga *phototransistor* akan saturasi ketika cahaya led menembus lubang-lubangnya.

Pada saat saturasi *phototransistor* akan menghasilkan pulsa dengan *range* +0.5V s/d +5V. Semakin banyak lubang yang berada pada piringan maka semakin banyak pulsa yang dihasilkan selama satu putaran, hal tersebut berbanding lurus dengan tingkat akurasi yang dihasilkan oleh *rotary encoder*. Ada 2 jenis *rotary* yang umum beredar di pasaran yaitu *Incremental Rotary Encoder* dan *Absolute Rotary Encoder*.

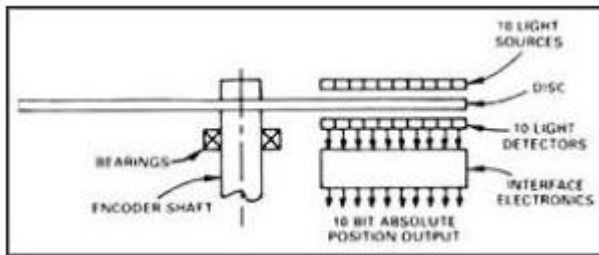
2.3.2 Absolute Rotary Encoder

Absolute encoder menggunakan piringan dan sinyal optik yang diatur sedemikian sehingga dapat menghasilkan kode digital untuk menyatakan sejumlah posisi tertentu dari poros yang dihubungkan padanya. Piringan yang digunakan untuk *absolute encoder* tersusun dari segmen-segmen cincin konsentris yang dimulai dari bagian tengah piringan ke arah tepi luar piringan yang jumlah segmennya selalu dua kali jumlah segmen cincin sebelumnya. Cincin pertama di bagian paling dalam memiliki satu segmen transparan dan satu segmen gelap, cincin kedua memiliki dua segmen transparan dan dua segmen gelap, dan seterusnya hingga cincin terluar. Susunan pola 16 cincin konsentris pada *absolute encoder* ditunjukkan dalam Gambar 2.8



Gambar 2.8 Susunan pola 16 cincin konsentris pada absolut encoder
Sumber : Rizqiawan (2009)

Karena setiap cincin pada piringan absolute encoder memiliki jumlah segmen kelipatan dua dari cincin sebelumnya, maka susunan ini akan membentuk suatu sistem biner. Untuk menghasilkan sistem biner pada susunan cincin maka diperlukan pasangan LED dan photo-transistor sebanyak jumlah cincin yang ada pada absolut encoder tersebut. Piringan dengan 10 cincin dan 10 LED *photo-transistor* untuk membentuk sistem biner 10 bit ditunjukkan dalam Gambar 2.9



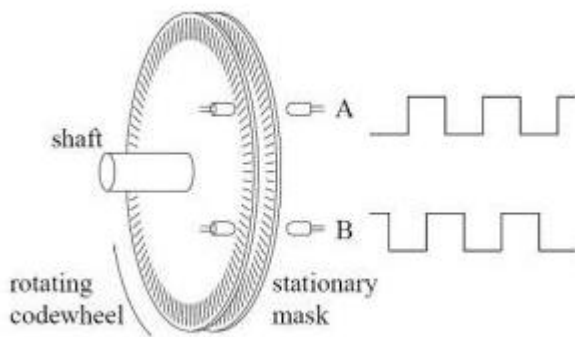
Gambar 2.9 Piringan dengan 10 cincin dan 10 LED *photo-transistor* untuk membentuk sistem biner 10 bit

Sumber : Rizqiawan (2009)

2.3.3 Incremental Rotary Encoder

Incremental encoder terdiri dari dua track atau *single track* dan dua sensor yang disebut channel A dan B (Gambar 7). Ketika poros berputar, deretan pulsa akan muncul di masing-masing channel pada frekuensi yang proporsional dengan kecepatan putar sedangkan hubungan fasa antara channel A dan B menghasilkan arah putaran. Dengan menghitung jumlah pulsa yang terjadi terhadap resolusi piringan maka putaran dapat diukur. Untuk mengetahui arah putaran, dengan mengetahui channel mana yang leading terhadap channel satunya dapat kita tentukan arah putaran yang terjadi karena kedua channel tersebut akan selalu berbeda fasa seperempat putaran (quadrature signal). Seringkali terdapat output channel ketiga, disebut INDEX, yang

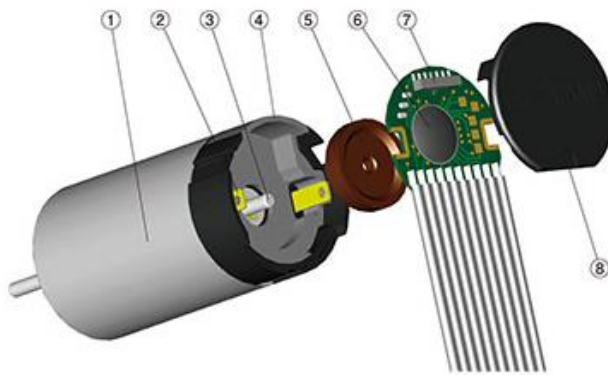
menghasilkan satu pulsa per putaran berguna untuk menghitung jumlah putaran yang terjadi. Susunan piringan untuk *incremental encoder* ditunjukkan dalam Gambar 2.10



Gambar 2.10 Susunan piringan untuk *incremental encoder*

Sumber : Rizqiawan (2009)

Bagian-bagian dari *magnetic encoder* ditunjukkan dalam Gambar 2.11.



Gambar 2.11 *Magnetic Encoder*

Sumber : Citizen Micro (2009)

1. Motor
2. Motor Terminal
3. Motor Shaft
4. Magnetic Shield
5. Magnetic wheel
6. ASIC
7. MR Sensor
8. Cap

2.4 Motor DC

Motor DC adalah motor listrik yang memerlukan suplai tegangan arus searah pada kumparan medan untuk diubah menjadi energi gerak mekanik. Kumparan medan pada motor dc disebut stator (bagian yang tidak berputar) dan kumparan jangkar disebut rotor (bagian yang berputar). Motor arus searah, sebagaimana namanya, menggunakan arus langsung yang tidak langsung/*direct-unidirectional*. Motor DC memiliki 3 bagian atau komponen utama untuk dapat berputar sebagai berikut.

Bagian atau komponen utama Motor DC yaitu:

- Kutub medan

Motor DC sederhana memiliki dua kutub medan: kutub utara dan kutub selatan. Garis magnetik energi membesar melintasi ruang terbuka diantara kutub-kutub dari utara ke selatan. Untuk motor yang lebih besar atau lebih kompleks terdapat satu atau lebih elektromagnet.

- *Current Elektromagnet* atau Dinamo

Dinamo yang berbentuk silinder, dihubungkan ke as penggerak untuk menggerakkan beban. Untuk kasus motor DC yang kecil, dinamo berputar dalam medan magnet yang dibentuk oleh kutub-kutub, sampai kutub utara dan selatan magnet berganti lokasi.

- *Commutator*

Komponen ini terutama ditemukan dalam motor DC. Kegunaannya adalah untuk transmisi arus antara dinamo dan sumber daya.

Bagian-bagian dari motor dc ditunjukkan dalam Gambar 2.12.



Gambar 2.12 Motor DC

Sumber : Agus (2013)

Keuntungan utama motor DC adalah sebagai pengendali kecepatan, yang tidak mempengaruhi kualitas pasokan daya. Motor ini dapat dikendalikan dengan mengatur:

1. Tegangan dinamo – meningkatkan tegangan dinamo akan meningkatkan kecepatan

2. Arus medan – menurunkan arus medan akan meningkatkan kecepatan.

Mekanisme kerja untuk seluruh jenis motor secara umum :

- Arus listrik dalam medan magnet akan memberikan gaya.
- Jika kawat yang membawa arus dibengkokkan menjadi sebuah loop, maka kedua sisi loop, yaitu pada sudut kanan medan magnet, akan mendapatkan gaya pada arah yang berlawanan.
- Pasangan gaya menghasilkan tenaga putar/torsi untuk memutar kumparan.
- Motor-motor memiliki beberapa loop pada dinamanya untuk memberikan tenaga putaran yang lebih seragam dan medan magnetnya dihasilkan oleh susunan elektromagnetik yang disebut kumparan medan.

Hubungan antara kecepatan, flux medan dan tegangan dinamo ditunjukkan dalam persamaan berikut:

$$\text{➤ Gaya Elektromagnetik (E) : } E = K\Phi N \quad (2-1)$$

$$\text{➤ Torque (T) : } T = K\Phi I_a \quad (2-2)$$

Sumber : Agus (2013)

Dimana:

E = gaya elektromagnetik yang dikembangkan pada terminal dinamo (volt)

Φ = flux medan yang berbanding lurus dengan arus medan

N = kecepatan dalam RPM (putaran per menit)

T = torque elektromagnetik

I_a = arus dinamo

K = konstanta persamaan

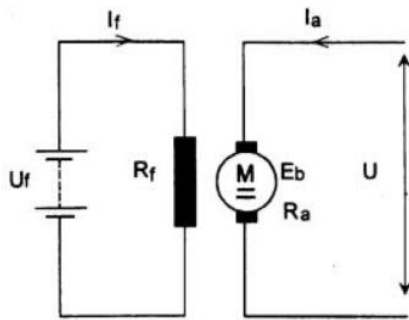
Pada motor dc, daerah kumparan medan yang dialiri arus listrik akan menghasilkan medan magnet yang melingkupi kumparan jangkar dengan arah tertentu. Konversi dari energi listrik menjadi energi mekanik (motor) maupun sebaliknya berlangsung melalui medan magnet, dengan demikian medan magnet disini selain berfungsi sebagai tempat untuk menyimpan energi, sekaligus sebagai tempat berlangsungnya proses perubahan energi.

Jenis-jenis motor DC:

1. Motor DC Penguat Terpisah

Motor jenis ini, penguat magnetnya mendapat arus dari sumber tersendiri dan terpisah dengan sumber arus ke rotor. Sehingga arus yang diberikan untuk jangkar dengan arus yang

diberikan untuk penguat magnet tidak terikat antara satu dengan lainnya secara kelistrikan. Gambar rangkaian motor penguat terpisah ditunjukkan dalam Gambar 2.13



Gambar 2.13 Rangkaian motor penguat terpisah

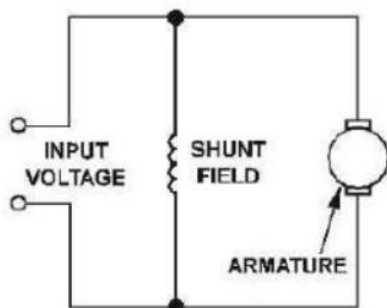
Sumber: Chapman (2005)

2. Motor DC Penguat Sendiri

Motor jenis ini yaitu jika arus penguat magnet diperoleh dari motor itu sendiri. Berdasarkan hubungan lilitan penguat magnet terhadap lilitan jangkar motor DC dengan penguat sendiri dapat dibedakan:

a. Motor DC Shunt

Motor ini dinamakan motor DC shunt karena cara pengkabelan motor ini yang parallel (shunt) dengan kumparan armature. Motor DC shunt berbeda dengan motor yang sejenis terutama pada gulungan kawat yang terkoneksi parallel dengan medan armature. Kita harus ingat bahwa teori elektronika dasar bahwa sebuah sirkuit yang parallel juga disebut sebagai shunt. Karena gulungan kawat diparalel dengan armature, maka disebut sebagai shunt winding dan motornya disebut shunt motor. Gambar rangkaian motor dc shunt ditunjukkan dalam Gambar 2.14



Gambar 2.14 Rangkaian motor dc shunt

Sumber: Chapman (2005)

b. Motor DC Seri

Dalam motor seri, gulungan medan (medan shunt) dihubungkan secara seri dengan gulungan dinamo (A). Oleh karena itu, arus medan sama dengan arus dinamo.

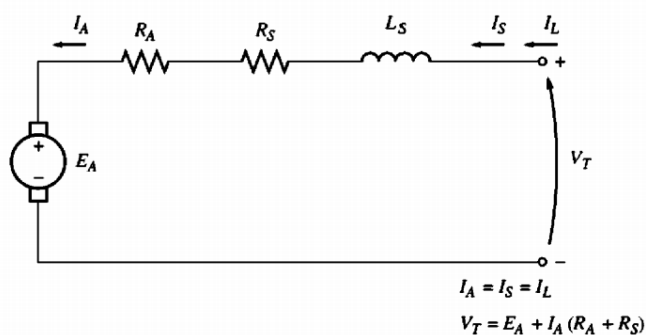
Karakter kecepatan dari motor DC tipe seri adalah :

- Kecepatan dibatasi pada 5000 RPM
- Harus dihindarkan menjalankan motor seri tanpa ada beban sebab motor akan mempercepat tanpa terkendali.

Karena kumparan medan terseri dengan kumparan armature, motor DC seri membutuhkan jumlah arus yang sama dengan arus yang mengalir melalui kumparan armature. Pengoperasian dari motor ini sangat mudah untuk dimengerti. Kita tahu, bahwa kumparan medan terkoneksi secara seri dengan kumparan armature. Hal ini berarti bahwa power akan teraplikasi pada salah satu ujung dari kumparan medan yang seri dan ujung lain dari kumparan armature yang terkoneksi dengan brush.

Ketika voltase diberikan, arus mulai mengalir dari terminal power supply yang negative ke kumparan yang seri dan kumparan armature. Kumparan armature tidak berputar ketika tegangan pertama kali diberikan dan satu-satunya hambatan pada sirkuit berasal dari konduktor yang digunakan pada armature dan kumparan penguat medan. Karena konduktor ini sangat besar, maka konduktor ini hanya akan memiliki hambatan yang kecil.

Hal ini menyebabkan motor mengambil arus yang besar dari power supply. Ketika arus yang besar mulai mengalir ke kumparan penguat medan dan kumparan armature maka akan terbentuk medan magnetik yang cukup kuat. Karena arusnya amat besar, hal ini menyebabkan kumparan menjadi jenuh, yang akan memproduksi medan magnet yang amat kuat. Rangkaian ekuivalen yang setara dengan motor dc seri ditunjukkan pada Gambar 2.15.



Gambar 2.15 Rangkaian ekuivalen motor dc seri

Sumber: Chapman (2005)

Karakteristik terminal motor dc seri berbeda dengan motor dc shunt. Prinsip kerja dari motor dc seri adalah fluks berbanding lurus dengan arus armature sampai kejenuhan tercapai. Ketika beban motor meningkat maka fluksnya juga meningkat. Torsi induksi pada mesin ini ditunjukkan dalam persamaan (2-3)

$$\tau = K\Phi I_A \quad (2-3)$$

Untuk menentukan torsi induksi yang dihasilkan motor dc pada kecepatan tertentu ditunjukkan dalam persamaan (2-4)

$$P = E_A I_A = \tau_{ind} \omega \quad (2-4)$$

Oleh karena itu diperoleh rumus torsi yang ditunjukkan dalam persamaan (2-5)

$$\tau_{ind} = \frac{E_A I_A}{\omega} \quad (2-5)$$

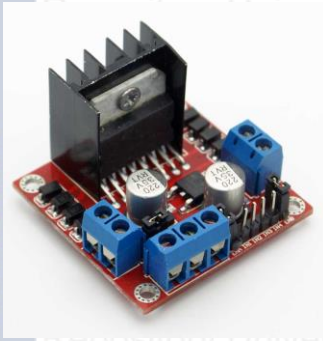
c. Motor DC kompon/gabungan

Motor Kompon DC merupakan gabungan motor seri dan shunt. Pada motor kompon, gulungan medan (medan shunt) dihubungkan secara paralel dan seri dengan gulungan kumparan motor DC (A) seperti yang ditunjukkan dalam gambar dibawah. Sehingga, motor kompon memiliki torque penyalaan awal yang bagus dan kecepatan yang stabil. Makin tinggi persentase penggabungan (yakni persentase gulungan medan yang dihubungkan secara seri), makin tinggi pula torque penyalaan awal yang dapat ditangani oleh motor ini.

2.5 Driver Motor H-Bridge

Driver motor berfungsi untuk mengubah sinyal PWM dari mikrokontroler menjadi tegangan. Dalam aplikasinya, driver motor biasanya tersusun dari rangkaian transistor-transistor yang tersusun sedemikian rupa sehingga mampu mengendalikan arah putar dan kecepatan motor berdasarkan arah *loop* dan tegangan kutub motor.

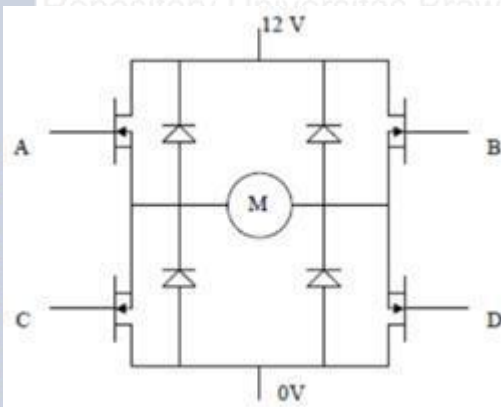
Driver yang akan digunakan adalah driver motor L298N dengan metode *H-bridge*, berikut ini adalah gambar driver motor L298N. Penampakkan driver motor l298N ditunjukkan dalam Gambar 2.16.



Gambar 2.16 Driver motor *H-bridge* L298N

Sumber : tronixlabs (2014)

H-bridge adalah sebuah perangkat keras berupa rangkaian yang berfungsi untuk menggerakkan motor. Rangkaian ini diberi nama *H-bridge* karena bentuk rangkaiannya yang menyerupai huruf H. Konfigurasi *H-Bridge* MOSFET ditunjukkan dalam Gambar 2.17



Gambar 2.17 Konfigurasi *H-Bridge* MOSFET

Sumber : fahmizal (2011)

Rangkaian ini terdiri dari dua buah MOSFET kanal P dan dua buah MOSFET kanal N. Prinsip kerja rangkaian ini adalah dengan mengatur mati-hidupnya ke empat MOSFET tersebut. Huruf M pada gambar adalah motor DC yang akan dikendalikan. Bagian atas rangkaian akan dihubungkan dengan sumber daya kutub positif, sedangkan bagian bawah rangkaian akan dihubungkan dengan sumber daya kutub negatif. Pada saat MOSFET A dan MOSFET D *on* sedangkan MOSFET B dan MOSFET C *off*, maka sisi kiri dari gambar motor akan terhubung dengan kutub positif dari catu daya, sedangkan sisi sebelah kanan motor akan terhubung dengan kutub negatif dari catu daya sehingga motor akan bergerak searah jarum jam. Sebaliknya, jika MOSFET B dan MOSFET C *on* sedangkan MOSFET A dan MOSFET D *off*, maka sisi kanan

motor akan terhubung dengan kutub positif dari catu daya sedangkan sisi kiri motor akan terhubung dengan kutub negatif dari catu daya. Maka motor akan bergerak berlawanan arah jarum jam. Logika arah motor di tunjukkan dalam Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Perubahan masukan terhadap aksi motor

A	B	C	D	Aksi
1	0	0	1	Motor berputar searah jarum jam
0	1	1	0	Moter berputar berlawanan arah jarum jam
0	0	0	0	Bebas
0	0	1	1	Pengereman
1	1	0	0	Pengereman

Sumber : fahmizal (2011)

BAB III

METODE PENELITIAN

Untuk menyelesaikan rumusan masalah dan merealisasikan tujuan penelitian yang terdapat di bab pendahuluan maka diperlukan langkah-langkah untuk menyelesaikan masalah tersebut. Metode yang digunakan dapat diuraikan sebagai berikut :

3.1 Studi Literatur

Sumber referensi diambil dari buku-buku teks, jurnal, skripsi dan tesis yang sudah ada, dan buku-buku online di internet. Teori yang akan dipelajari menyangkut beberapa materi antara lain:

1. Motor DC
2. *Pulse Width Modulation* (PWM)
3. *Driver H-bridge*
4. *Rotary Encoder*
5. Mikrokontroler STM32 F401RE Nucleo
6. *Boost Converter*

3.2 Penentuan Spesifikasi Alat

Spesifikasi alat secara global ditetapkan terlebih dahulu sebagai acuan dalam perancangan selanjutnya. Spesifikasi alat yang direncanakan adalah sebagai berikut:

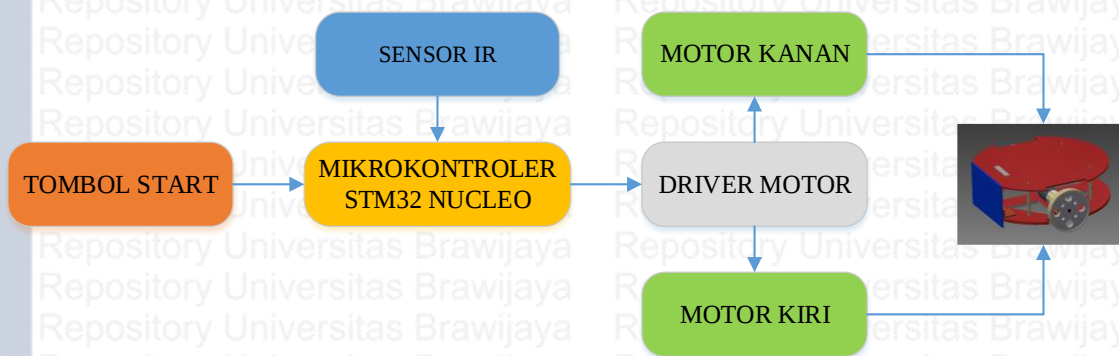
- 1) *Chassis Robot* dan mekanik penendang menggunakan bahan dasar mika *acrylic* dengan tebal 3 mm.
- 2) Dimensi robot berukuran panjang 240 mm dan lebar 230 mm.
- 3) Menggunakan dua buah motor DC jenis PG28 sebagai aktuator dengan kecepatan 800 rpm pada saat torsi sebesar 20 kgf cm.
- 4) Menggunakan dua buah roda berbahan *nylon* yang di *couple* ke motor DC dengan diameter 80 mm dan ketebalan 12 mm.
- 5) Menggunakan dua buah *ball caster* yang diletakkan disisi depan dan belakang robot sebagai penyeimbang robot.
- 6) Menggunakan mikrokontroler STM32 Nucleo sebagai penggerak utama *mobile robot*.

- 7) Driver motor yang digunakan adalah sebuah L298N *H-bridge* untuk menggerakkan dua buah motor DC.
- 8) Sumber tegangan yang dibutuhkan memiliki range antara 11,0 – 24,0 V, oleh karena itu digunakan sumber tegangan berupa baterai Lithium Polymer 3S 11,1 V 2200 mAH dan sebuah *boost converter* yang dapat menyuplai tegangan sampai 35 V.

3.3 Perancangan *Hardware*

3.3.1 Perancangan Blok Diagram Keseluruhan

Pada perancangan alat diperlukan perencanaan blok diagram sistem yang dapat menjelaskan sistem secara garis besar dan diharapkan alat dapat bekerja sesuai dengan rencana. Diagram blok sistem secara keseluruhan ditunjukkan dalam Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram Blok Sistem secara keseluruhan

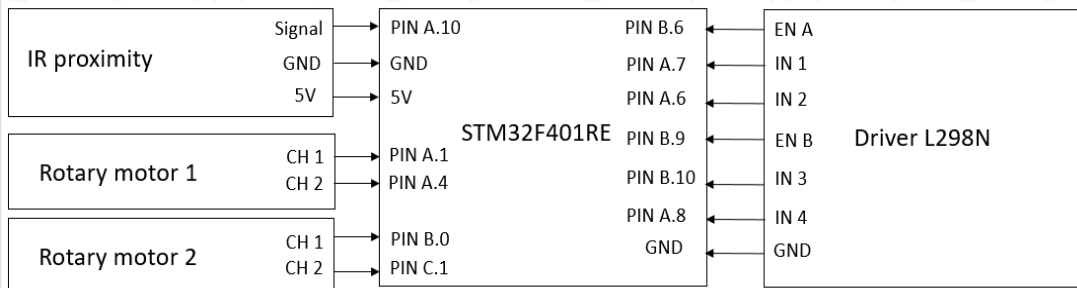
Prinsip kerja sistem ini adalah awalnya robot akan dicatu dengan dua tegangan berbeda yaitu 12 volt dan 24 volt. Masukan berupa nilai PWM (*Pulse Width Modulation*) diberikan oleh *user*. Kemudian data atau nilai ini akan dikalkulasi dan diolah oleh mikrokontroler. Nilai yang dikalkulasi berupa sinyal kontrol yang akan digunakan sebagai masukan driver motor. Driver motor ini akan menggerakkan motor DC sesuai dengan sinyal kontrol keluaran mikrokontroler. Robot melakukan pergerakan maju untuk menendang bola sampai sensor *infrared* mendeteksi bola. Setelah bola terdeteksi maka robot akan berhenti.

3.3.2 Perancangan Rangkaian Antarmuka Mikrokontroler Utama

Pada perancangan perangkat keras robot ini menggunakan modul mikrokontroller ARM sebagai pengolah utama untuk pemrosesan algoritma. Mikrokontroller mempunyai 5 port dan 50 GPIO dapat diprogram menjadi masukan atau keluaran. Pada perancangan ini pin-pin yang digunakan adalah :

PIN A.10	=	dihubungkan dengan pin sinyal pada IR <i>Proximity</i>
PIN A.1	=	dihubungkan dengan pin Channel 1 pada <i>Rotary Encoder</i> motor 1
PIN A.4	=	dihubungkan dengan pin Channel 2 pada <i>Rotary Encoder</i> motor 1
PIN B.0	=	dihubungkan dengan pin Channel 1 pada <i>Rotary Encoder</i> motor 2
PIN C.1	=	dihubungkan dengan pin Channel 2 pada <i>Rotary Encoder</i> motor 2
PIN B.6	=	dihubungkan dengan masukan PWM <i>driver</i> pada <i>ENABLE A</i>
PIN B.9	=	dihubungkan dengan masukan PWM <i>driver</i> pada <i>ENABLE B</i>
PIN A.7	=	dihubungkan dengan pin INPUT 1 pada rangkaian <i>driver</i>
PIN A.6	=	dihubungkan dengan pin INPUT 2 pada rangkaian <i>driver</i>
PIN B.10	=	dihubungkan dengan pin INPUT 3 pada rangkaian <i>driver</i>
PIN A.8	=	dihubungkan dengan pin INPUT 4 pada rangkaian <i>driver</i>

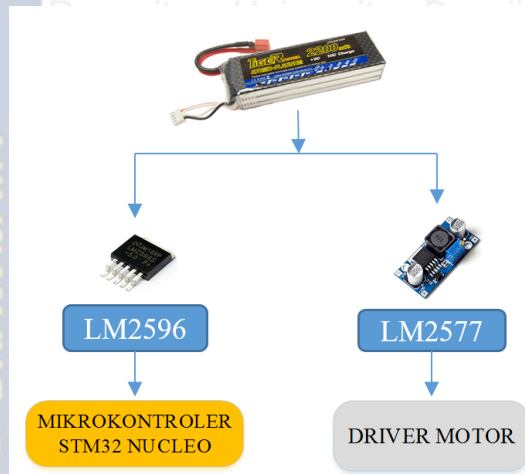
Mikrokontroler STM32F401RE merupakan kontroler utama yang nantinya akan memproses data dari sensor *infrared proximity* yang dihubungkan ke PIN A.10 yang ada di STM. Mikrokontroler menerima data dari sensor *rotary encoder* yang akan digunakan untuk mengukur kecepatan motor dc yang digunakan. Mikrokontroler STM32F401RE juga berfungsi sebagai kontroler utama untuk mengatur pergerakan aktuator. Adapun diagram blok antarmuka mikrokontroler utama secara keseluruhan ditunjukkan dalam Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Diagram Blok Antarmuka Mikrokontroler Utama Secara Keseluruhan

3.3.3 Perancangan Catu Daya

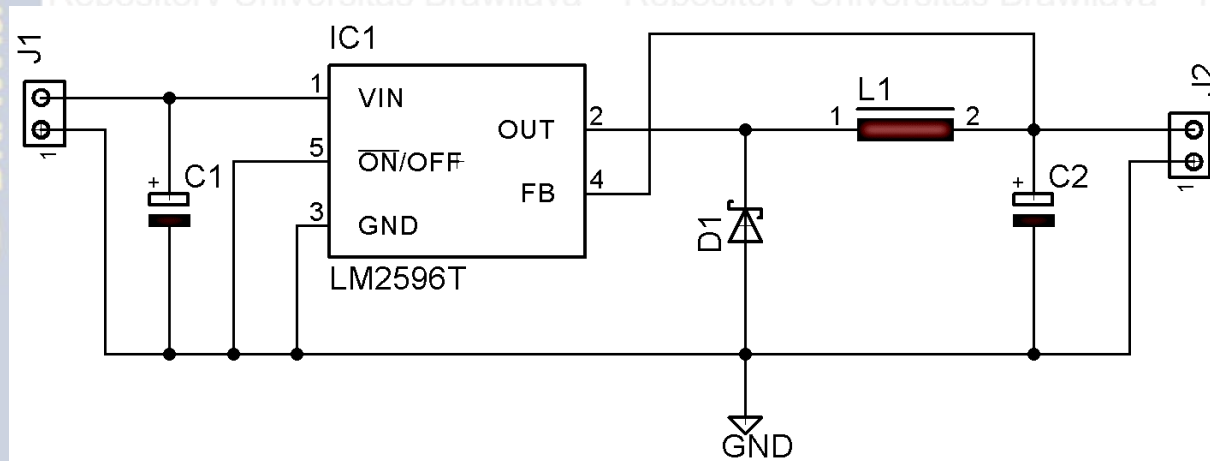
Sumber catu daya yang dipakai adalah dua buah baterai lipo (*lithium polimer*) 12 V. Catu daya 5 V diperoleh dari rangkaian regulator simple switcher LM2596. Sedangkan catu daya 24 V diperoleh dari modul LM2577. Diagram blok catu daya pada sistem keseluruhan robot ditunjukkan dalam Gambar 3.3



Gambar 3.3 Diagram Blok Catu Daya Dari Sistem Keseluruhan

3.3.3.1 Perancangan Catu Daya 5V

Alat ini membutuhkan catu daya 5V untuk mencatu mikrokontroler STM32. Sedangkan sumber catu daya utama berupa baterai li-po 3S 11.1 V, sehingga dibutuhkan suatu rangkaian untuk menurunkan tegangan menjadi 5V. Pada perancangan ini digunakan sebuah IC regulator *simple switcher* LM2596 dengan spesifikasi keluaran tegangan 5V dan arus maksimal 3A. Rangkaian regulator tegangan LM2596 ditunjukkan dalam Gambar 3.4



Gambar 3.4 Rangkaian catu daya 5V

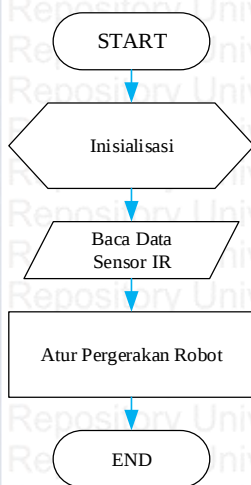
Rangkaian regulator tegangan dengan IC LM2596 membutuhkan komponen tambahan berupa kapasitor, induktor, dan dioda. Dioda D_1 merupakan dioda *schottky* dengan tipe 1N5822. Kapasitor C_1 berfungsi untuk mengurangi *ripple* pada tegangan input. Nilai untuk kapasitor C_1 sebesar 680 μF . Kapasitor C_2 digunakan untuk mengubah sinyal keluaran menjadi linear. Nilai

kapasitor C_2 sebesar 220 μF . Sedangkan Induktor L_1 memiliki nilai 33 μH . Rangkaian dan spesifikasi komponen didapatkan dari datasheet LM2596.

3.4 Perancangan Software

Perancangan Software dilakukan dengan merancang diagram alir (*flowchart*) terlebih dahulu. Diagram alir ini berfungsi sebagai alur kerja untuk setiap perangkat keras yang dikendalikan oleh mikrokontroler STM32 Nucleo serta proses-proses perhitungan yang dikerjakan oleh mikrokontroler. Bahasa pemrograman yang digunakan dalam program utama adalah bahasa C dengan menggunakan compiler Coocox.

Proses yang pertama kali dilakukan adalah inisialisasi *Timer/Counter1*, *interrupt usart receiver*, dan variabel-variabel yang digunakan. *Timer/Counter1* diatur pada mode fast PWM untuk mengendalikan motor DC. *Interrupt usart receiver* digunakan untuk menginterupsi program ketika terdapat data yang diterima melalui pin RX STM32. Diagram alir sistem utama *mobile robot* ditunjukkan dalam Gambar 3.5



Gambar 3.5 Diagram Alir sistem utama mobile robot

Proses yang pertama kali dilakukan adalah inisialisasi *Timer/Counter1*, *interrupt usart receiver*, dan variabel-variabel yang digunakan. *Timer/Counter1* diatur pada mode fast PWM untuk mengendalikan motor DC. *Interrupt usart receiver* digunakan untuk menginterupsi program ketika terdapat data yang diterima melalui pin RX STM32.

Kemudian dilakukan pembacaan sensor proximity infrared. Masukan sensor ini berupa sinyal digital. Apabila sensor mendeteksi bola maka robot akan berhenti.

Dari masukan PWM pada awal proses akan menghasilkan pergerakan robot maju untuk menendang bola. Robot akan terus bergerak maju sampai sensor infrared mendeteksi bola. Masukan PWM sudah ditentukan dengan rentang mulai 60% - 100% karena nilai PWM dibawah 60% belum bisa digunakan untuk menggerakkan motor DC.

3.5 Pengujian Alat

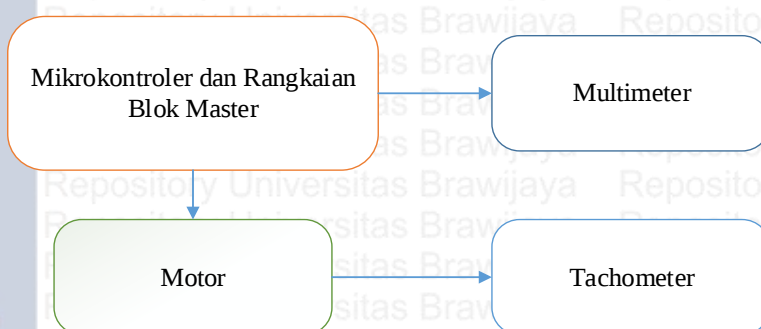
Untuk mengetahui kinerja alat apakah sesuai dengan yang direncanakan maka dilakukan pengujian alat. Pengujian dilakukan pada masing-masing bagian dan kemudian secara keseluruhan sistem. Secara garis besar pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut.

3.5.1 Pengujian Motor

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui perubahan kecepatan putaran motor karena perubahan tegangan masukannya dan mengetahui konsumsi arus yang dibutuhkan.

Alat yang digunakan untuk pengujian ini yaitu STM32 F401RE, Motor DC PG28, Baterai lithium polymer 3S 11,1V 2200 mAh, Rangkaian Blok Master, Tachometer, Modul regulator DC to DC *boost converter stepup*, Multimeter.

Proses pengujian dilakukan dengan menghubungkan rangkaian sesuai dengan skema pengujian yang ditunjukkan pada Gambar 3.6. Untuk menguji kecepatan putaran motor digunakan tachometer, poros motor dc langsung dihubungkan dengan poros tachometer. Supply tegangan masukan akan diubah mulai tegangan 11-24 volt dengan kenaikan 1 volt. Pencatatan hasil kecepatan motor dan konsumsi arus akan dilakukan setiap kenaikan tegangan 1 volt. Skema pengujian perubahan kecepatan motor dan arus terhadap tegangan ditunjukkan dalam Gambar 3.6.



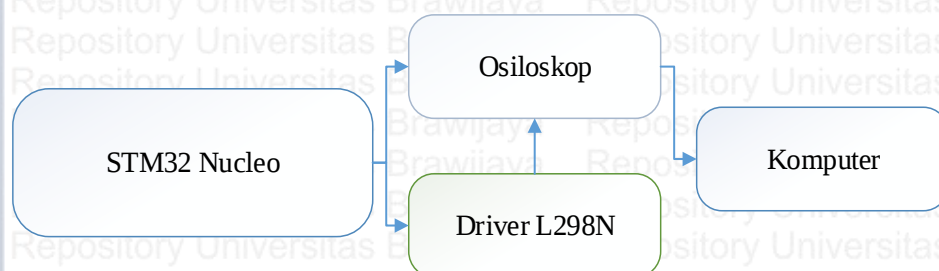
Gambar 3.6 Skema pengujian perubahan kecepatan motor dan arus terhadap tegangan

3.5.2 Pengujian Duty Cycle Rangkaian Mikrokontroler dan Driver L298N

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kinerja dan respon dari rangkaian *driver* motor L298N dengan membandingkan sinyal *duty cycle* pada rangkain *driver* terhadap sinyal keluaran *duty cycle* PWM dari mikrokontroler.

Alat yang digunakan untuk pengujian ini yaitu Catu Daya 5V dan 12V, STM32 Nucleo, Rangkaian *Driver* L298N, Osiloskop digital, Komputer.

Prosedur pengujian dilakukan dengan menghubungkan *driver* motor L298N, mikrokontroler utama dan osiloskop sesuai dengan skema pengujian pada Gambar 3.7. Dengan memberikan sinyal masukan *duty cycle* PWM dari range 0% sampai 100% pada pin masukan *driver* dengan kenaikan 10%. Maka dengan menggunakan osiloskop digital dan perangkat komputer sinyal persegi keluaran dari mikrokontroler dan *driver* L298 dapat diamati. Pengujian ini dilakukan dengan membandingkan nilai *duty cycle* masukan dari mikrokontroler dengan *duty cycle* yang dikeluarkan oleh rangkaian *driver* L298N. Skema pengujian *Duty Cycle* Rangkaian Mikrokontroler dan *Driver* L298N ditunjukkan dalam Gambar 3.7.



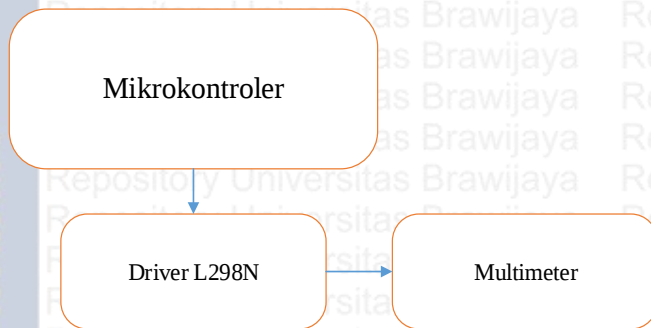
Gambar 3.7 Skema pengujian *Duty Cycle* Rangkaian Mikrokontroler dan *Driver* L298N

3.5.3 Pengujian Perubahan nilai Tegangan terhadap perubahan *Duty Cycle*

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh masukan *duty cycle* pada mikrokontroler terhadap besarnya perubahan nilai tegangan.

Alat yang digunakan untuk pengujian ini yaitu STM32 F401RE, Motor DC PG28, *Power Supply*, Multimeter, Kabel, dan Osiloskop.

Proses pengujian dilakukan dengan menghubungkan rangkaian sesuai dengan skema pengujian yang ditunjukkan pada Gambar 3.8. Kemudian perubahan *duty cycle* mulai dari 0% - 100% dengan kenaikan 10%. Pencatatan hasil keluaran tegangan. Skema pengujian perubahan nilai tegangan ditunjukkan dalam Gambar 3.8.



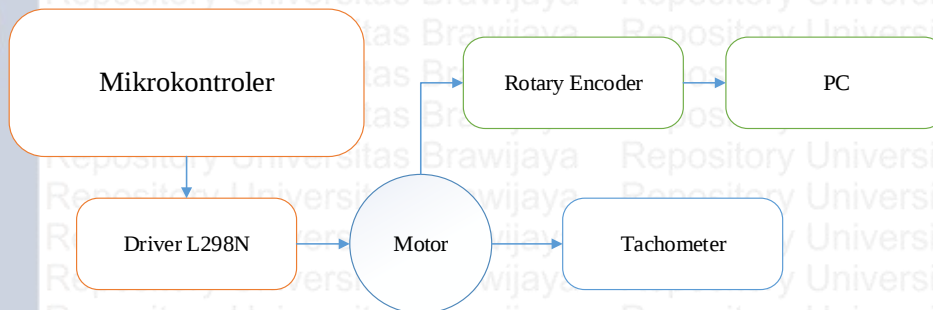
Gambar 3.8 Skema pengujian perubahan nilai tegangan

3.5.4 Pengujian Rotary Encoder

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui dan membandingkan antara pembacaan tachometer dan konversi keluaran sensor yang telah dikonversi menjadi rpm.

Alat yang digunakan untuk pengujian ini yaitu STM32 F401RE, Motor DC PG28, dan Tachometer.

Proses pengujian dilakukan dengan menghubungkan rangkaian sesuai dengan skema pengujian yang ditunjukkan pada Gambar 3.9. Motor diberi masukan *duty cycle* mulai 0% - 100% dengan kenaikan 10%. Pada poros motor yang dihubungkan dengan tachometer, diukur kecepatan putarannya. Kemudian data dari sensor *rotary encoder* dikirim ke PC melalui Serial Monitor. Hasil pengukuran dari sensor *rotary encoder* dan tachometer dibandingkan kemudian dihitung selisih pembacaannya. Skema pengujian *rotary encoder* ditunjukkan dalam Gambar 3.9.



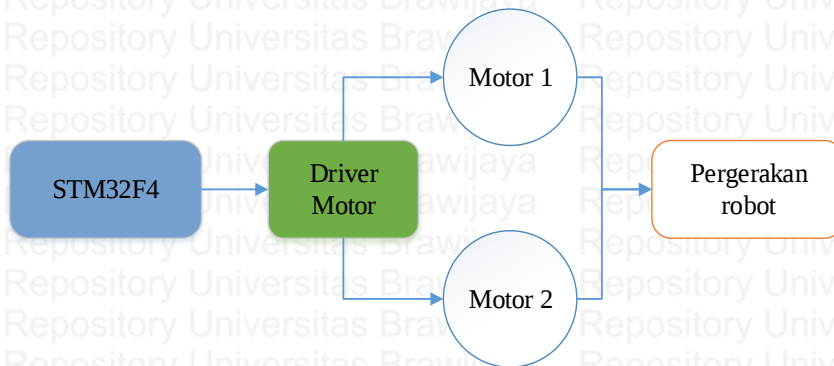
Gambar 3.9 Skema pengujian *rotary encoder*

3.5.5 Pengujian Driver Motor

Pengujian ini bertujuan mengetahui respon perubahan arah gerak motor mobile robot terhadap perubahan PWM kanan dan kirinya.

Alat yang digunakan untuk pengujian ini yaitu STM32 F401RE, Motor DC PG28, Driver L298N, dan kabel.

Proses pengujian ini dilakukan dengan menghubungkan rangkaian sesuai dengan skema pengujian pada Gambar 3.10. Mikrokontroler akan memberikan instruksi arah dan kecepatan pada rangkaian *driver* L298N. Dengan memberikan sinyal pin logika arah motor 0 atau 1 ke rangkaian *driver* L298N maka gerak motor dapat diamati. Skema pengujian driver motor ditunjukkan dalam Gambar 3.10.



Gambar 3.10 Skema pengujian driver motor

3.5.6 Pengujian Jarak Dorongan Bola

Pengujian ini bertujuan mengetahui pemberian masukan tegangan dan sinyal PWM yang dibutuhkan untuk mendapatkan jarak dorongan bola yang diinginkan.

Alat yang digunakan untuk pengujian ini yaitu STM32 F401RE, Motor DC PG28, Driver L298N, dan kabel.

Proses pengujian ini dilakukan dengan menggunakan sebuah robot sepakbola beroda. Pengujian pertama dilakukan dengan mengatur tegangan masukan sebesar 12 volt. Kemudian variabel yang diubah adalah masukan sinyal PWM dengan rentang 60%-100%. Untuk setiap nilai sinyal PWM yang diubah, akan dilakukan pengujian dengan jarak antara robot dan bola sebesar 10 cm, 20 cm, dan 30 cm. Pengujian selanjutnya dengan mengatur tegangan masukan sebesar 24 volt. Kemudian variabel yang diubah adalah masukan sinyal PWM dengan rentang 60%-100%. Untuk setiap nilai sinyal PWM yang diubah, akan dilakukan pengujian dengan jarak antara robot dan bola sebesar 10 cm, 20 cm, dan 30 cm.



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian dan analisis dilakukan untuk menganalisis alat yang telah dirancang dan diimplementasikan apakah telah bekerja sesuai dengan perancangan. Pengujian dilakukan tiap-tiap blok dengan tujuan untuk mengamati apakah tiap rangkaian sudah sesuai dengan perancangan, kemudian dilanjutkan dengan pengujian secara keseluruhan sistem. Adapun pengujian yang telah dilakukan sebagai berikut:

1. Pengujian Motor
2. Pengujian *Duty Cycle* Rangkaian Mikrokontroler dan Driver L298N
3. Pengujian Perubahan nilai Tegangan terhadap perubahan *Duty Cycle*
4. Pengujian *Rotary Encoder*
5. Pengujian Driver Motor
6. Pengujian Jarak Dorongan Bola

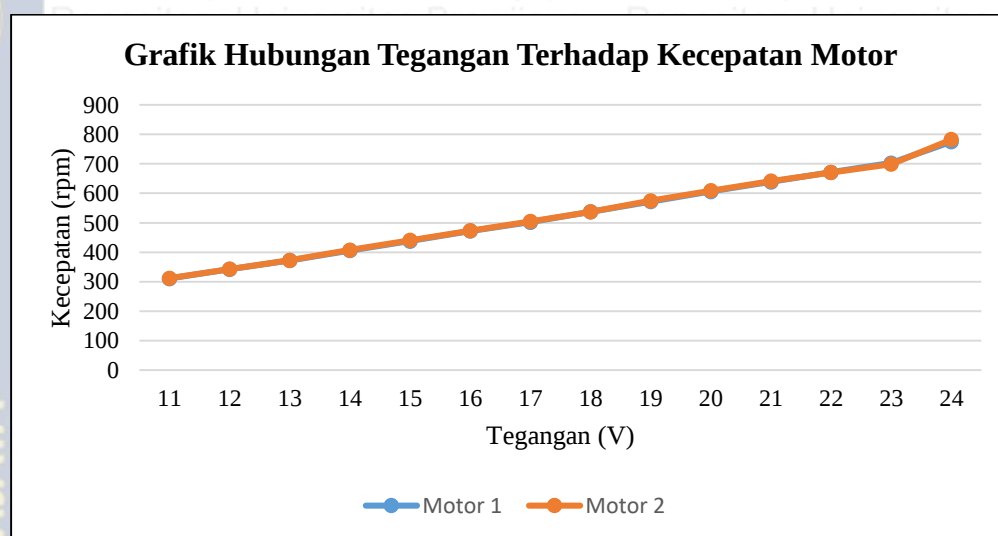
4.1. Pengujian Motor

Pengujian dilakukan untuk mengetahui hubungan antara perubahan tegangan terhadap kecepatan putaran motor, serta konsumsi arus yang dibutuhkan. Pengujian dilakukan sebanyak sekali untuk masing-masing motor 1 dan motor 2. Supply tegangan masukan diubah mulai 11-24 volt dengan kenaikan 1 volt. Dari pengujian ini akan dilihat pengaruh tegangan masukan terhadap motor DC yang digunakan. Data pengujian motor ditunjukkan dalam Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Data Pengujian Motor

Tegangan (V)	Motor 1		Motor 2	
	Kecepatan (rpm)	Arus (A)	Kecepatan (rpm)	Arus (A)
11	310,9	0,48	312,3	0,51
12	342,2	0,5	342,8	0,52
13	372,1	0,5	372,6	0,54
14	405,7	0,52	407,5	0,55
15	438,2	0,5	440,7	0,57
16	472,2	0,51	473,3	0,58
17	502,2	0,53	504,9	0,61
18	537	0,53	537,4	0,62
19	572,2	0,55	574,9	0,64
20	606,1	0,56	608,9	0,64
21	638,6	0,58	641,2	0,65
22	671,1	0,58	670,9	0,66
23	702,5	0,6	699,1	0,7
24	775,1	0,6	782,4	0,7

Data dari Tabel 4.1 dapat ditampilkan menjadi sebuah grafik, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.,



Gambar 4.1 Grafik Perubahan Tegangan terhadap Kecepatan Motor DC

Berdasarkan grafik diatas dapat disimpulkan bahwa hubungan antara tegangan dan kecepatan motor bersifat linier. Semakin besar tegangan masukannya maka kecepatan motor akan semakin cepat. Dari tegangan masukan terkecil 11 Volt dengan kecepatan terendah yaitu 310,9 rpm terus mengalami kenaikan sampai tegangan masukan terbesar 24 Volt dengan kecepatan tertinggi yaitu 775,1 rpm pada pengujian motor 1. Pada motor 2 juga terus mengalami kenaikan kecepatan motor dengan kecepatan terendah 312,3 rpm pada tegangan 11 Volt dan kecepatan tertinggi 782,4 rpm saat tegangan 24 Volt. Kemudian perbedaan kecepatan antara motor 1 dan motor 2 tidak terlalu besar dengan selisih perbedaan terbesar yaitu 7,3 rpm saat tegangan 24 Volt. Hasil ini sangat bagus karena tidak akan mempengaruhi pergerakan *mobile robot* saat pengujian keseluruhan.

4.2. Pengujian *Duty Cycle* Rangkaian Mikrokontroler dan Driver L298N

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kinerja dan respon dari rangkaian *driver* motor L298N dengan membandingkan sinyal *duty cycle* pada rangkain *driver* terhadap sinyal keluaran *duty cycle* PWM dari mikrokontroler. Pengujian *duty cycle* pada mikrokontroler dan driver ditunjukkan dalam Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Pengujian *duty cycle* pada mikrokontroler dan driver

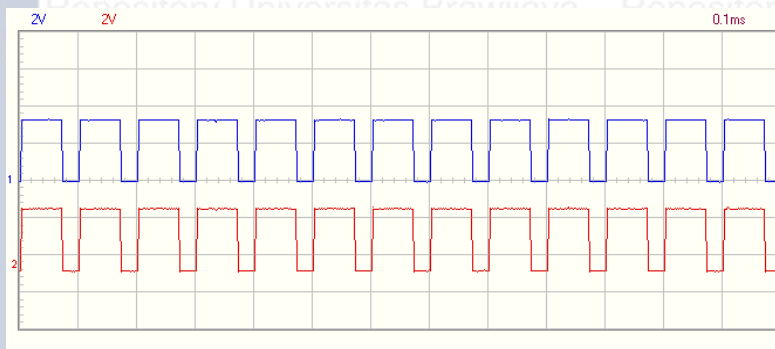
Duty Cycle PWM MK (%)	Duty Cycle keluaran driver (%)	Selisih (%)
0	0	0
9,8	9,6	0,2
19,7	19,5	0,2
29,7	29,6	0,1
39,6	39,2	0,4
49,8	49,9	0,1
59,4	59,3	0,1
68,8	69	0,2
79,5	79,2	0,3
89,2	88,8	0,4
99,4	99,3	0,1

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 4.2, diperoleh hasil bahwa keluaran *duty cycle* pada driver mendekati *duty cycle* pada mikrokontroler dengan selisih rata-rata sebesar 0,21%. Selisih terbesar antara *duty cycle* driver motor dan mikrokontroler adalah sebesar 0,4%. Hasil pengujian diatas sangat bagus karena masukan yang diberikan dan keluaran yang diinginkan tidak memiliki perbedaan yang besar. Pengujian dilakukan dengan menggunakan osiloskop digital Velleman PCLAB PCSU100 dengan hasil data saat *duty cycle* sebesar 70% ditunjukkan dalam Gambar 4.2

Parameter	CH1	CH2
DC Mean	2.13 V	1.88 V
Max	3.31 V	3.13 V
Min	-0.81 V	-1.06 V
Peak-to-Peak	4.13 V	4.19 V
High	3.19 V	3.00 V
Low	-0.13 V	-0.38 V
Amplitude	3.31 V	3.38 V
AC RMS	1.54 V	1.56 V
AC dBV	3.75 dBV	3.84 dBV
AC dBm	5.97 dBm	6.06 dBm
AC+DC RMS	2.64 V	2.47 V
AC+DC dBV	8.43 dBV	7.86 dBV
AC+DC dBm	10.7 dBm	10.1 dBm
Duty Cycle	68.8 %	69.0 %
Positive Width	0.069 ms	0.069 ms
Negative Width	0.031 ms	0.031 ms
Rise Time	0.000 ms	0.000 ms
Fall Time	0.000 ms	0.000 ms
Period	0.100 ms	0.100 ms
Frequency	10.0 kHz	10.0 kHz
Phase	2.0 deg	-2.0 deg

Gambar 4.2 Data keluaran osiloskop saat *duty cycle* 70%

Bentuk sinyal keluaran saat *duty cycle* sebesar 70% ditunjukkan dalam Gambar 4.3



Gambar 4.3 Bentuk sinyal saat *duty cycle* 70%

(Warna merah: Sinyal Keluaran Driver L298N, Warna Biru: Sinyal PWM mikrokontroler)

4.3. Pengujian Perubahan nilai Tegangan terhadap perubahan *Duty Cycle*

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh perubahan masukan *duty cycle* PWM dari mikrokontroler terhadap tegangan. Besarnya perubahan tegangan tersebut akan

mempengaruhi kecepatan putaran motor tersebut. Nilai perubahan *duty cycle* dimulai dari 0% - 100% dengan kenaikan 10%. Pengujian akan dilakukan sebanyak 3 kali pada setiap nilai perubahan *duty cycle* untuk mengetahui tegangan rata-rata. Secara teori, tegangan yang dihasilkan ditunjukkan dalam persamaan (4-1)

$$V_{out} = D \times V_{in} \quad (4-1)$$

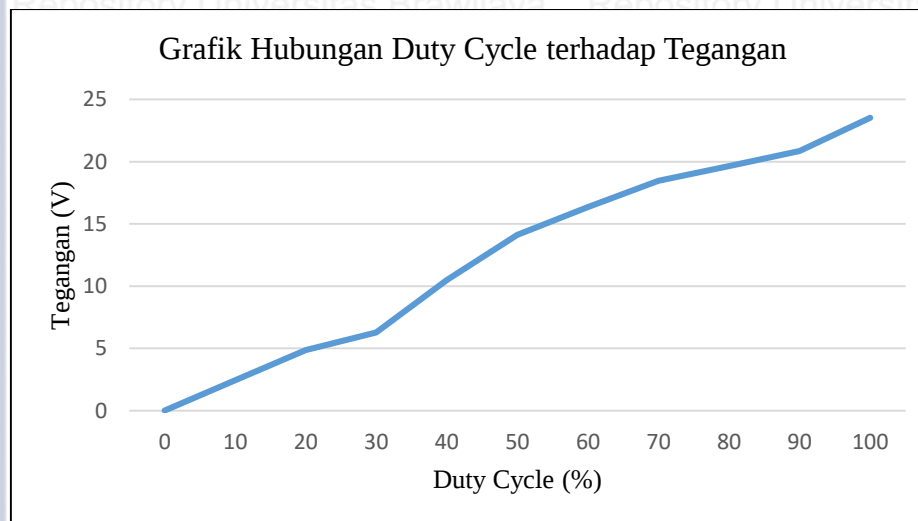
dengan V_{out} = tegangan keluaran (dalam volt), D = nilai *duty cycle* (dalam %), dan V_{in} = tegangan masukan (dalam volt).

Perubahan *Duty Cycle* terhadap Tegangan rata-rata ditunjukkan dalam Tabel 4.3

Tabel 4.3 Perubahan *Duty Cycle* terhadap Tegangan rata-rata

Duty Cycle (%)	Tegangan (V)		Error (%)
	Rata-rata	Teori	
0	-	0	0
10	2,44	2,4	1,67
20	4,87	4,8	1,46
30	7,27	7,2	0,97
40	9,50	9,6	1,04
50	12,12	12	1
60	14,35	14,4	0,35
70	16,47	16,8	1,96
80	19,65	19,2	2,34
90	21,14	21,6	2,13
100	23,52	24	2

Data dari Tabel 4.3 dapat ditampilkan menjadi sebuah grafik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.4



Gambar 4.4 Grafik Hubungan *Duty Cycle* terhadap tegangan rata-rata

Berdasarkan hasil dari grafik diatas dapat diperoleh bahwa semakin besar nilai *duty cycle* yang diberikan maka tegangan yang dihasilkan akan semakin besar. Kemudian didapatkan error antara tegangan keluaran pada driver dan tegangan keluaran berdasarkan teori sangat kecil yaitu <3%. Dengan error terbesar pada saat *duty cycle* yang diberikan 80% yaitu 2,34%. Hal ini menunjukkan driver memberikan respon yang bagus dan mampu mengendalikan kecepatan dengan baik.

4.4. Pengujian Rotary Encoder

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui performansi sensor dan besarnya error yang terbaca dengan membandingkan pembacaannya dengan alat ukur yaitu tachometer. Motor 1 dan motor 2 yang diuji akan diberi masukan *duty cycle* mulai 0% - 100% dengan kenaikan 10% dan tegangan konstan sebesar 24 volt. Nilai *rotary encoder* diperoleh dengan menggunakan rumus:

$$\omega = \frac{2\pi m}{P T_c} \text{ (rad/s)} \quad (4-2)$$

$$\omega = \frac{60 m}{P T_c} \text{ (rpm)} \quad (4-3)$$

Pengujian sensor rotary encoder ditunjukkan dalam Tabel 4.4

Tabel 4.4 Pengujian sensor rotary encoder

Duty Cycle (%)	Motor 1 (rpm)		Error (%)	Motor 2 (rpm)		Error (%)
	Rotary	Tachometer		Rotary	Tachometer	
0	0	0	0	0	0	0
10	17	16,6	2,4	17	16,5	3,03
20	34	34,2	0,58	34	34,2	0,58
30	206	227	9,25	189	209	9,56
40	350	351,3	0,37	320	332	3,61
50	450	462,7	2,74	438	441,3	0,74
60	532	556,9	4,47	518	538,2	3,75
70	595	618,4	3,78	588	598,1	1,68
80	630	652,4	3,43	618	628,4	1,65
90	668	687,8	2,82	670	682,8	1,87
100	785	778,5	0,83	795	780,6	1,84

Dari hasil pengujian sensor dengan rentang *duty cycle* antara 0% - 100% dapat dilihat bahwa perubahan *duty cycle* mempengaruhi kecepatan motor. Semakin besar nilai *duty cycle* yang diberikan pada tegangan masukan yang konstan maka kecepatan motor akan semakin tinggi. Berdasarkan hasil pengujian juga diperoleh bahwa nilai pembacaan sensor *rotary encoder* pada motor tidak berbeda jauh dengan pembacaan melalui tachometer. Diperoleh hasil error <10% pada motor 1 dan motor 2. Hasil ini menunjukkan sensor *rotary encoder* yang terpasang pada motor bekerja dengan baik. Dengan error terbesar pada saat *duty cycle* yang diberikan sebesar 30% yaitu 9,25% pada motor 1 dan 9,56% pada motor 2.

4.5 Pengujian Driver Motor

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui respon perubahan arah gerak motor mobile robot terhadap perubahan PWM motor kanan dan kiri. Data perubahan masukan terhadap arah gerak platform ditunjukkan dalam Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Data perubahan masukan terhadap arah gerak platform

Motor Kanan		Motor Kiri		Respon Pergerakan Robot	
PORTA.8	PORTB.10	PORTA.6	PORTA.7	Teori	Hasil
1	0	0	1	Maju	Maju
0	1	1	0	Mundur	Mundur
1	0	1	0	Berlawanan Jarum Jam	Berlawanan Jarum Jam
0	1	0	1	Searah Jarum Jam	Searah Jarum Jam
0	0	0	0	Brake	Brake
1	1	1	1	Stop	Stop

Berdasarkan hasil yang ditunjukkan dalam tabel, hasil respon pergerakan robot sudah sesuai dengan respon yang diinginkan. Salah satu contohnya ketika respon yang diinginkan adalah robot maju dengan mengatur masukan pada motor kanan dan motor kiri seperti pada tabel, hasil yang didapatkan sesuai yaitu robot maju.

4.6 Pengujian Jarak Dorongan Bola

4.6.1 Jarak Dorongan Bola dengan Tegangan 12 Volt

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui jarak dorongan bola dengan masukan *duty cycle* pada PWM yang diubah mulai 60% - 100% dengan kenaikan 10% disetiap pengujian. Jarak antara robot dan sisi luar bola yang terdekat pada pengujian sebesar 10 cm, 20 cm, dan 30 cm. Data masukan PWM yang dibutuhkan dengan tegangan 12V ditunjukkan dalam Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Pengujian jarak dorongan bola jarak antara robot dan bola sebesar 10 cm

PWM (%)	Jarak Dorongan (cm)			
	1	2	3	Rata-rata
60	0	0	0	0
70	48	50	50	49.33
80	109	111	110	110
90	169	166	168	167.67
100	203	202	200	201.67

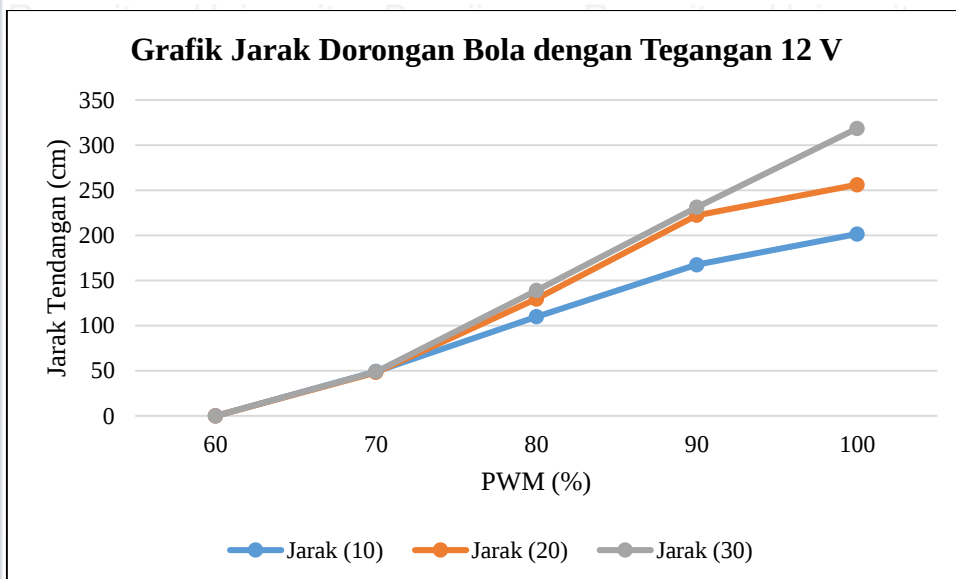
Tabel 4.7 Pengujian jarak dorongan bola dengan jarak antara robot dan bola sebesar 20 cm

PWM (%)	Jarak Dorongan (cm)			
	1	2	3	Rata-rata
60	0	0	0	0
70	48	49	48	48.33
80	137	126	126	129.67
90	220	224	223	222.33
100	253	260	256	256.33

Tabel 4.8 Pengujian jarak dorongan bola dengan jarak antara robot dan bola sebesar 30 cm

PWM (%)	Jarak Dorongan (cm)			
	1	2	3	Rata-rata
60	0	0	0	0
70	48	49	50	49
80	139	142	136	139
90	230	233	231	231.33
100	320	316	320	318.67

Untuk mengetahui hubungan antara jarak dorongan dan masukan PWM pada motor dengan tegangan 12 V, hasil data pada 3 tabel diatas dapat ditampilkan menjadi grafik seperti ditunjukkan pada Gambar 4.5



Gambar 4.5 Grafik Jarak Dorongan Bola dengan Tegangan 12 V

Berdasarkan grafik diatas diketahui bahwa hubungan antara masukan PWM dan jarak dorongan bola adalah bersifat linier. Dari hasil pengujian diperoleh bahwa semakin besar nilai PWM yang diberikan maka jarak dorongan bola akan semakin jauh. Untuk menghasilkan dorongan bola pada tegangan 12 Volt, PWM yang diberikan yaitu $\geq 70\%$. Karena $PWM \leq 60\%$ belum mampu untuk menggerakkan robot. Kemudian jarak antara bola dan robot juga mempengaruhi jauh dekatnya jarak dorongan bola. Perbedaannya bisa dilihat dengan PWM masukan 100% antara jarak robot dengan bola sebesar 10 cm, 20 cm dan 30 cm diperoleh jarak dorongan yang berbeda. Jarak yang diperoleh yaitu berturut-turut sebesar 201,67 cm, 256,33 cm dan 318,67 cm. Dapat dilihat bahwa semakin jauh jarak antara bola dengan robot maka jarak dorongannya akan semakin jauh. Berdasarkan pengujian yang dilakukan sebanyak 3 kali dimasing-masing parameter yang berbeda, diperoleh jarak dorongan yang tidak jauh berbeda. Hasil ini menunjukkan bahwa keakuratan dalam pengujian sudah cukup baik. Jarak dorongan terjauh untuk tegangan masukan sebesar 12 V adalah 320 cm.

4.6.2 Jarak Tendangan Bola dengan Tegangan 24 Volt

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui jarak dorongan bola dengan masukan PWM yang diubah mulai 60% - 100% dengan kenaikan 10% disetiap pengujian. Jarak antara robot dan bola pada pengujian sebesar 10 cm, 20 cm, dan 30 cm. Data masukan PWM yang dibutuhkan dengan tegangan 24 V ditunjukkan dalam Tabel 4.6.

Tabel 4.9 Pengujian jarak dorongan bola dengan jarak antara robot dan bola sebesar 10 cm

PWM (%)	Jarak Dorongan (cm)			
	1	2	3	Rata-rata
60	52	48	50	50
70	160	162	160	160.67
80	190	190	192	190.67
90	205	210	195	203.33
100	206	209	218	211

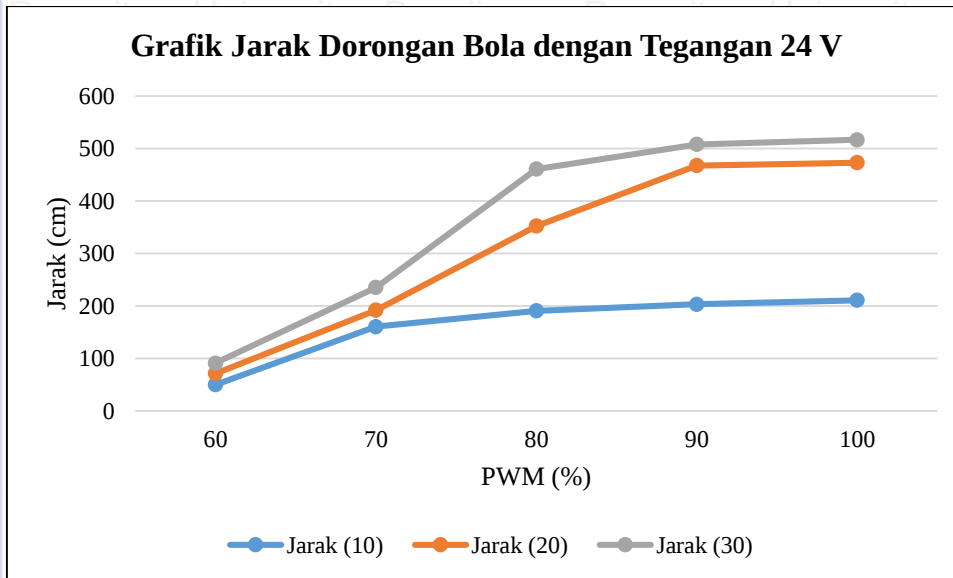
Tabel 4.10 Pengujian jarak dorongan bola dengan jarak antara robot dan bola sebesar 20 cm

PWM (%)	Jarak Dorongan (cm)			
	1	2	3	Rata-rata
60	70	73	71	71.33
70	194	190	192	192
80	360	354	343	352.33
90	460	468	475	467.67
100	476	470	474	473.33

Tabel 4.11 Pengujian jarak dorongan bola dengan jarak antara robot dan bola sebesar 30 cm

PWM (%)	Jarak Dorongan (cm)			
	1	2	3	Rata-rata
60	92	90	91	91
70	235	235	236	235.33
80	470	465	448	461
90	512	508	504	508
100	510	524	515	516.33

Untuk mengetahui hubungan antara jarak dorongan dan masukan PWM pada motor dengan tegangan 24 V, hasil data pada 3 tabel diatas dapat ditampilkan menjadi grafik seperti ditunjukkan pada Gambar 4.6



Gambar 4.6 Grafik Jarak Dorongan Bola dengan Tegangan 24 V

Berdasarkan grafik diatas diketahui bahwa hubungan antara masukan PWM dan jarak dorongan bola adalah bersifat linier. Dari hasil pengujian diperoleh bahwa semakin besar nilai PWM yang diberikan maka jarak dorongan bola akan semakin jauh. Untuk menghasilkan dorongan bola pada tegangan 24 Volt, PWM yang diberikan yaitu $\geq 60\%$. Karena $PWM \leq 50\%$ belum mampu untuk menggerakkan robot. Kemudian jarak antara bola dan robot juga mempengaruhi jauh dekatnya jarak dorongan bola. Perbedaannya bisa dilihat dengan PWM masukan 100% antara jarak robot dengan bola sebesar 10 cm, 20 cm dan 30 cm diperoleh jarak dorongan yang berbeda. Jarak yang diperoleh yaitu berturut-turut sebesar 211 cm, 473,33 cm dan 516,33 cm. Dapat dilihat bahwa semakin jauh jarak antara bola dengan robot maka jarak dorongannya akan semakin jauh. Berdasarkan pengujian yang dilakukan sebanyak 3 kali dimasing-masing parameter yang berbeda, diperoleh jarak dorongan yang tidak jauh berbeda. Hasil ini menunjukkan bahwa keakuratan dalam pengujian sudah cukup baik. Jarak dorongan terjauh untuk tegangan masukan sebesar 24 V adalah 524 cm.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis tiap bagian dan keseluruhan sistem yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Tegangan masukan mempengaruhi kecepatan putar motor DC. Semakin besar tegangan maka kecepatan motor akan semakin tinggi. Kecepatan maksimal yang dihasilkan motor DC PG28 sebesar 782,4 saat tegangan masukannya 24 V.
2. Hubungan antara tegangan dan sinyal PWM adalah bersifat linier. Dengan tegangan awal yang sama yaitu 24 V, saat *duty cycle* 0% keluaran tegangan pada driver sebesar 0 V dan saat *duty cycle* 100% keluaran tegangan pada driver sebesar 23,52 V.
3. Jarak dorongan bola sangat dipengaruhi oleh tegangan masukan dan besaran nilai *duty cycle* pwm. Perubahan nilai *duty cycle* membuat jarak dorongan berbeda-beda. Untuk tegangan 12 V, robot mampu mendorong bola apabila besaran nilai *duty cycle* pwm nya $\geq 70\%$ dan jarak terjauh saat *duty cycle* 100% adalah sebesar 320 cm. Untuk tegangan 24 V, robot mampu mendorong bola apabila nilai *duty cycle* pwm nya $\geq 60\%$ dan jarak terjauh adalah sebesar 524 cm. Selain itu, jarak robot dan bola merupakan salah satu faktor jauhnya dorongan bola dengan semakin jauh jaraknya maka dorongan bola akan semakin jauh.

5.2 Saran

Adapun saran untuk pengembangan mengenai penelitian serupa yaitu sebagai berikut:

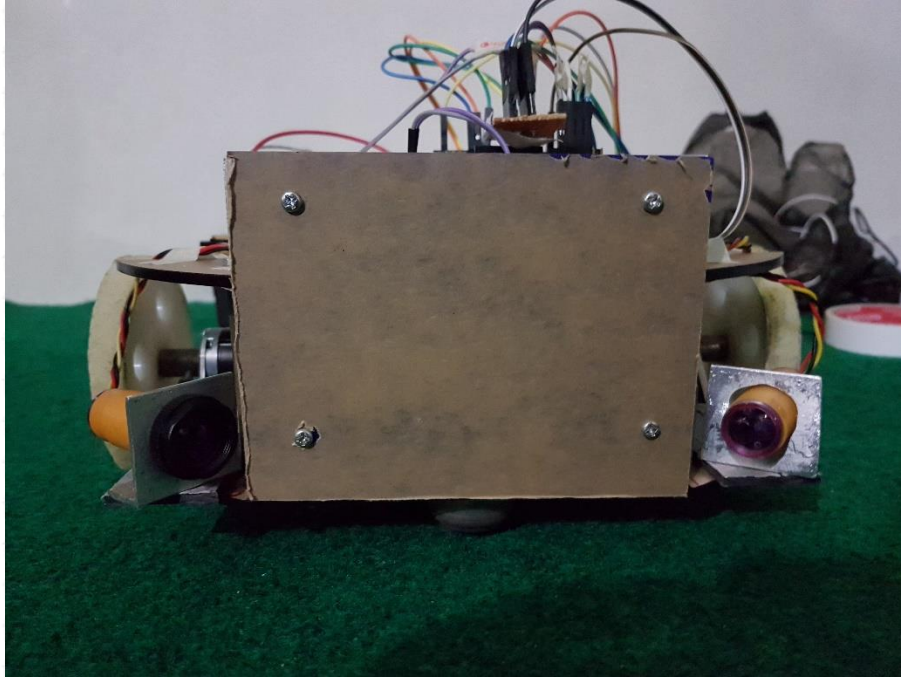
1. Untuk penelitian lebih lanjut pada sistem penendang bola bisa menggunakan tambahan sensor jarak sehingga robot bisa bergerak secara otomatis menyesuaikan jaraknya dengan bola.
2. Untuk penelitian lebih lanjut bisa menggunakan empat buah motor yang diharapkan jarak dorongannya bisa lebih jauh.

DAFTAR PUSTAKA

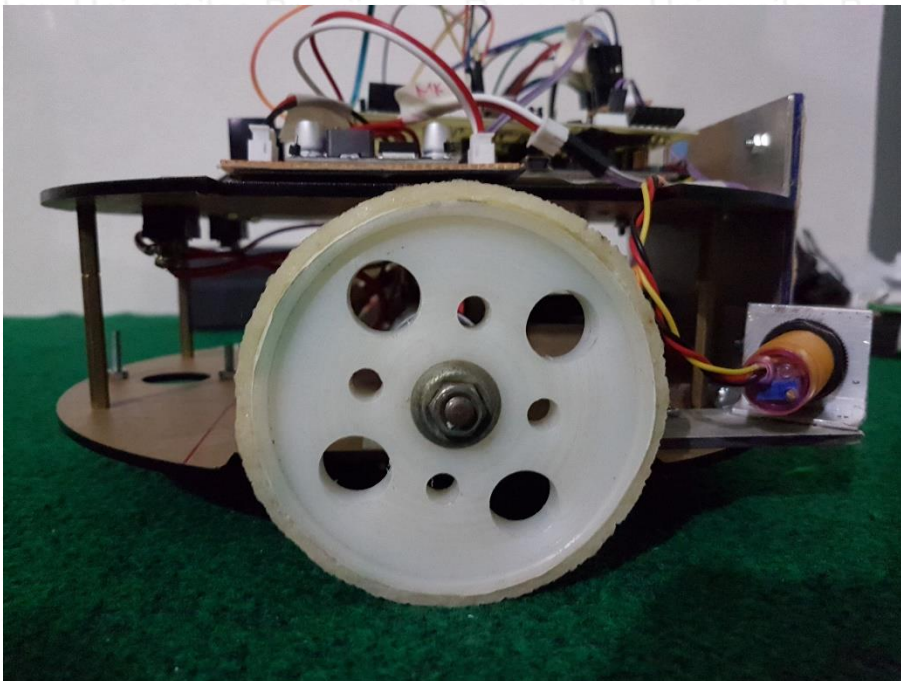
- Chapman, S.J. (2005). *Electric Machinery Fundamentals*. New York: McGraw-Hill.
- Eithel, E. (2014). *Basics of Rotary Encoders: Overview and New Technologies*, <http://machinedesign.com/sensors/basics-rotary-encoders-overview-and-new-technologies-0>, (diakses 1 Desember 2016)
- Fahmizal. (1999). *Driver Motor DC pada Robot Beroda dengan Konfigurasi H-Bridge MOSFET*, <https://fahmizaleeits.wordpress.com/tag/konfigurasi-h-bridge-mosfet/>, (diakses 30 November 2016)
- Harashima, F. (1999). *Kinematic Correction of Differential Drive Mobile robot and Design for Velocity Trajectory with Acceleration Constraints on Motor Controller*. Proceeding of the 1999 IEEE/RSJ, 930-935.
- Lynch, N. (2005). *Conceptual Design of a Robot for the RoboCup Competition*. <http://www.itee.uq.edu.au/~wyeth/F180%20Rules/f180rules400.htm>, (diakses 29 November 2016)
- Max. (2011). *AVR Timers PWM Mode Part 1*, <http://maxembedded.com/2011/08/avr-timers-pwm-mode-part-i/>, (diakses 27 November 2016)
- Prayogo, R. (2011). *Pengaturan PWM (Pulse Width Modulation) dengan PLC*. Malang: Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- Putra, D.A., Purwanto., Rusli, M. (2015). *Penerapan Kontroler Self Tuning Parameter PI Dengan Metode Logika Fuzzy Pada Mobile Robot*. Skripsi tidak diterbitkan. Malang: Universitas Brawijaya.
- Rizqiawan, Arwindra. (2009). *Sekilas Rotary Encoder*. <http://konversi.wordpress.com/2009/06/12/sekilas-rotary-encoder/>, (diakses 24 Juni 2017)
- Siegwart, R dan Illah R. N. (2004). *Introduction to Autonomous Mobile robots*. London: MIT Press.
- RISTEKDIKTI. (2016). *Panduan Eksibisi SepakBola Robot Beroda*. Jakarta: RISTEKDIKTI.
- Tronixlabs. (2014). *Control DC and stepper motors with L298N Dual Motor Controller Modules and Arduino*. <http://www.instructables.com/id/Control-DC-and-stepper-motors-with-L298N-Dual-Moto/>, (diakses 1 Desember 2016)
- STMicroelectronics. (2015). *UM1724 User Manual Datasheet*. STMicroelectronics.
- Wibowo, I dan Mobed, M. (2016). *Rancang Bangun Mekanik Penendang Pada Robot Soccer Beroda Menggunakan Solenoid*. Surabaya: EEPIS Press.

LAMPIRAN 1

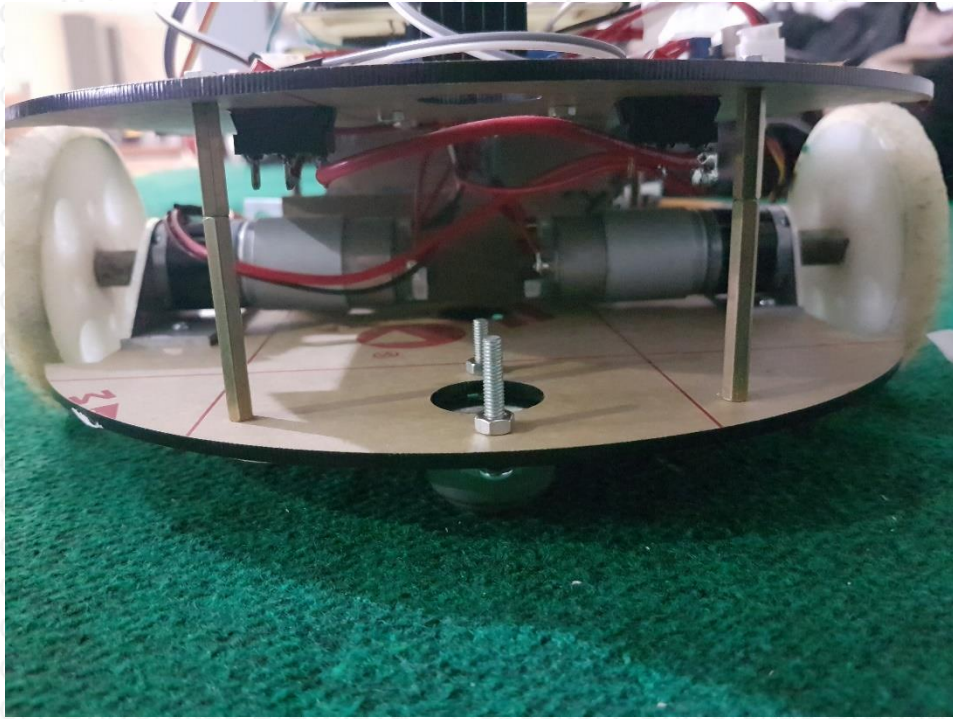
DOKUMENTASI ALAT



Gambar 1.1 Robot tampak depan



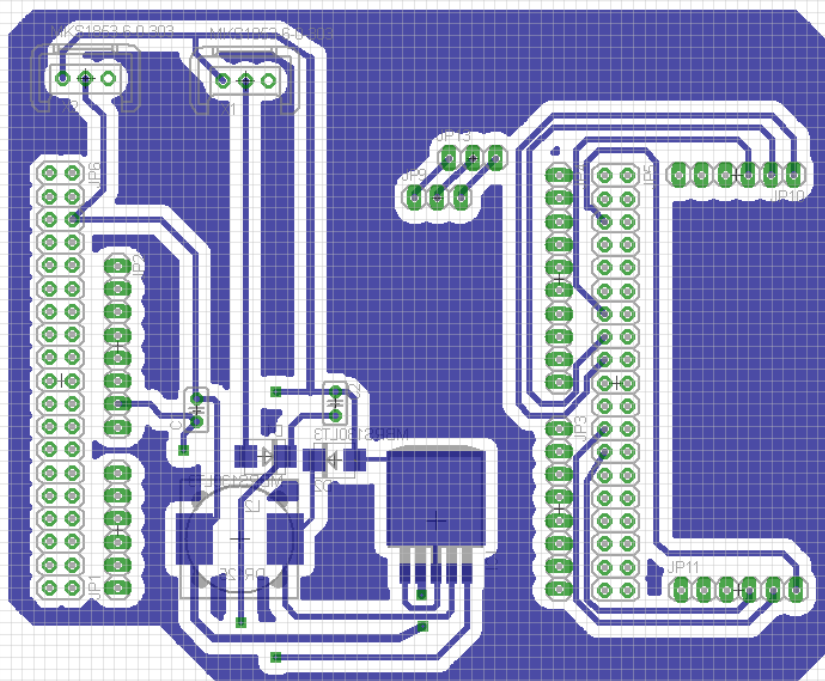
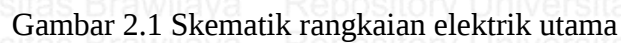
Gambar 1.2 Robot tampak samping

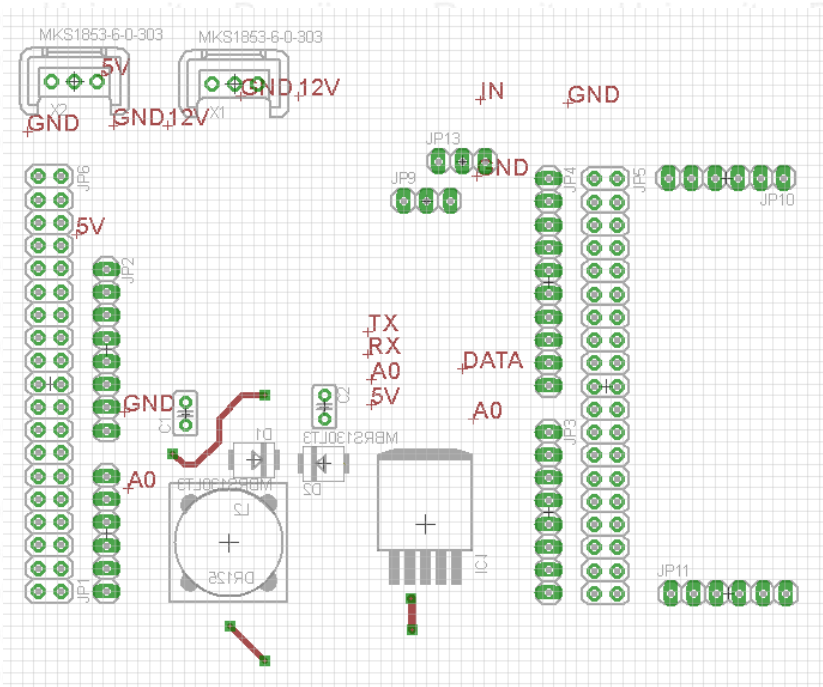


Gammbar 1.3 Robot tampak belakang

LAMPIRAN 2

SKEMATIK RANGKAIAN





Gambar 2.2 Board rangkaian elektrik utama (Biru: Jalur bawah, Merah: Jalur atas)

LAMPIRAN 3

LISTING PROGRAM

Listing Program Mikrokontroler Utama

```

#include "stm32f4xx.h"
#include "stm32f4xx_tim.h"
#include "stm32f4xx_rcc.h"
#include "stm32f4xx_gpio.h"
#include "stm32f4xx_usart.h"
#include "stm32f4xx_adc.h"
#include "stm32f4xx_exti.h"
#include "stm32f4xx_syscfg.h"
#include "stm32f4xx_i2c.h"
#include "misc.h"
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <string.h>
#include <math.h>
#include <stdarg.h>
//-----
//-----//
EXTI_InitTypeDef
EXTI_InitStruct;
GPIO_InitTypeDef
GPIO_InitStruct;
NVIC_InitTypeDef
NVIC_InitStruct;
GPIO_InitTypeDef
GPIO_InitStructure;
TIM_ICInitTypeDef
TIM_ICInitStructure;
TIM_TimeBaseInitTypeDef
TIM_TimeBaseStructure;

TIM_OCInitTypeDef
TIM_OCInitStructure;
NVIC_InitTypeDef
NVIC_InitStructure;
typedef struct{
uint32_t EXTI_ReadValue1;
//1 --> Baca data pertama
uint32_t EXTI_ReadValue2;
//2 --> Baca data kedua
uint8_t CaptureNumber;
//3 --> Penanda
uint32_t Capture;
//4 --> Data hasil kalkulasi
float Freq;
//5 --> Frekuensi putaran
int Rpm;
//6 --> Kecepatan putaran
int encoder;
//7 --> Data encoder
int sudut;
//8 --> Data sudut
int ppr;
//9 --> Data pulse per rotation encoder
}
Rotary;
// 1 2 3
4 5 6 7 8 9
Rotary rt_1={0,0,0,0,0,0,0,0,110}; //360
(derajat) = 110

```

```
Rotary rt_2={0,0,0,0,0,0,0,0,110};
```

```
typedef struct
```

```
{
    int prt;
```

```
}p_rt;
```

```
p_rt prt_1 = {0};
```

```
p_rt prt_2 = {0};
```

```
uint32_t count1;
```

```
uint32_t PrescalerValue;
```

```
volatile uint16_t one_second_flag = 0;
```

```
int rotary;
```

```
int sudut = 0;
```

```
int arah;
```

```
int motor;
```

```
int speed1,speed2;
```

```
void external_interrupt(void);
```

```
void EXTI0_IRQHandler(void);
```

```
void EXTI1_IRQHandler(void);
```

```
void konfigurasiTimer4(void);
```

```
void motor1(int speedm1);
```

```
void motor2(int speedm2);
```

```
void stop();
```

```
void jalanlurus();
```

```
void putarkan();
```

```
void putarkiri();
```

```
void konfigurasiTimer2();
```

```
//-----
-----//
```

```
void usart1(uint32_t baudrate);
```

```
void usart2(uint32_t baudrate);
```

```
void usart6(uint32_t baudrate);
```

```
void USART6_send(int c);
```

```
void USART2_send(int c);
```

```
void USART2_sendString(char *ptr, int
end_cmd);
```

```
int USART6_receiveString(char *ptr);
```

```
void cetak (USART_TypeDef* USARTx,
const char *pFormat, ... );
```

```
void USART1_IRQHandler(void);
```

```
void USART2_IRQHandler(void);
```

```
int datausart2=0;
```

```
int datausart1=0;
```

```
//-----
-----//
```

```
static __IO uint32_t sysTickCounter;
```

```
void SysTick_Init(void);
```

```
void TimeTick_Decrement(void);
```

```
void delay_us(u32 n);
```

```
void delay_1ms(void);
```

```
void delay_ms(u32 n);
```

```
//-----
-----//
```

```
#define P_0 GPIO_Pin_0
```

```
#define P_1 GPIO_Pin_1
```

```
#define P_2 GPIO_Pin_2
```

```
#define P_3 GPIO_Pin_3
```

```
#define P_4 GPIO_Pin_4
```

```
#define P_5 GPIO_Pin_5
```

```
#define P_6 GPIO_Pin_6
```

```

#define P_7 GPIO_Pin_7
#define P_8 GPIO_Pin_8
#define P_9 GPIO_Pin_9
#define P_10 GPIO_Pin_10
#define P_11 GPIO_Pin_11
#define P_12 GPIO_Pin_12
#define P_13 GPIO_Pin_13
#define P_14 GPIO_Pin_14
#define P_15 GPIO_Pin_15
#define On 0x01
#define Off 0x02
#define TO 0x04

#define SYSTICK_RELOAD_VAL
0xA80000

#define SYSTICK_DIV(x)
((x*0x0186)>>16)

GPIO_TypeDef* GPIO;

GPIO_InitTypeDef GPIO_InitStructure;
static __IO uint32_t TimmingDelay;

unsigned int Tick;
uint32_t mlls;
uint32_t mcrrs;
uint32_t Count;

void init_IO(uint32_t
RCC_AHB1Periph_GPIO, uint16_t Pin,
GPIO_Mode_TypeDef
GPIO_Mode,GPIO_OType_TypeDef
GPIO_OType, GPIOPuPd_TypeDef
GPIO_PuPd );

void Pin(GPIO_TypeDef* GPIO,uint8_t
Stat, uint16_t Pin);

```

```

//-----
//-----//
int main(void)
{
//Inisialisasi untuk delay
SystemInit();
SysTick_Init();
//Inisialisasi Usart
usart1(9600);
usart2(9600);
usart6(9600);

//Inisialisasi pin led
init_IO(RCC_AHB1Periph_GPIOA,
GPIO_Pin_5, GPIO_Mode_OUT,
GPIO_OType_PP, GPIO_PuPd_NOPULL
);//led

//inisialisasi pin direction motor 1
init_IO(RCC_AHB1Periph_GPIOA,
GPIO_Pin_6, GPIO_Mode_OUT,
GPIO_OType_PP, GPIO_PuPd_NOPULL
);//IN2

init_IO(RCC_AHB1Periph_GPIOA,
GPIO_Pin_7, GPIO_Mode_OUT,
GPIO_OType_PP, GPIO_PuPd_NOPULL
);//IN1

//inisialisasi pin direction motor 2
init_IO(RCC_AHB1Periph_GPIOA,
GPIO_Pin_8, GPIO_Mode_OUT,
GPIO_OType_PP, GPIO_PuPd_NOPULL
);//IN4

init_IO(RCC_AHB1Periph_GPIOB,
GPIO_Pin_10,GPIO_Mode_OUT,
GPIO_OType_PP, GPIO_PuPd_NOPULL
);//IN3

//Inisialisasi timer
konfigurasiTimer4();

```

```

konfigurasiTimer2();
// insialisasi external interrupt
external_interrupt();
//MOTOR 1 : b5 dan c0;
//MOTOR 2 : c1 dan a1;

while(1)
{
    //*****
    ***Check Data Yang Dikirim Oleh
    Raspberry Pi*****//

    cetak(USART2,"%d %d\r\n",rt_1.Rpm,
    rt_2.Rpm );

    //
    cetak(USART2,"test\n");

    //*****
    *****Check motor*****//

    //motor 1 kanan
    motor1(100);
    Pin(GPIOA,On,P_7); //IN1
    Pin(GPIOA,Off,P_6); //IN2

    //motor 2 kiri
    motor2(100);
    Pin(GPIOB,Off,P_10); //IN3
    Pin(GPIOA,On,P_8); //IN4

    //jalanlurus();

    //delay_ms(1000);

    //stop();

    //delay_ms(1000000);

    //putarkiri();

    //putarkanan();

```

```

//*****
*****Check GPIO*****//
//
Pin(GPIOA,On,GPIO_Pin_5);
//
delay_ms(1000);
//
Pin(GPIOA,Off,GPIO_Pin_5);
//
delay_ms(1000);
}
}

void konfigurasiTimer2()
{
    RCC_APB1PeriphClockCmd(RCC_APB1
    Periph_TIM2, ENABLE);

    PrescalerValue = (uint32_t)
    ((SystemCoreClock / 2) / 1000000) - 1;

    TIM_TimeBaseStructure.TIM_Period =
    1000000 ;

    TIM_TimeBaseStructure.TIM_Prescaler =
    0;

    TIM_TimeBaseStructure.TIM_ClockDivisi
    on = TIM_CKD_DIV2;

    TIM_TimeBaseStructure.TIM_CounterMo
    de = TIM_CounterMode_Up;

    TIM_TimeBaseInit(TIM2,
    &TIM_TimeBaseStructure);

    TIM_PrescalerConfig(TIM2,
    PrescalerValue,
    TIM_PSCReloadMode_Immediate);

    TIM_Cmd(TIM2, ENABLE);

```

}

void EXTI0_IRQHandler(void) {

if (EXTI_GetITStatus(EXTI_Line0) !=
RESET) {

// rt_1.encoder++;

speed1++;

// Pin(GPIOA,TO,P_5);

if(GPIO_ReadInputDataBit(GPIOC,
GPIO_Pin_1) == 0){

rt_1.encoder--;

//Pin(GPIOA,On,P_5);

}

else{

rt_1.encoder++;

//Pin(GPIOA,Off,P_5);

}

if(rt_1.encoder>rt_1.ppr) rt_1.encoder=1;

else if(rt_1.encoder<0)

rt_1.encoder=rt_1.ppr-1;

rt_1.sudut=(rt_1.encoder*360)/rt_1.ppr;

if(rt_1.CaptureNumber == 0)

{

rt_1.EXTI_ReadValue1 = TIM2->CNT;

rt_1.CaptureNumber = 1;

}

else if(rt_1.CaptureNumber == 1)

rt_1.EXTI_ReadValue2 = TIM2->CNT;

// Hitung Data Periode

if (rt_1.EXTI_ReadValue2 >
rt_1.EXTI_ReadValue1)rt_1.Capture =
(rt_1.EXTI_ReadValue2 -
rt_1.EXTI_ReadValue1);else if (rt_1.EXTI_ReadValue2 <
rt_1.EXTI_ReadValue1)rt_1.Capture =
((TIM2 -> ARR - rt_1.EXTI_ReadValue1)
+ rt_1.EXTI_ReadValue2);

else rt_1.Capture = 0;

// Hitung Frekuensi

rt_1.Freq = 1000000 / rt_1.Capture;

rt_1.Rpm= (rt_1.Freq*60)/rt_1.ppr;

//putaran 110 pulsa = 360

rt_1.CaptureNumber = 0;

}

EXTI_ClearITPendingBit(EXTI_Line0);

}

}

void EXTI1_IRQHandler(void) {

if (EXTI_GetITStatus(EXTI_Line1) !=
RESET) {

speed2++;

if(GPIO_ReadInputDataBit(GPIOA,
GPIO_Pin_4) == 0){

rt_2.encoder--; //--

//Pin(GPIOD,ON,P_15);

}

else{

rt_2.encoder++; //++

// Pin(GPIOD,OFF,P_15);

}

```

if(rt_2.encoder>rt_2.ppr) rt_2.encoder=1;
else if(rt_2.encoder<0)
rt_2.encoder=rt_2.ppr-1;

rt_2.sudut=(rt_2.encoder*360)/rt_2.ppr;
if(rt_2.CaptureNumber == 0)
{
rt_2.EXTI_ReadValue1 = TIM2->CNT;
rt_2.CaptureNumber = 1;
}
else if(rt_2.CaptureNumber == 1)
{
rt_2.EXTI_ReadValue2 = TIM2->CNT;
// Hitung Data Periode
if (rt_2.EXTI_ReadValue2 >
rt_2.EXTI_ReadValue1)rt_2.Capture =
(rt_2.EXTI_ReadValue2 -
rt_2.EXTI_ReadValue1);
else if (rt_2.EXTI_ReadValue2 <
rt_2.EXTI_ReadValue1)rt_2.Capture =
((TIM2 -> ARR - rt_2.EXTI_ReadValue1)
+ rt_2.EXTI_ReadValue2);
else rt_2.Capture = 0;
// Hitung Frekuensi
rt_2.Freq = 1000000 / rt_2.Capture;
rt_2.Rpm= (rt_2.Freq*60)/rt_2.ppr;
//putaran 110 pulsa = 360
rt_2.CaptureNumber = 0;
}
EXTI_ClearITPendingBit(EXTI_Line1);
}

```

```

}
void external_interrupt(void)
{
//PIN A
RCC_AHB1PeriphClockCmd(RCC_AHB1Periph_GPIOA, ENABLE);

RCC_APB2PeriphClockCmd(RCC_APB2Periph_SYSCFG, ENABLE);

GPIO_InitStruct.GPIO_Mode =
GPIO_Mode_IN;

GPIO_InitStruct.GPIO_OType =
GPIO_OType_PP;

GPIO_InitStruct.GPIO_Pin =
GPIO_Pin_4;

GPIO_InitStruct.GPIO_PuPd =
GPIO_PuPd_UP;

GPIO_InitStruct.GPIO_Speed =
GPIO_Speed_100MHz;

GPIO_Init(GPIOA, &GPIO_InitStruct);

//PIN B
RCC_AHB1PeriphClockCmd(RCC_AHB1Periph_GPIOC, ENABLE);

RCC_APB2PeriphClockCmd(RCC_APB2Periph_SYSCFG, ENABLE);

GPIO_InitStruct.GPIO_Mode =
GPIO_Mode_IN;

GPIO_InitStruct.GPIO_OType =
GPIO_OType_PP;

GPIO_InitStruct.GPIO_Pin =
GPIO_Pin_1;

GPIO_InitStruct.GPIO_PuPd =
GPIO_PuPd_UP;

GPIO_InitStruct.GPIO_Speed =
GPIO_Speed_100MHz;

GPIO_Init(GPIOB, &GPIO_InitStruct);

```

```
EXTI_InitStructure.EXTI_Line =
EXTI_Line0|EXTI_Line1|EXTI_Line2|EX
TI_Line3|EXTI_Line4; //EXTI_Line4|EXT
I_Line5;
```

```
EXTI_InitStructure.EXTI_LineCmd =
ENABLE;
```

```
EXTI_InitStructure.EXTI_Mode =
EXTI_Mode_Interrupt;
```

```
EXTI_InitStructure.EXTI_Trigger =
EXTI_Trigger_Falling;
```

```
EXTI_Init(&EXTI_InitStructure);
```

```
//Yang dibutuhkan EXTIline0 Dan
EXTIline1
```

```
SYSCFG_EXTILineConfig(EXTI_PortSou
rceGPIOB, EXTI_PinSource0);
```

```
NVIC_InitStructure.NVIC_IRQChannel
= EXTI0_IRQn;
```

```
NVIC_InitStructure.NVIC_IRQChannelPree
mptionPriority = 0x00;
```

```
NVIC_InitStructure.NVIC_IRQChannelSubPr
iority = 0x00;
```

```
NVIC_InitStructure.NVIC_IRQChannelCmd
= ENABLE;
```

```
NVIC_Init(&NVIC_InitStructure);
```

```
SYSCFG_EXTILineConfig(EXTI_PortSou
rceGPIOA, EXTI_PinSource1);
```

```
NVIC_InitStructure.NVIC_IRQChannel
= EXTI1_IRQn ;
```

```
NVIC_InitStructure.NVIC_IRQChannelPree
mptionPriority = 0x01;
```

```
NVIC_InitStructure.NVIC_IRQChannelSubPr
iority = 0x01;
```

```
NVIC_InitStructure.NVIC_IRQChannelCmd
= ENABLE;
```

```
NVIC_Init(&NVIC_InitStructure);
```

```
//SYSCFG_EXTILineConfig(EXTI_PortS
ourceGPIOA, EXTI_PinSource2);
```

```
//NVIC_InitStructure.NVIC_IRQChannel
= EXTI2_IRQn ;
```

```
//NVIC_InitStructure.NVIC_IRQChannelPree
mptionPriority = 0x02;
```

```
//NVIC_InitStructure.NVIC_IRQChannelSub
Priority = 0x02;
```

```
//NVIC_InitStructure.NVIC_IRQChannelCmd
= ENABLE;
```

```
//NVIC_Init(&NVIC_InitStructure);
```

```
//
```

```
//SYSCFG_EXTILineConfig(EXTI_PortS
ourceGPIOA, EXTI_PinSource3);
```

```
//NVIC_InitStructure.NVIC_IRQChannel
= EXTI3_IRQn ;
```

```
//NVIC_InitStructure.NVIC_IRQChannelPree
mptionPriority = 0x03;
```

```
//NVIC_InitStructure.NVIC_IRQChannelSub
Priority = 0x03;
```

```
//NVIC_InitStructure.NVIC_IRQChannelCmd
= ENABLE;
```

```
//NVIC_Init(&NVIC_InitStructure);
```

```
}
```

```
void jalanlurus()
```

```
{
```

```
//lumayan lurus
```

```
motor1(60); //75 kanan
```

```
Pin(GPIOA, Off, GPIO_Pin_6);
```

```
Pin(GPIOA, On, GPIO_Pin_7);
```

```
motor2(62); // kiri
```

```
Pin(GPIOA, On, GPIO_Pin_8);
```

```
Pin(GPIOB, Off, GPIO_Pin_10);
```

```

}
void putarkiri()
{
//putar kiri
motor1(60);
Pin(GPIOA, On, GPIO_Pin_6);
Pin(GPIOA, Off, GPIO_Pin_7);
motor2(60);
Pin(GPIOA, On, GPIO_Pin_8);
Pin(GPIOB, Off, GPIO_Pin_10);
}
void putarkanan()
{
//putar kiri
motor1(60);
Pin(GPIOA, Off, GPIO_Pin_6);
Pin(GPIOA, On, GPIO_Pin_7);
motor2(61);
Pin(GPIOA, Off, GPIO_Pin_8);
Pin(GPIOB, On, GPIO_Pin_10);
}
void stop()
{
//lumayan lurus
motor1(62); //75
Pin(GPIOA, Off, GPIO_Pin_6);
Pin(GPIOA, Off, GPIO_Pin_7);
motor2(62);
Pin(GPIOA, Off, GPIO_Pin_8);
Pin(GPIOB, Off, GPIO_Pin_10);

```

```

}
void motor1(int speedm1)
{
int kecMOTOne;
kecMOTOne = (uint16_t) (( speedm1 *
(279 - 1)) / 100);
TIM4->CCR1 = kecMOTOne;
}
void motor2(int speedm2)
{
int kecMOTTwo;
kecMOTTwo = (uint16_t) (( speedm2 *
(279 - 1)) / 100);
TIM4->CCR4 = kecMOTTwo;
}
void konfigurasiTimer4(void)
{
//clock
enable
RCC_APB1PeriphClockCmd(RCC_APB1
Periph_TIM4, ENABLE);
RCC_AHB1PeriphClockCmd(RCC_AHB
1Periph_GPIOB, ENABLE);
//GPIO__TIM_init
GPIO_InitStructure.GPIO_Pin =
P_6|P_7|P_8|P_9;
GPIO_InitStructure.GPIO_Mode =
GPIO_Mode_AF;
GPIO_InitStructure.GPIO_Speed =
GPIO_Speed_100MHz;
GPIO_InitStructure.GPIO_OType =
GPIO_OType_PP;
GPIO_InitStructure.GPIO_PuPd =
GPIO_PuPd_NOPULL;
GPIO_Init(GPIOB, &GPIO_InitStructure);

GPIO_PinAFConfig(GPIOB,
GPIO_PinSource6, GPIO_AF_TIM4);

```

```
GPIO_PinAFConfig(GPIOB,
GPIO_PinSource7, GPIO_AF_TIM4);
```

```
GPIO_PinAFConfig(GPIOB,
GPIO_PinSource8, GPIO_AF_TIM4
GPIO_PinAFConfig(GPIOB,
GPIO_PinSource9, GPIO_AF_TIM4
//timer_init
```

```
TIM_TimeBaseStructure.TIM_ClockDivisi
on = 0;
```

```
TIM_TimeBaseStructure.TIM_CounterMo
de = TIM_CounterMode_Up;
```

```
TIM_TimeBaseStructure.TIM_Period
= 279;
```

```
TIM_TimeBaseStructure.TIM_Prescaler
= 14;
```

```
TIM_TimeBaseStructure.TIM_RepetitionC
ounter = 0;
```

```
TIM_TimeBaseInit(TIM4,
&TIM_TimeBaseStructure);
```

```
//Channel 1,2,3, and 4//
```

```
TIM_OCInitStructure.TIM_OCMode
= TIM_OCMode_PWM2;
```

```
TIM_OCInitStructure.TIM_OutputState
= TIM_OutputState_Enable;
```

```
TIM_OCInitStructure.TIM_OutputNState
= TIM_OutputNState_Enable;
```

```
TIM_OCInitStructure.TIM_Pulse
= 0;
```

```
TIM_OCInitStructure.TIM_OCPolarity
= TIM_OCPolarity_Low;
```

```
TIM_OCInitStructure.TIM_OCNPolarity
= TIM_OCNPolarity_Low;
```

```
TIM_OCInitStructure.TIM_OCIdleState
= TIM_OCIdleState_Set;
```

```
TIM_OCInitStructure.TIM_OCNIIdleState
= TIM_OCIdleState_Reset;
```

```
TIM_OC1Init(TIM4,
&TIM_OCInitStructure);
```

```
//
```

```
TIM_OC1PreloadConfig(TIM4,
TIM_OCPreload_Enable);
```

```
//ditambah
```

```
TIM_OCInitStructure.TIM_OutputState
```

```
= TIM_OutputState_Enable;
```

```
TIM_OCInitStructure.TIM_Pulse
```

```
= 0;
```

```
TIM_OC2Init(TIM4,
```

```
&TIM_OCInitStructure);
```

```
TIM_OC2PreloadConfig(TIM4,
```

```
TIM_OCPreload_Enable);
```

```
TIM_OCInitStructure.TIM_OutputState
= TIM_OutputState_Enable;
```

```
TIM_OCInitStructure.TIM_Pulse
```

```
= 0;
```

```
TIM_OC3Init(TIM4,
```

```
&TIM_OCInitStructure);
```

```
TIM_OC3PreloadConfig(TIM4,
```

```
TIM_OCPreload_Enable);
```

```
//
```

```
TIM_OCInitStructure.TIM_OutputState
= TIM_OutputState_Enable; //ditambah
```

```
//
```

```
TIM_OCInitStructure.TIM_Pulse
= 0;
```

```
//ditambah
```

```
TIM_OC4Init(TIM4,
```

```
&TIM_OCInitStructure);
```

```
TIM_OC4PreloadConfig(TIM4,
TIM_OCPreload_Enable);
```

```
TIM_OCInitStructure.TIM_OutputState
= TIM_OutputState_Enable;
```

```
TIM_OCInitStructure.TIM_Pulse
= 0;
```

```
//timer enable
```

```
TIM_Cmd(TIM4, ENABLE);
```

```
TIM_CtrlPWMOutputs(TIM4, ENABLE);
```

```
}
```

```
void cetak(USART_TypeDef* USARTx,
const char *pFormat, ... )
```

```
{
```

```
va_list ap;
```

```
char pStr[100];
```

```

va_start(ap, pFormat);

vsprintf(pStr, pFormat, ap);
va_end(ap);

int i=0;
int n = strlen(pStr);
for(i=0;i<n;i++)
{
    USART_SendData(USARTx,
(uint8_t)pStr[i]);

    while
(USART_GetFlagStatus(USARTx,
USART_FLAG_TC) == RESET);
}
}

void USART1_IRQHandler(void)
{
if(USART_GetITStatus(USART1,
USART_IT_RXNE) )
{
    {
datausart1 = USART1->DR;
    }
}
}

void USART2_IRQHandler(void)
{
if(USART_GetITStatus(USART2,
USART_IT_RXNE) )
{
    {
datausart2 = USART2->DR;
    }
}
}

}

void usart1(uint32_t baudrate)
{
    USART_InitTypeDef
USART_InitStructure;

    GPIO_InitTypeDef GPIO_InitStructure;

    NVIC_InitTypeDef
NVIC_InitStructure;
    // mengaktifkan APB2 peripheral clock
    untuk USART1
    RCC_APB2PeriphClockCmd(RCC_APB2
Periph_USART1,ENABLE);
    // mengaktifkan APB1 peripheral clock
    untuk GPIOA
    RCC_AHB1PeriphClockCmd(RCC_AHB
1Periph_GPIOA, ENABLE);

    // mengkoneksikan pins USART1 ke AF

    GPIO_PinAFConfig(GPIOA,
GPIO_PinSource10, GPIO_AF_USART1);

    GPIO_PinAFConfig(GPIOA,
GPIO_PinSource9, GPIO_AF_USART1);

    // konfigurasi pin USART1 : PA.12 Tx,
    PA.11 Rx //

    GPIO_InitStructure.GPIO_Pin
= GPIO_Pin_10 | GPIO_Pin_9;

    GPIO_InitStructure.GPIO_Speed
= GPIO_Speed_50MHz;

    GPIO_InitStructure.GPIO_Mode
= GPIO_Mode_AF;

    GPIO_InitStructure.GPIO_OType
= GPIO_OType_PP;

    GPIO_InitStructure.GPIO_PuPd
= GPIO_PuPd_UP;

    GPIO_Init(GPIOA,
&GPIO_InitStructure);

```

```

// konfigurasi USART
USART_InitStructure.USART_BaudRate
= baudrate;
USART_InitStructure.USART_WordLength
= USART_WordLength_8b;

USART_InitStructure.USART_StopBits
= USART_StopBits_1;

USART_InitStructure.USART_Parity
= USART_Parity_No;

USART_InitStructure.USART_HardwareFlowControl =
USART_HardwareFlowControl_None;

USART_InitStructure.USART_Mode
= USART_Mode_Rx | USART_Mode_Tx;

USART_Init(USART1,
&USART_InitStructure);

//inisialisasi Usart Interrupt//
USART_InitTypeDef USART_InitStructure;
USART_ITConfig(USART1, USART_IT_RXNE,
ENABLE); //
enable the USART1 receive interrupt
NVIC_Init
Structure.NVIC_IRQChannel =
USART1_IRQn; // we
want to configure the USART3 interrupts
NVIC_Init
Structure.NVIC_IRQChannelPreemptionPriority = 0; // this sets the
priority group of the USART3 interrupts
NVIC_Init
Structure.NVIC_IRQChannelSubPriority =
1; //
this sets the subpriority inside the group
NVIC_Init
Structure.NVIC_IRQChannelCmd =
ENABLE; // the
USART3 interrupts are globally enabled

```

```

NVIC_Init
(&NVIC_InitStructure); // the properties
are passed to the NVIC_Init function which
takes care of the low level stuff

//////////

// Enable USART1

USART_Cmd(USART1, ENABLE);
}

void usart2(uint32_t baudrate)
{
    USART_InitTypeDef
    USART_InitStructure;

    GPIO_InitTypeDef GPIO_InitStructure;

    NVIC_InitTypeDef
    NVIC_InitStructure;

    // mengaktifkan APB1 peripheral clock
    untuk USART2
    RCC_APB1PeriphClockCmd(RCC_APB1
    Periph_USART2,ENABLE);

    // mengaktifkan APB1 peripheral clock
    untuk GPIOA
    RCC_AHB1PeriphClockCmd(RCC_AHB
    1Periph_GPIOA, ENABLE);
    // mengkoneksikan pin USART2 ke AF
    GPIO_PinAFConfig(GPIOA,
    GPIO_PinSource2, GPIO_AF_USART2);

    GPIO_PinAFConfig(GPIOA,
    GPIO_PinSource3, GPIO_AF_USART2);

    // konfigurasi pin USART2 : PA.2 Tx,
    PA.3 Rx //
    GPIO_InitStructure.GPIO_Pin
    = GPIO_Pin_2 | GPIO_Pin_3;

    GPIO_InitStructure.GPIO_Speed
    = GPIO_Speed_50MHz;

    GPIO_InitStructure.GPIO_Mode
    = GPIO_Mode_AF;

```

```

GPIO_InitStructure.GPIO_OType
= GPIO_OType_PP;

GPIO_InitStructure.GPIO_PuPd
= GPIO_PuPd_UP;

GPIO_Init(GPIOA,
&GPIO_InitStructure);

// konfigurasi USART

USART_InitStructure.USART_BaudRate
= baudrate;

USART_InitStructure.USART_WordLength
= USART_WordLength_8b;

USART_InitStructure.USART_StopBits
= USART_StopBits_1;

USART_InitStructure.USART_Parity
= USART_Parity_No;
USART_InitStructure.USART_HardwareFlowControl
= USART_HardwareFlowControl_None;

USART_InitStructure.USART_Mode
= USART_Mode_Rx | USART_Mode_Tx;

USART_Init(USART2,
&USART_InitStructure);

//inisialisasi Usart Interrupt//

USART_ITConfig(USART2,
USART_IT_RXNE, ENABLE);
// enable the USART1 receive interrupt

NVIC_InitStructure.NVIC_IRQChannel
= USART2_IRQn; // we want to
configure the USART3 interrupts
NVIC_InitStructure.NVIC_IRQChannelPreemptionPriority = 0; // this
sets the priority group of the USART3
interrupts
NVIC_InitStructure.NVIC_IRQChannelSubPriority = 1; // this sets
the subpriority inside the group

```

```

NVIC_InitStructure.NVIC_IRQChannelCmd
= ENABLE; // the
USART3 interrupts are globally enabled

```

```

NVIC_Init(&NVIC_InitStructure);

```

```

// the properties are passed to the
NVIC_Init function which takes care of the
low level stuff

```

```

////////////////////

```

```

// Enable USART2

```

```

USART_Cmd(USART2, ENABLE);

```

```

}

```

```

void usart6(uint32_t baudrate)

```

```

{

```

```

    USART_InitTypeDef USART_InitStructure;

```

```

    GPIO_InitTypeDef GPIO_InitStructure;

```

```

    NVIC_InitTypeDef NVIC_InitStructure;

```

```

    //
    mengaktifkan APB2 peripheral clock untuk
    USART6

```

```

RCC_APB2PeriphClockCmd(RCC_APB2Periph_USART6, ENABLE);

```

```

RCC_AHB1PeriphClockCmd(RCC_AHB1Periph_GPIOA, ENABLE);

```

```

// mengkoneksikan pin USART6 ke AF

```

```

GPIO_PinAFConfig(GPIOA,
GPIO_PinSource12, GPIO_AF_USART6);

```

```

GPIO_PinAFConfig(GPIOA,
GPIO_PinSource11, GPIO_AF_USART6);

```

```
/* konfigurasi pin USART6: PA.12 Tx,
PA.11 Rx */
```

```
GPIO_InitStructure.GPIO_Pin
= GPIO_Pin_12 | GPIO_Pin_11;
```

```
GPIO_InitStructure.GPIO_Speed
= GPIO_Speed_50MHz;
```

```
GPIO_InitStructure.GPIO_Mode
= GPIO_Mode_AF;
```

```
GPIO_InitStructure.GPIO_OType
= GPIO_OType_PP;
```

```
GPIO_InitStructure.GPIO_PuPd
= GPIO_PuPd_UP;
```

```
GPIO_Init(GPIOA, &GPIO_InitStructure);
```

```
// konfigurasi USART
```

```
USART_InitStructure.USART_BaudRate
= baudrate;
```

```
USART_InitStructure.USART_WordLength
= USART_WordLength_8b;
```

```
USART_InitStructure.USART_StopBits
= USART_StopBits_1;
```

```
USART_InitStructure.USART_Parity
= USART_Parity_No;
```

```
USART_InitStructure.USART_HardwareFlowControl =
USART_HardwareFlowControl_None;
```

```
USART_InitStructure.USART_Mode
= USART_Mode_Rx | USART_Mode_Tx;
```

```
USART_Init(USART6,
&USART_InitStructure);
```

```
//inisialisasi Usart Interrupt//
```

```
USART_ITConfig(USART6,
USART_IT_RXNE, ENABLE);
```

```
// enable the USART1 receive interrupt
```

```
NVIC_InitStructure.NVIC_IRQChannel
= USART6_IRQn;
```

```
// we want to configure the USART3
interrupts
```

```
NVIC_InitStructure.NVIC_IRQChannelPreemptionPriority = 0;
```

```
// this sets the priority group of the
USART3 interrupts
```

```
NVIC_InitStructure.NVIC_IRQChannelSubPriority = 1;
```

```
// this sets the subpriority inside the group
```

```
NVIC_InitStructure.NVIC_IRQChannelCmd = ENABLE;
```

```
// the USART3 interrupts are globally
enabled
```

```
NVIC_Init(&NVIC_InitStructure);
```

```
// the properties are passed to the
NVIC_Init function which takes care of the
low level stuff
```

```
////////////////////////////////////
```

```
// Enable USART6
```

```
USART_Cmd(USART6, ENABLE);
}
```

```
// Send USART6
```

```
void USART6_send(int c)
{
```

```
    while(USART_GetFlagStatus(USART6,
USART_FLAG_TXE) == RESET); // Wait
empty
```

```
    USART_SendData(USART6, c); // Send
char
}
```

```
// Send USART
```

```
void USART2_send(int c)
```

```
{
```

```

while
(USART_GetFlagStatus(USART2,
USART_FLAG_TXE) == RESET); // Wait
empty

```

```

USART_SendData(USART2, c); // Send
char
}

```

```
// Send string data
```

```

void USART2_sendString(char *ptr, int
end_cmd)

```

```

{
while (*ptr != 0)
{
USART2_send(*ptr);
ptr++;
}

```

```

if (end_cmd == 0)
{
USART2_send(0x0A); // send
LineFeed
USART2_send(0x0D); // send
CariageReturn
}

```

```

else if (end_cmd == 1)
{
USART2_send(0x0D); // send
CariageReturn

```

```

USART2_send(0x0A); // send
LineFeed
}

```

```

else if (end_cmd == 2)
{

```

```

USART2_send(0x0A); // send
LineFeed
}

```

```

else if (end_cmd == 3)
{
USART2_send(0x0D); // send
CariageReturn
}

```

```

}

void SysTick_Init(void) {

```

```

/*****
*****

```

```

*SystemFrequency = 84Mhz
*SystemFrequency/1000 1ms *
*SystemFrequency/100000 10us
*
*SystemFrequency/1000000 1us
*

```

```

*****
*****/

```

```

while
(SysTick_Config(SystemCoreClock /
1000000) != 0) {
}}

```

```
void SysTick_Handler(void)
```

```

{
TimeTick_
Decrement();
}

```

```

void TimeTick_Decrement(void) {
if (sysTickCounter != 0x00) {
sysTickCounter--;
}
}

```

70

}

```
void delay_us(u32 n) {  
    sysTickCounter = n;  
    while (sysTickCounter != 0 ) {  
    }  
}
```

```
void delay_1ms(void) {  
    sysTickCounter = 1000;  
    while (sysTickCounter != 0) {  
    }  
}
```

```
void delay_ms(u32 n) {  
    while (n--) {  
        delay_1ms();  
    }  
}
```

```
void init_IO(uint32_t  
RCC_AHB1Periph_GPIO, uint16_t Pin,  
GPIO_Mode_TypeDef  
GPIO_Mode,GPIOOOType_TypeDef  
GPIO_OType, GPIOPuPd_TypeDef  
GPIO_PuPd )
```

```
{  
    RCC_AHB1PeriphClockCmd(RCC_AHB1Periph_GPIO, ENABLE);  
    switch(RCC_AHB1Periph_GPIO){  
        case ((uint32_t)0x00000001) : GPIO =  
GPIOA; break;  
        case ((uint32_t)0x00000002) : GPIO =  
GPIOB;  
        break;
```

```
        case ((uint32_t)0x00000004) : GPIO =  
GPIOC;
```

```
        break;
```

```
        case ((uint32_t)0x00000008) : GPIO =  
GPIOD;
```

```
        break;
```

```
        case ((uint32_t)0x00000010) : GPIO =  
GPIOE;
```

```
        break;
```

```
        case ((uint32_t)0x00000020) : GPIO =  
GPIOF;
```

```
        break;
```

```
    }
```

```
    GPIO_InitStructure.GPIO_Pin = Pin;
```

```
    GPIO_InitStructure.GPIO_Mode =  
GPIO_Mode;
```

```
    GPIO_InitStructure.GPIO_OType =  
GPIO_OType;
```

```
    GPIO_InitStructure.GPIO_Speed =  
GPIO_Speed_100MHz;
```

```
    GPIO_InitStructure.GPIO_PuPd =  
GPIO_PuPd;
```

```
    GPIO_Init(GPIO, &GPIO_InitStructure);  
}
```

```
void Pin(GPIO_TypeDef* GPIO,uint8_t  
Stat, uint16_t Pin){
```

```
    switch(Stat){
```

```
        case 0x01 : GPIO->BSRRL = Pin; break;
```

```
        case 0x02 : GPIO->BSRRH = Pin; break;
```

```
        case  
        0x04 : GPIO->ODR ^= Pin; break;
```

```
    }
```

LAMPIRAN 4

TABEL PENGUJIAN

Tabel 4.1 Tabel hubungan *duty cycle* terhadap tegangan beserta 3x pengujian

Duty Cycle (%)	Tegangan (V)			
	P1	P2	P3	Rata-rata
0	0	0	0	-
10	2,35	2,55	2,43	2,44
20	4,82	4,91	4,87	4,87
30	7,34	7,28	7,18	7,27
40	9,34	9,64	9,52	9,50
50	12,23	12,08	12,05	12,12
60	14,24	14,52	14,3	14,35
70	16,23	16,65	16,54	16,47
80	19,55	19,82	19,58	19,65
90	21,06	21,24	21,12	21,14
100	23,46	23,47	23,64	23,52

Tabel 4.2 Jarak Tendangan dengan Tegangan 12 V

PWM (%)	Jarak (cm)		
	10	20	30
60	0	0	0
70	52	53,33	55,33
80	113,33	135,67	141
90	174	228	241,33
100	207	269,33	332,33

Tabel 4.3 Jarak Tendangan dengan Tegangan 24 V

PWM (%)	Jarak (cm)		
	10	20	30
60	51	71,33	91
70	160,67	192	235,33
80	191	352,33	461
90	203,33	467,67	508
100	216	473,33	517

Tabel 4.4 Waktu tempuh dan kecepatan robot ke bola saat tegangan 12V

PWM (%)	Waktu Tempuh (s)			PWM (%)	Kecepatan (cm/s)		
	10	20	30		10	20	30
60	0	0	0	60	-	-	-
70	0,64	0,93	1,31	70	15,63	21,51	22,90
80	0,28	0,46	0,61	80	35,71	43,48	49,18
90	0,24	0,32	0,42	90	41,67	62,50	71,43
100	0,18	0,28	0,37	100	55,56	71,43	81,08

Tabel 4.5 Waktu tempuh dan kecepatan robot ke bola saat tegangan 24V

PWM (%)	Waktu Tempuh (s)			PWM (%)	Kecepatan (cm/s)		
	10	20	30		10	20	30
60	0,43	0,64	0,8	60	23,26	31,25	37,50
70	0,3	0,55	0,67	70	33,33	36,36	44,78
80	0,21	0,33	0,49	80	47,62	60,61	61,22
90	0,2	0,26	0,37	90	50,00	76,92	81,08
100	0,13	0,23	0,34	100	76,92	86,96	88,24

Tabel 4.6 Gaya yang diterima bola saat tegangan 12V

PWM (%)	Massa (gr)	Gaya (gr cm/s ²)		
		10	20	30
60	60	0	0	0
70	60	937,50	1.290,32	1.374,05
80	60	2.142,86	2.608,70	2.950,82
90	60	2.500,00	3.750,00	4.285,71
100	60	3.333,33	4.285,71	4.864,86

Tabel 4.7 Gaya yang diterima bola saat tegangan 24V

PWM (%)	Massa (gr)	Gaya (gr cm/s ²)		
		10	20	30
60	60	1.395,35	1.875,00	2.250,00
70	60	2.000,00	2.181,82	2.686,57
80	60	2.857,14	3.636,36	3.673,47
90	60	3.000,00	4.615,38	4.864,86
100	60	4.615,38	5.217,39	5.294,12



LAMPIRAN 5

DATASHEET

1. Datasheet STM32 F401 RE



life.augmented

UM1724 User manual

STM32 Nucleo-64 boards

Introduction

The STM32 Nucleo-64 board (NUCLEO-F030R8, NUCLEO-F070RB, NUCLEO-F072RB, NUCLEO-F091RC, NUCLEO-F103RB, NUCLEO-F302R8, NUCLEO-F303RE, NUCLEO-F334R8, NUCLEO-F401RE, NUCLEO-F410RB, NUCLEO-F411RE, NUCLEO-F446RE, NUCLEO-L053R8, NUCLEO-L073RZ, NUCLEO-L152RE, NUCLEO-L476RG) provides an affordable and flexible way for users to try out new concepts and build prototypes with the STM32 microcontrollers in LQFP64 package, choosing from the various combinations of performance, power consumption and features. The Arduino™ connectivity support and ST morpho headers make it easy to expand the functionality of the Nucleo open development platform with a wide choice of specialized shields. The STM32 Nucleo board does not require any separate probe as it integrates the ST-LINK/V2-1 debugger/programmer. The STM32 Nucleo board comes with the STM32 comprehensive software HAL library together with various packaged software examples, as well as direct access to mbed™ online resources at <http://mbed.org/>.

Figure 1. STM32 Nucleo-64 board ⁽¹⁾



1. Picture not contractual.



5 Features

The STM32 Nucleo boards offer the following features:

- STM32 microcontroller with LQFP64 package
- Two types of extension resources
 - Arduino™ Uno Revision 3 connectivity
 - ST morpho extension pin headers for full access to all STM32 I/Os
- mbed™-enabled^(a)
- On-board ST-LINK/V2-1 debugger/programmer with SWD connector
 - selection-mode switch to use the kit as a standalone ST-LINK/V2-1
- Flexible board power supply
 - USB VBUS
 - External VIN (7V<VIN<12V) supply voltage from Arduino connectors or ST morpho connector
 - External 5V (E5V) supply voltage from ST morpho connector
 - External +3.3V supply voltage from Arduino connector or ST morpho connector
- Three LEDs
 - USB communication (LD1), user LED (LD2), power LED (LD3)
- Two push buttons: USER and RESET
- LSE crystal:
 - 32.768KHz crystal oscillator (depending on board version)
- USB re-enumeration capability: three different interfaces supported on USB
 - Virtual Com port
 - Mass storage
 - Debug port
- Comprehensive free software HAL library including a variety of software examples
- Supported by wide choice of Integrated Development Environments (IDEs) including:
 - IAR EWARM (IAR Embedded Workbench®)
 - Keil®
 - GCC-based IDEs (free AC6: SW4STM32, Atollic® TrueSTUDIO®,....)

5.1 Hardware configuration variants

The board can be delivered with different configurations of the oscillator of the target MCU. For all the details concerning high speed oscillator configurations refer to [Section 6.7.1](#). For all the details concerning low speed oscillator configurations refer to [Section 6.7.2](#).

^a. See <http://mbed.org/>

6 Hardware layout and configuration

The STM32 Nucleo board is designed around the STM32 microcontrollers in a 64-pin LQFP package.

Figure 2 shows the connections between the STM32 and its peripherals (ST-LINK/V2-1, pushbutton, LED, Arduino connectors and ST morpho connector).

Figure 3 and *Figure 4* show the location of these features on the STM32 Nucleo board.

Figure 2. Hardware block diagram

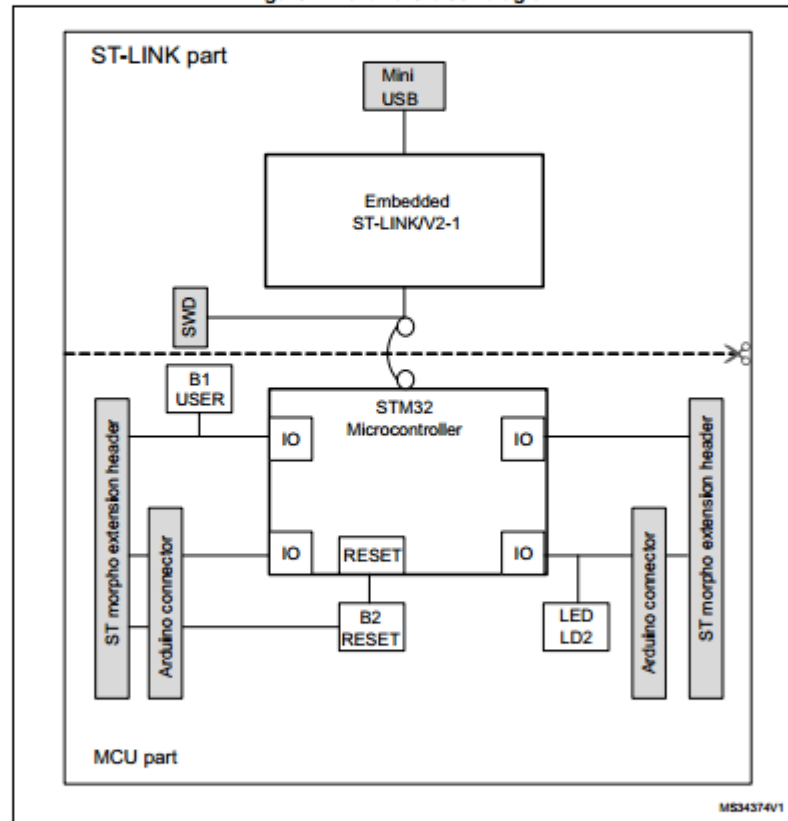
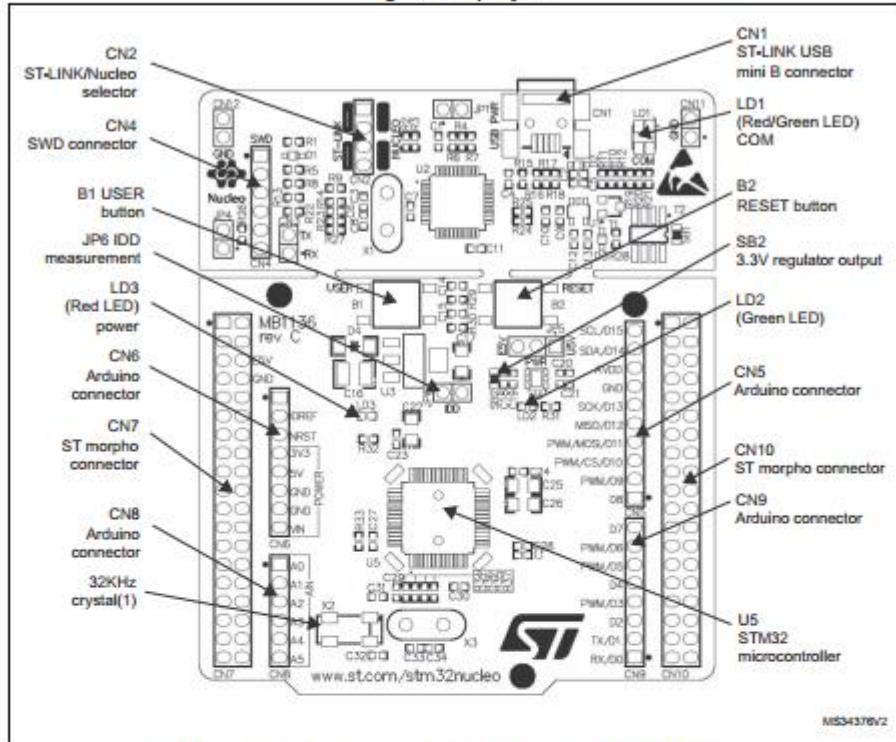
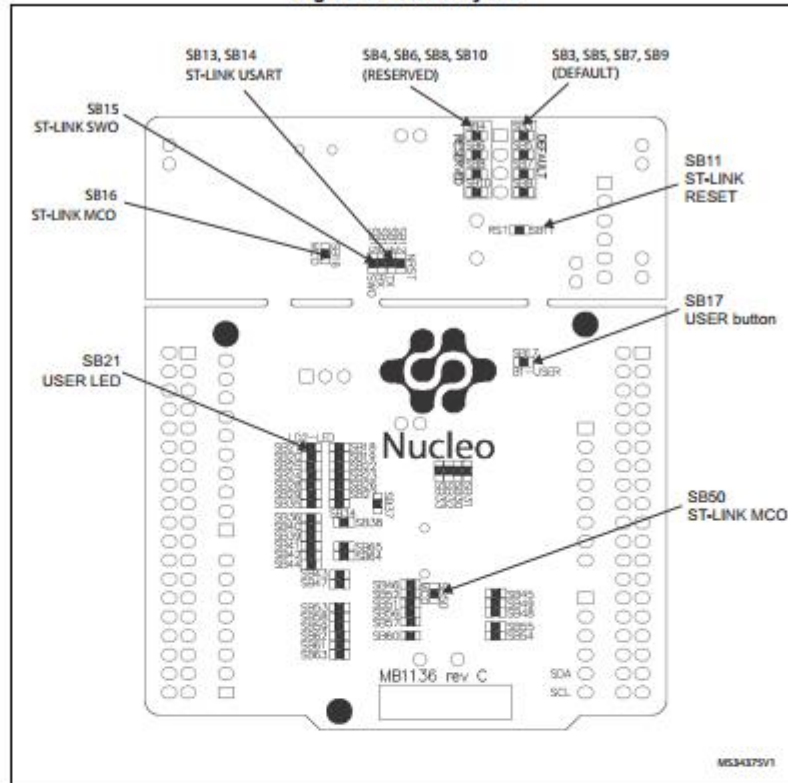


Figure 3. Top layout



1. Crystal may be present or not depending on board version, refer to [Section 6.7.2](#)

Figure 4. Bottom layout



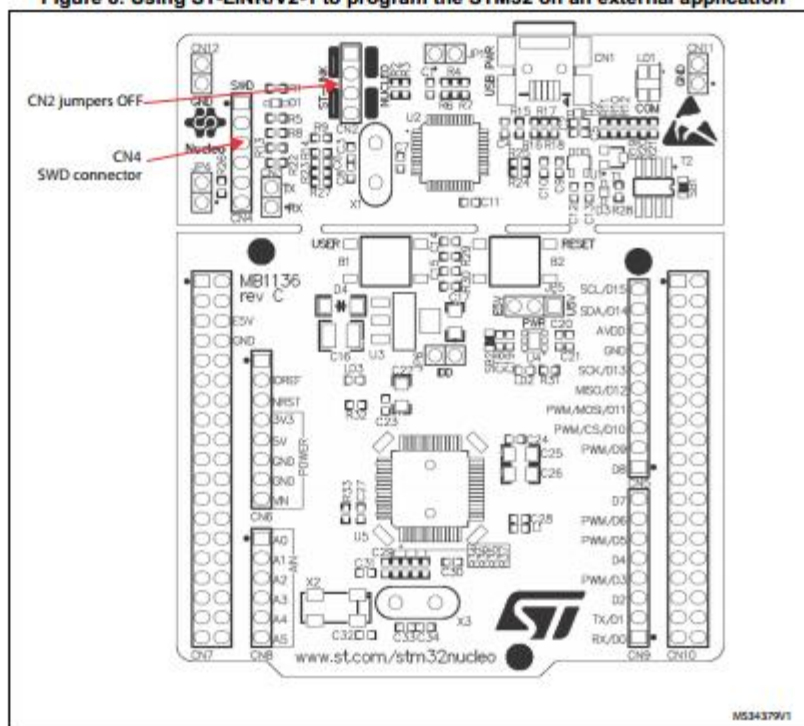
6.1 Cuttable PCB

The STM32 Nucleo board is divided into two parts: ST-LINK part and target MCU part. The ST-LINK part of the PCB can be cut out to reduce the board size. In this case the remaining target MCU part can only be powered by VIN, ESV and 3.3V on ST morpho connector CN7 or VIN and 3.3V on Arduino connector CN6. It is still possible to use the ST-LINK part to program the main MCU using wires between CN4 and SWD signals available on ST morpho connector (SWCLK CN7 pin 15 and SWDIO CN7 pin 13).

Table 4. Debug connector CN4 (SWD)

Pin	CN4	Designation
1	VDD_TARGET	VDD from application
2	SWCLK	SWD clock
3	GND	Ground
4	SWDIO	SWD data input/output
5	NRST	RESET of target MCU
6	SWO	Reserved

Figure 8. Using ST-LINK/V2-1 to program the STM32 on an external application



6.3 Power supply and power selection

The power supply is provided either by the host PC through the USB cable, or by an external Source: VIN (7V-12V), E5V (5V) or +3V3 power supply pins on CN6 or CN7. In case VIN, E5V or +3V3 is used to power the Nucleo board, using an external power supply unit or an auxiliary equipment, this power source must comply with the standard EN-60950-1: 2006+A11/2009, and must be Safety Extra Low Voltage (SELV) with limited power capability.

6.3.1 Power supply input from the USB connector

The ST-LINK/V2-1 supports USB power management allowing to request more than 100 mA current to the host PC.

All parts of the STM32 Nucleo board and shield can be powered from the ST-LINK USB connector CN1 (U5V or VBUS). Note that only the ST-LINK part is power supplied before the USB enumeration as the host PC only provides 100 mA to the board at that time. During the USB enumeration, the STM32 Nucleo board requires 300 mA of current to the host PC. If the host is able to provide the required power, the targeted STM32 microcontroller is powered and the red LED LD3 is turned ON, thus the STM32 Nucleo board and its shield can consume a maximum of 300 mA current, not more. If the host is not able to provide the required current, the targeted STM32 microcontroller and the MCU part including the extension board are not power supplied. As a consequence the red LED LD3 remains turned OFF. In such case it is mandatory to use an external power supply as explained in the next [Section 6.3.2: External power supply inputs: VIN and E5V](#).

When the board is power supplied by USB (U5V) a jumper must be connected between pin 1 and pin 2 of JP5 as shown in [Table 7](#).

JP1 is configured according to the maximum current consumption of the board when powered by USB (U5V). JP1 jumper can be set in case the board is powered by USB and maximum current consumption on U5V does not exceed 100 mA (including an eventual extension board or Arduino shield). In such condition USB enumeration will always succeed since no more than 100mA is requested to the PC. Possible configurations of JP1 are summarized in [Table 5](#).

Table 5. JP1 configuration table

Jumper state	Power supply	Allowed current
JP1 jumper OFF	USB power through CN1	300 mA max
JP1 jumper ON		100 mA max

Warning: If the maximum current consumption of the NUCLEO and its extension boards exceeds 300 mA, it is mandatory to power the NUCLEO using an external power supply connected to E5V or VIN.

Note: In case the board is powered by an USB charger, there is no USB enumeration, so the led LD3 remains set to OFF permanently and the target MCU is not powered. In this specific case the jumper JP1 needs to be set to ON, to allow target MCU to be powered anyway.



6.3.2 External power supply inputs: VIN and E5V

The external power sources VIN and E5V are summarized in the [Table 6](#). When the board is power supplied by VIN or E5V, the jumpers configuration must be the following:

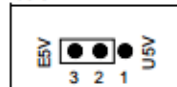
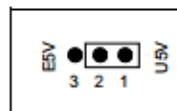
- Jumper on JP5 pin 2 and pin 3
- Jumper removed on JP1

Table 6. External power sources

Input power name	Connectors pins	Voltage range	Max current	Limitation
VIN	CN6 pin 8 CN7 pin 24	7 V to 12 V	800 mA	From 7 V to 12 V only and input current capability is linked to input voltage: 800 mA input current when Vin=7 V 450 mA input current when 7 V<Vin (< or =) 9 V 250 mA input current when 9 V<Vin (< or =) 12 V
E5V	CN7 pin 6	4.75 V to 5.25 V	500 mA	-

Table 7. Power-related jumper

Jumper	Description
JP5	U5V (ST-LINK VBUS) is used as power source when JP5 is set as shown below (Default setting)
	VIN or E5V is used as power source when JP5 is set as shown below.



Using VIN or E5V as external power supply

VIN or E5V can be used as external power supply in case the current consumption of NUCLEO and extensions boards exceeds the allowed current on USB. In this condition it is still possible to use the USB for communication, for programming or debugging only, but it is mandatory to power supply the board first using VIN or E5V then connect the USB cable to the PC. Proceeding this way ensures that the enumeration occurs thanks to the external power source.

The following power sequence procedure must be respected:

1. Connect the jumper between pin 2 and pin 3 of JP5
2. Check that JP1 is removed
3. Connect the external power source to VIN or E5V
4. Power on the external power supply 7 V < VIN < 12 V to VIN, or 5 V for E5V
5. Check that LD3 is turned ON
6. Connect the PC to USB connector CN1

If this order is not respected, the board may be supplied by VBUS first then by VIN or E5V, and the following risks may be encountered:

1. If more than 300 mA current is needed by the board, the PC may be damaged or the current supply can be limited by the PC. As a consequence the board is not powered correctly.
2. 300 mA is requested at enumeration (since JP1 must be OFF) so there is risk that the request is rejected and the enumeration does not succeed if the PC cannot provide such current. Consequently the board is not power supplied (LED LD3 remains OFF).

6.3.3 External power supply input: +3V3

It can be of interest to use the +3V3 (CN6 pin 4 or CN7 pin 12 and pin 16) directly as power input for instance in case the 3.3 V is provided by an extension board. When the Nucleo board is power supplied by +3V3, the ST-LINK is not powered thus the programming and debug features are unavailable. The external power sources +3.3V is summarized in the [Table 8](#).

Table 8. +3.3V external power source

Input power name	Connectors pins	Voltage range	Limitation
+3V3	CN6 pin 4 CN7 pin 12 and pin 16	3 V to 3.6 V	Used when ST-LINK part of PCB is cut or SB2 and SB12 OFF

Two different configurations are possible when using +3V3 to power the board:

- ST-LINK is removed (PCB cut), or
- SB2 (3V3 regulator) and SB12 (NRST) are OFF.

6.3.4 External power supply output

When powered by USB, VIN or E5V, the +5V (CN6 pin 5 or CN7 pin 18) can be used as output power supply for an Arduino shield or an extension board. In this case, the maximum current of the power source specified in [Table 6](#) needs to be respected.

The +3.3 V (CN6 pin 4 or CN7 pin 12 and 16) can be used also as power supply output. The current is limited by the maximum current capability of the regulator U4 (500 mA max).

6.4 LEDs

The tricolor LED (green, orange, red) LD1 (COM) provides information about ST-LINK communication status. LD1 default color is red. LD1 turns to green to indicate that communication is in progress between the PC and the ST-LINK/V2-1, with the following setup:

- Slow blinking Red/Off: at power-on before USB initialization
- Fast blinking Red/Off: after the first correct communication between the PC and ST-LINK/V2-1 (enumeration)
- Red LED On: when the initialization between the PC and ST-LINK/V2-1 is complete
- Green LED On: after a successful target communication initialization
- Blinking Red/Green: during communication with target
- Green On: communication finished and successful
- Orange On: Communication failure

User LD2: the green LED is a user LED connected to Arduino signal D13 corresponding to MCU I/O PA5 (pin 21) or PB13 (pin 34) depending on the STM32 target. Refer to [Table 10](#) to [Table 21](#) when:

- the I/O is HIGH value, the LED is on
- the I/O is LOW, the LED is off

LD3 PWR: the red LED indicates that the MCU part is powered and +5V power is available.

6.5 Push buttons

B1 USER: the user button is connected to the I/O PC13 (pin 2) of the STM32 microcontroller.

B2 RESET: this push button is connected to NRST, and is used to RESET the STM32 microcontroller.

Note: *The blue and black plastic hats that are placed on the push buttons can be removed if necessary, for example when a shield or when an application board is plugged on top of the Nucleo board. This will avoid pressure on the buttons and consequently a possible permanent target MCU RESET.*

6.6 JP6 (IDD)

Jumper JP6, labeled IDD, is used to measure the STM32 microcontroller consumption by removing the jumper and by connecting an ammeter:

- Jumper ON: STM32 microcontroller is powered (default).
- Jumper OFF: an ammeter must be connected to measure the STM32 microcontroller current. If there is no ammeter, STM32 microcontroller is not powered.

6.7 OSC clock

6.7.1 OSC clock supply

There are four ways to configure the pins corresponding to external high-speed clock (HSE):

- **MCO from ST-LINK:** MCO output of ST-LINK MCU is used as input clock. This frequency cannot be changed, it is fixed at 8 MHz and connected to PF0/PD0/PH0-OSC_IN of the STM32 microcontroller.

The following configuration is needed:

- SB55 OFF and SB54 ON
- SB16 and SB50 ON
- R35 and R37 removed

- **HSE oscillator on-board from X3 crystal (not provided):** for typical frequencies and its capacitors and resistors, refer to STM32 microcontroller datasheet. Refer to the AN2867 Application note for oscillator design guide for STM32 microcontrollers. The X3 crystal has the following characteristics: 8 MHz, 16 pF, 20 ppm, and DIP footprint. It is recommended to use 9SL8000016AFXHF0 manufactured by Hong Kong X'tals Limited.

The following configuration is needed:

- SB54 and SB55 OFF
- R35 and R37 soldered
- C33 and C34 soldered with 20 pF capacitors
- SB16 and SB50 OFF

- **Oscillator from external PF0/PD0/PH0:** from an external oscillator through pin 29 of the CN7 connector.

The following configuration is needed:

- SB55 ON
- SB50 OFF
- R35 and R37 removed

- **HSE not used:** PF0/PD0/PH0 and PF1/PD1/PH1 are used as GPIO instead of clock

The following configuration is needed:

- SB54 and SB55 ON
- SB16 and SB50 (MCO) OFF
- R35 and R37 removed

There are two possible default configurations of the HSE pins, depending on the version of the Nucleo board hardware.

The board version MB1136 C-01 or MB1136 C-02 is mentioned on the sticker, placed on the bottom side of the PCB.

The board marking MB1136 C-01 corresponds to a board, configured as HSE not used.

The board marking MB1136 C-02 (or higher) corresponds to a board, configured to use ST-LINK MCO as clock input.



Note: For NUCLEO-L476RG the ST-LINK MCO output is not connected to OSCIN to reduce power consumption in low power mode. Consequently NUCLEO-L476RG configuration corresponds to HSE not used.

6.7.2 OSC 32 KHz clock supply

There are three ways to configure the pins corresponding to low-speed clock (LSE):

- **On-board oscillator:** X2 crystal. Refer to the *Oscillator design guide for STM8S, STM8A and STM32 microcontrollers* application note (AN2867) for oscillator design guide for STM32 microcontrollers. It is recommended to use ABS25-32.768KHZ-6-T, manufactured by Abracon corporation.
- **Oscillator from external PC14:** from external oscillator through the pin 25 of CN7 connector.
The following configuration is needed:
 - SB48 and SB49 ON
 - R34 and R36 removed
- **LSE not used:** PC14 and PC15 are used as GPIOs instead of low speed clock.
The following configuration is needed:
 - SB48 and SB49 ON
 - R34 and R36 removed

There are three possible default configurations of the LSE depending on the version of the Nucleo board hardware.

The board version MB1136 C-01 or MB1136 C-02 is mentioned on the sticker placed on the bottom side of the PCB.

The board marking MB1136 C-01 corresponds to a board configured as LSE not used.

The board marking MB1136 C-02 (or higher) corresponds to a board configured with on-board 32KHz oscillator.

The board marking MB1136 C-03 (or higher) corresponds to a board using new LSE crystal (ABS25) and C26, C31 and C32 value update.

6.8 USART communication

The USART2 interface available on PA2 and PA3 of the STM32 microcontroller can be connected to ST-LINK MCU, ST morpho connector or to Arduino connector. The choice can be changed by setting the related solder bridges. By default the USART2 communication between the target MCU and ST-LINK MCU is enabled, in order to support Virtual Com Port for mbed (SB13 and SB14 ON, SB62 and SB63 OFF). If the communication between the target MCU PA2 (D1) or PA3 (D0) and shield or extension board is required, SB62 and SB63 should be ON, SB13 and SB14 should be OFF. In such case it is possible to connect another USART to ST-LINK MCU using flying wires between ST morpho connector and CN3. For instance on NUCLEO-F103RB it is possible to use USART3 available on PC10 (TX) and PC11 (RX). Two flying wires need to be connected as follow:

- PC10 (USART3_TX) available on CN7 pin 1 to CN3 pin RX
- PC11 (USART3_RX) available on CN7 pin 2 to CN3 pin TX

6.9 Solder bridges

Table 9. Solder bridges

Bridge	State ⁽¹⁾	Description
SB54, SB55 (X3 crystal) ⁽²⁾	OFF	X3, C33, C34, R35 and R37 provide a clock as shown in Section 8: Electrical schematics . PF0/PD0/PH0, PF1/PD1/PH1 are disconnected from CN7.
	ON	PF0/PD0/PH0, PF1/PD1/PH1 are connected to CN12. (R35, R37 and SB50 must not be fitted).
SB3,5,7,9 (DEFAULT)	ON	Reserved, do not modify.
SB4,6,8,10 (RESERVED)	OFF	Reserved, do not modify.
SB48,49 (X2 crystal) ⁽³⁾	OFF	X2, C31, C32, R34 and R36 deliver a 32 kHz clock. PC14, PC15 are not connected to CN7.
	ON	PC14, PC15 are only connected to CN7. Remove only R34, R36.
SB17 (B1-USER)	ON	B1 push button is connected to PC13.
	OFF	B1 push button is not connected to PC13.
SB12 (NRST)	ON	The NRST signal of the CN4 connector is connected to the NRST pin of the STM32 MCU.
	OFF	The NRST signal of the CN4 connector is not connected to the NRST pin of the STM MCU.
SB15 (SWO)	ON	The SWO signal of the CN4 connector is connected to PB3.
	OFF	The SWO signal is not connected.
SB11 (STM_RST)	OFF	No incidence on STM32F103CBT6 (ST-LINK MCU) NRST signal.
	ON	STM32F103CBT6 (ST-LINK MCU) NRST signal is connected to GND.
SB1 (USB-5V)	OFF	USB power management is functional.
	ON	USB power management is disabled.
SB2 (3.3 V)	ON	Output of voltage regulator LD39050PU33R is connected to 3.3V.
	OFF	Output of voltage regulator LD39050PU33R is not connected.
SB21 (LD2-LED)	ON	Green user LED LD2 is connected to D13 of Arduino signal.
	OFF	Green user LED LD2 is not connected.
SB56,SB51 (A4 and A5)	ON	PC1 and PC0 (ADC in) are connected to A4 and A5 (pin 5 and pin 6) on Arduino connector CN8 and ST morpho connector CN7. Thus SB46 and SB52 should be OFF.
	OFF	PC1 and PC0 (ADC in) are disconnected to A4 and A5 (pin 5 and pin 6) on Arduino connector CN8 and ST morpho connector CN7.
SB46,SB52 (I2C on A4 and A5)	OFF	PB9 and PB8 (I2C) are disconnected to A4 and A5 (pin 5 and pin 6) on Arduino connector CN8 and ST morpho connector CN7.
	ON	PB9 and PB8 (I2C) are connected to A4 and A5 (pin 5 and pin 6) on Arduino connector CN8 and ST morpho connector CN7 as I2C signals. Thus SB56 and SB51 should be OFF.
SB45 (VBAT/VLCD)	ON	VBAT or VLCD on STM32 MCU is connected to VDD.
	OFF	VBAT or VLCD on STM32 MCU is not connected to VDD.



Table 9. Solder bridges (continued)

Bridge	State ⁽¹⁾	Description
SB57 (VDDA/VREF+)	ON	VDDA/VREF+ on STM32 MCU is connected to VDD.
	OFF	VDDA/VREF+ on STM32 MCU is not connected to VDD and can be provided from pin 7 of CN10
SB62, SB63 (USART)	OFF	PA2 and PA3 on STM32 MCU are disconnected to D1 and D0 (pin 2 and pin 1) on Arduino connector CN9 and ST morpho connector CN10.
	ON	PA2 and PA3 on STM32 MCU are connected to D1 and D0 (pin 2 and pin 1) on Arduino connector CN9 and ST morpho connector CN10 as USART signals. Thus SB13 and SB14 should be OFF.
SB13, SB14 (ST-LINK-USART)	ON	PA2 and PA3 on STM32F103CBT6 (ST-LINK MCU) are connected to PA3 and PA2 on STM32 MCU to have USART communication between them. Thus SB61, SB62 and SB63 should be OFF.
	OFF	PA2 and PA3 on STM32F103CBT6 (ST-LINK MCU) are disconnected to PA3 and PA2 on STM32 MCU.
SB16, SB50 (MCO) ⁽²⁾	OFF	MCO on STM32F103CBT6 (ST-LINK MCU) are disconnected to PF0/PD0/PH0 on STM32 MCU.
	ON	MCO on STM32F103CBT6 (ST-LINK MCU) are connected to PF0/PD0/PH0 on STM32 MCU.

1. The default SBx state is shown in bold.

2. Default configuration depends on board version. Refer to [Section 6.7.1: OSC clock supply](#) for details.

3. Default configuration depends on board version. Refer to [Section 6.7.2: OSC 32 KHz clock supply](#) for details.

All the other solder bridges present on the STM32 Nucleo board are used to configure several IOs and power supply pins for compatibility of features and pinout with STM32 MCU supported.

All STM32 Nucleo boards are delivered with the solder-bridges configured according to the target MCU supported.

6.10 Extension connectors

[Figure 9](#) to [Figure 24](#) show the signals connected by default to Arduino Uno Revision 3 connectors (CN5, CN6, CN8, CN9) and to ST morpho connector (CN7 and CN10), for each STM32 Nucleo board.

Figure 17. NUCLEO-F401RE

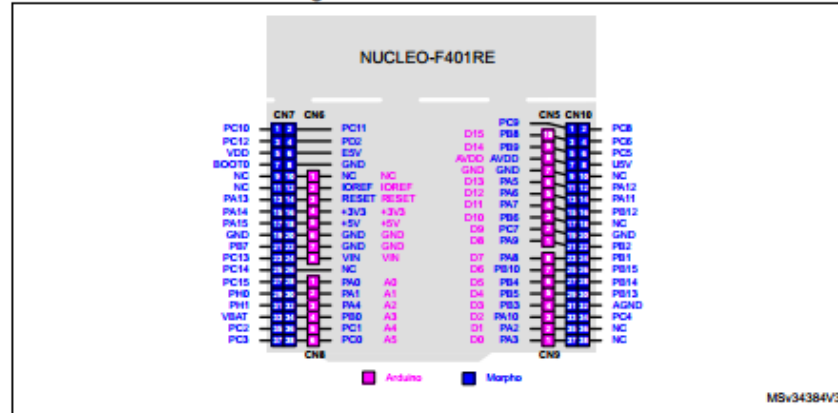


Figure 18. NUCLEO-F411RE

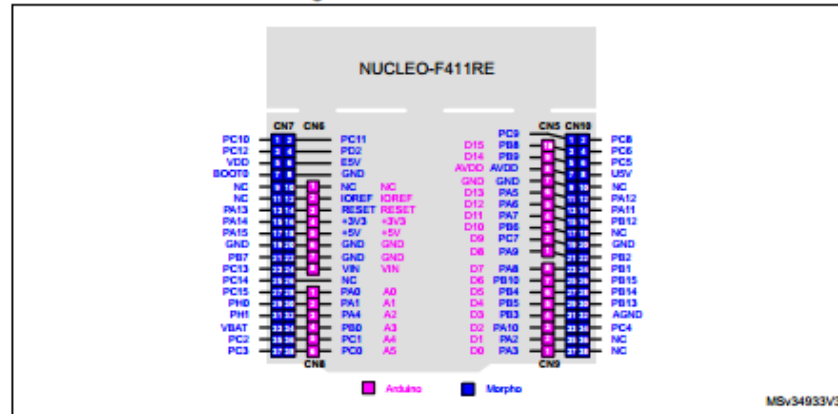


Table 14. Arduino connectors on NUCLEO-F334R8 (continued)

Connector	Pin	Pin name	MCU pin	Function
CN5 digital	2	D9	PC7	TIM3_CH2
	1	D8	PA9	-
CN9 digital	8	D7	PA8	-
	7	D6	PB10	TIM2_CH3
	6	D5	PB4	TIM3_CH1
	5	D4	PB5	-
	4	D3	PB3	TIM2_CH2
	3	D2	PA10	-
	2	D1	PA2	USART2_TX
	1	D0	PA3	USART2_RX

1. Refer to Table 9: Solder bridges for details.

Table 15. Arduino connectors on NUCLEO-F401RE and NUCLEO-F411RE

Connector	Pin	Pin name	MCU pin	Function
Left connectors				
CN6 power	1	NC	-	-
	2	IOREF	-	3.3V Ref
	3	RESET	NRST	RESET
	4	+3V3	-	3.3V input/output
	5	+5V	-	5V output
	6	GND	-	Ground
	7	GND	-	Ground
	8	VIN	-	Power input
CN8 analog	1	A0	PA0	ADC1_0
	2	A1	PA1	ADC1_1
	3	A2	PA4	ADC1_4
	4	A3	PB0	ADC1_8
	5	A4	PC1 or PB9 ⁽¹⁾	ADC1_11 (PC1) or I2C1_SDA (PB9)
	6	A5	PC0 or PB8 ⁽¹⁾	ADC1_10 (PC0) or I2C1_SCL (PB8)
Right connectors				
CN5 digital	10	D15	PB8	I2C1_SCL
	10	D15	PB8	I2C1_SCL
	9	D14	PB9	I2C1_SDA
	8	AREF	-	AVDD
	7	GND	-	Ground



**Table 27. ST morpho connector on NUCLEO-F401RE,
NUCLEO-F411RE, NUCLEO-F446RE**

CN7 odd pins		CN7 even pins		CN10 odd pins		CN10 even pins	
Pin	Name	Name	Pin	Pin	Name	Name	Pin
1	PC10	PC11	2	1	PC9	PC8	2
3	PC12	PD2	4	3	PB8	PC6	4
5	VDD	E5V	6	5	PB9	PC5	6
7	BOOT0 ⁽¹⁾	GND	8	7	AVDD	U5V ⁽²⁾	8
9	-	-	10	9	GND	-	10
11	-	IOREF	12	11	PA5	PA12	12
13	PA13 ⁽³⁾	RESET	14	13	PA6	PA11	14
15	PA14 ⁽³⁾	+3V3	16	15	PA7	PB12	16
17	PA15	+5V	18	17	PB6	-	18
19	GND	GND	20	19	PC7	GND	20
21	PB7	GND	22	21	PA9	PB2	22
23	PC13	VIN	24	23	PA8	PB1	24
25	PC14	-	26	25	PB10	PB15	26
27	PC15	PA0	28	27	PB4	PB14	28
29	PH0	PA1	30	29	PB5	PB13	30
31	PH1	PA4	32	31	PB3	AGND	32
33	VBAT	PB0	34	33	PA10	PC4	34
35	PC2	PC1 or PB9 ⁽⁴⁾	36	35	PA2	-	36
37	PC3	PC0 or PB8 ⁽⁴⁾	38	37	PA3	-	38

1. Default state of BOOT0 is 0. It can be set to 1 when a jumper is on pin5-7 of CN7. Two unused jumpers are available on CN11 and CN12 (bottom side of the board).
2. U5V is 5 V power from ST-LINK/V2-1 USB connector and it rises before +5V.
3. PA13 and PA14 share with SWD signals connected to ST-LINK/V2-1, it is not recommend to use them as IO pins if ST-LINK part is not cut.
4. Refer to [Table 9: Solder bridges](#) for details.

7 Mechanical dimensions

Figure 25. STM32 Nucleo board mechanical dimensions

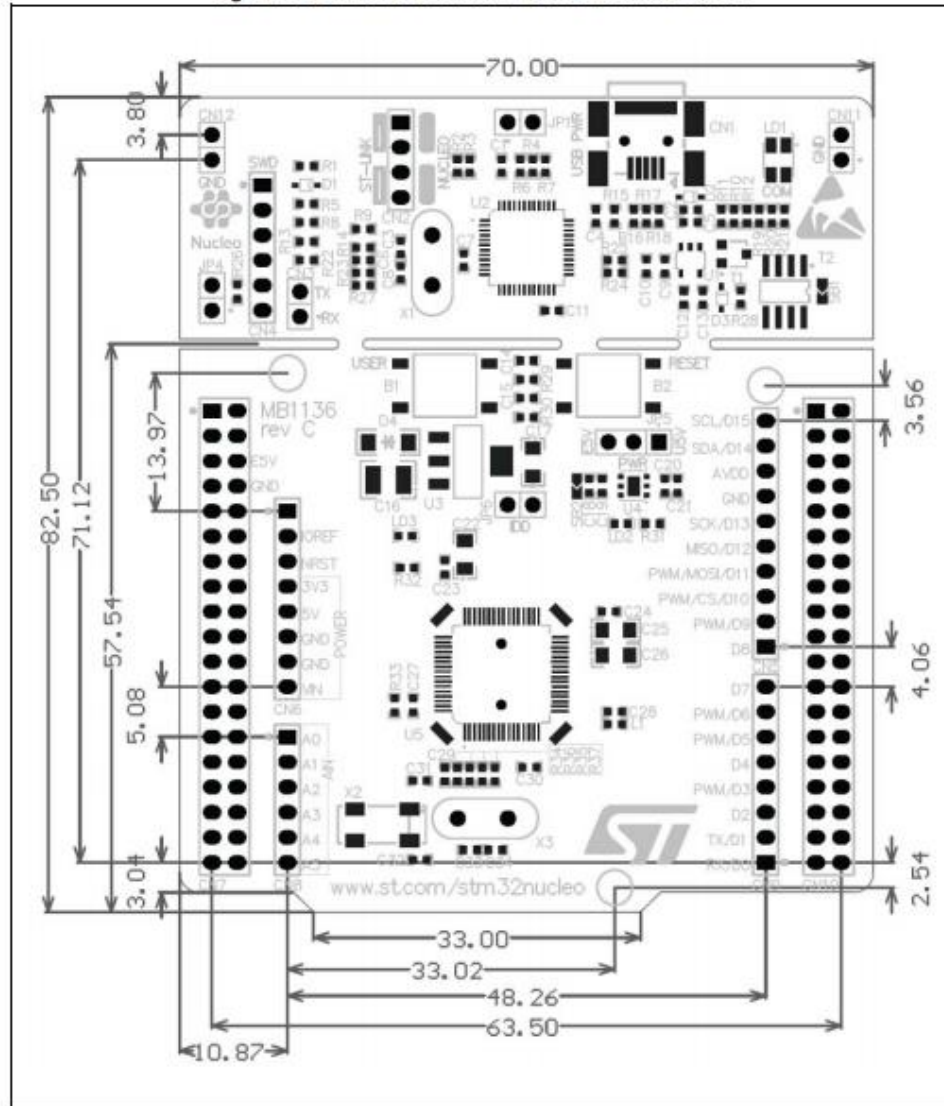


Figure 28. ST-LINK/V2-1 (3/4)

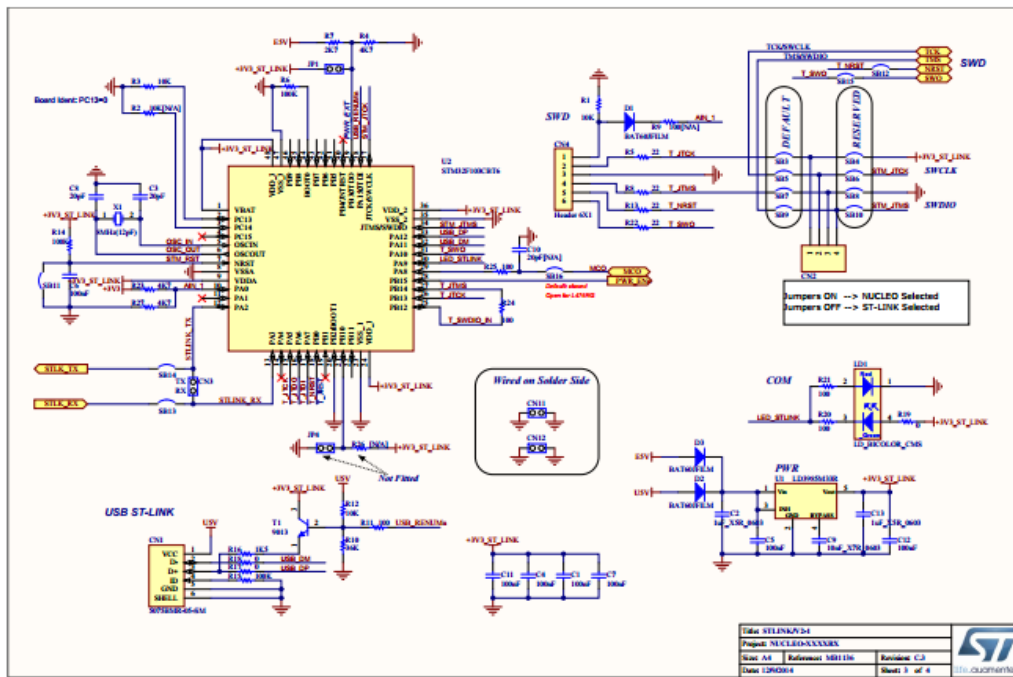
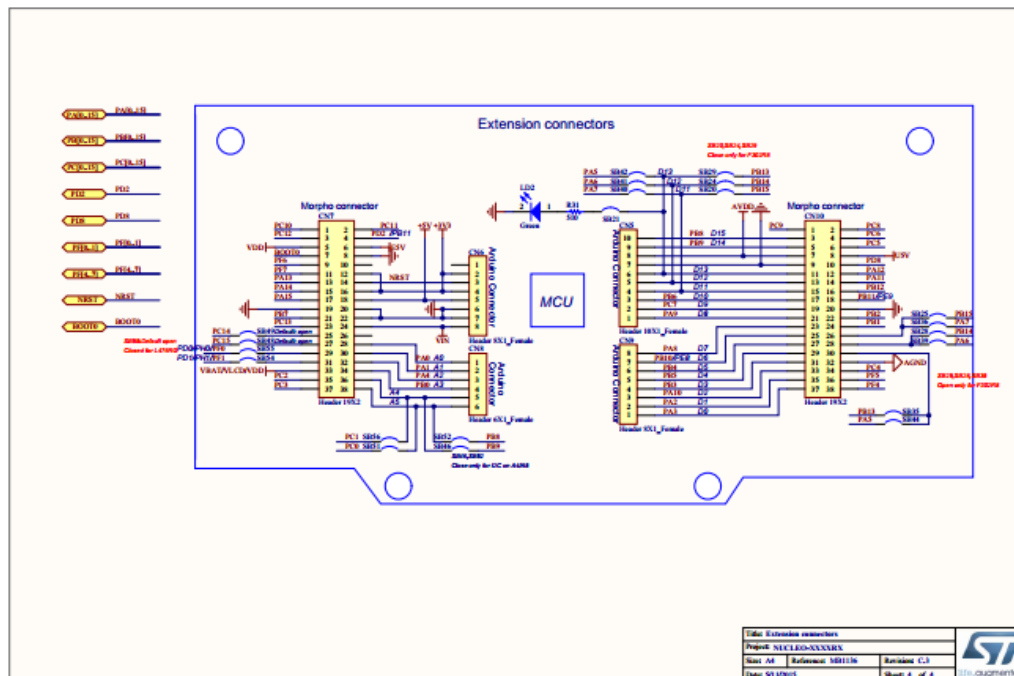


Figure 29. Extension connectors (4/4)



2. Datasheet LM2596



LM2596

SNVS124D – NOVEMBER 1999 – REVISED MAY 2016

LM2596 SIMPLE SWITCHER® Power Converter 150-kHz 3-A Step-Down Voltage Regulator

1 Features

- 3.3-V, 5-V, 12-V, and Adjustable Output Versions
- Adjustable Version Output Voltage Range: 1.2-V to 37-V $\pm$ 4% Maximum Over Line and Load Conditions
- Available in TO-220 and TO-263 Packages
- 3-A Output Load Current
- Input Voltage Range Up to 40 V
- Requires Only 4 External Components
- Excellent Line and Load Regulation Specifications
- 150-kHz Fixed-Frequency Internal Oscillator
- TTL Shutdown Capability
- Low Power Standby Mode, I_Q , Typically 80 μ A
- High Efficiency
- Uses Readily Available Standard Inductors
- Thermal Shutdown and Current-Limit Protection
- Create a Custom Design Using the LM2596 with the [WEBENCH Power Designer](#)

2 Applications

- Simple High-Efficiency Step-Down (Buck) Regulator
- On-Card Switching Regulators
- Positive to Negative Converter

3 Description

The LM2596 series of regulators are monolithic integrated circuits that provide all the active functions for a step-down (buck) switching regulator, capable of driving a 3-A load with excellent line and load regulation. These devices are available in fixed output voltages of 3.3 V, 5 V, 12 V, and an adjustable output version.

Requiring a minimum number of external components, these regulators are simple to use and include internal frequency compensation, and a fixed-frequency oscillator.

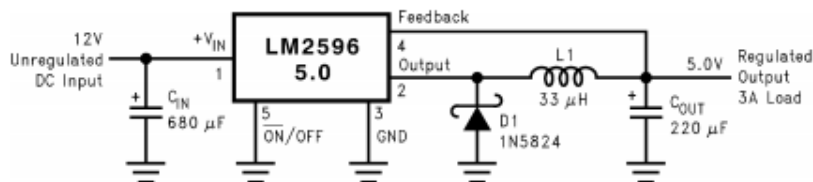
The LM2596 series operates at a switching frequency of 150 kHz, thus allowing smaller sized filter components than what would be required with lower frequency switching regulators. Available in a standard 7-pin TO-220 package with several different lead bend options, and a 7-pin TO-263 surface mount package.

Device Information⁽¹⁾

PART NUMBER	PACKAGE	BODY SIZE (NOM)
LM2596	TO-220 (7)	14.986 mm $\times$ 10.16 mm
	TO-263 (7)	10.10 mm $\times$ 8.89 mm

(1) For all available packages, see the orderable addendum at the end of the data sheet.

Typical Application



Copyright © 2016, Texas Instruments Incorporated

(Fixed Output Voltage Versions)

An IMPORTANT NOTICE at the end of this data sheet addresses availability, warranty, changes, use in safety-critical applications, intellectual property matters and other important disclaimers. PRODUCTION DATA.



www.ti.com

LM2596

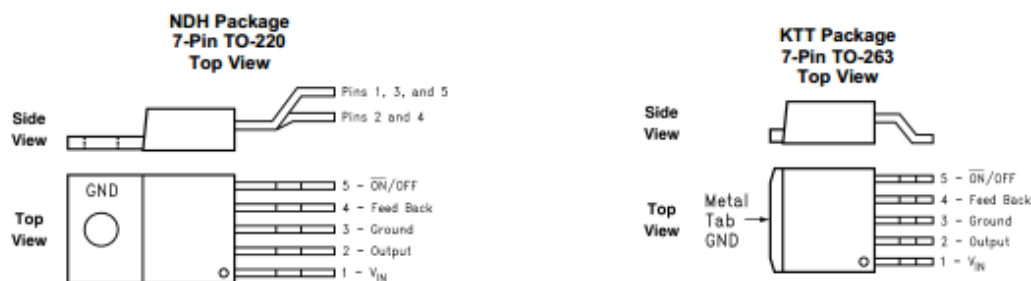
SNVS124D –NOVEMBER 1999–REVISED MAY 2016

5 Description (continued)

A standard series of inductors are available from several different manufacturers optimized for use with the LM2596 series. This feature greatly simplifies the design of switch-mode power supplies.

Other features include a $\pm 4\%$ tolerance on output voltage under specified input voltage and output load conditions, and $\pm 15\%$ on the oscillator frequency. External shutdown is included, featuring typically 80 μA standby current. Self-protection features include a two stage frequency reducing current limit for the output switch and an overtemperature shutdown for complete protection under fault conditions.

6 Pin Configuration and Functions



Pin Functions

PIN		I/O	DESCRIPTION
NO.	NAME		
1	V _{IN}	I	This is the positive input supply for the IC switching regulator. A suitable input bypass capacitor must be present at this pin to minimize voltage transients and to supply the switching currents required by the regulator.
2	Output	O	Internal switch. The voltage at this pin switches between approximately (+V _{IN} - V _{SAT}) and approximately -0.5 V, with a duty cycle of V _{OUT} / V _{IN} . To minimize coupling to sensitive circuitry, the PCB copper area connected to this pin must be kept to a minimum.
3	Ground	—	Circuit ground.
4	Feedback	I	Senses the regulated output voltage to complete the feedback loop.
5	ON/OFF	I	Allows the switching regulator circuit to be shut down using logic signals thus dropping the total input supply current to approximately 80 μA. Pulling this pin below a threshold voltage of approximately 1.3 V turns the regulator on, and pulling this pin above 1.3 V (up to a maximum of 25 V) shuts the regulator down. If this shutdown feature is not required, the ON/OFF pin can be wired to the ground pin or it can be left open. In either case, the regulator will be in the ON condition.



LM2596

SNVS124D—NOVEMBER 1999—REVISED MAY 2016

www.ti.com

7 Specifications

7.1 Absolute Maximum Ratings

over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)⁽¹⁾⁽²⁾

	MIN	MAX	UNIT
Maximum supply voltage (V_{IN})		45	V
$\overline{SD}/SS$ pin input voltage ⁽³⁾		6	V
Delay pin voltage ⁽³⁾		1.5	V
Flag pin voltage	-0.3	45	V
Feedback pin voltage	-0.3	25	V
Output voltage to ground, steady-state		-1	V
Power dissipation		Internally limited	
Lead temperature	KTH package	Vapor phase (60 s)	215
		Infrared (10 s)	245
	NDZ package, soldering (10 s)		260
Maximum junction temperature		150	°C
Storage temperature, T_{stg}		-65	150

- Stresses beyond those listed under *Absolute Maximum Ratings* may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, which do not imply functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under *Recommended Operating Conditions*. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.
- If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the Texas Instruments Sales Office/ Distributors for availability and specifications.
- Voltage internally clamped. If clamp voltage is exceeded, limit current to a maximum of 1 mA.

7.2 ESD Ratings

	VALUE	UNIT
$V_{(ESD)}$ Electrostatic discharge Human-body model (HBM), per ANSI/ESDA/JEDEC JS-001 ⁽¹⁾	±2000	V

- JEDEC document JEP155 states that 500-V HBM allows safe manufacturing with a standard ESD control process.

7.3 Operating Conditions

	MIN	MAX	UNIT
Supply voltage	4.5	40	V
Temperature	-40	125	°C

7.4 Thermal Information

THERMAL METRIC ⁽¹⁾		LM2596		UNIT
		KTH (TO-263)	NDZ (TO-220)	
		7 PINS	7 PINS	
R_{JA} Junction-to-ambient thermal resistance ⁽²⁾⁽³⁾	See ⁽⁴⁾	—	50	°C/W
	See ⁽⁵⁾	50	—	
	See ⁽⁶⁾	30	—	
	See ⁽⁷⁾	20	—	
$R_{JC(top)}$ Junction-to-case (top) thermal resistance		2	2	°C/W

- For more information about traditional and new thermal metrics, see the *Semiconductor and IC Package Thermal Metrics* application report, [SPRA953](#).
- The package thermal impedance is calculated in accordance with JESD 51-7.
- Thermal Resistances were simulated on a 4-layer, JEDEC board.
- Junction to ambient thermal resistance (no external heat sink) for the package mounted TO-220 package mounted vertically, with the leads soldered to a printed circuit board with (1 oz.) copper area of approximately 1 in².
- Junction to ambient thermal resistance with the TO-263 package tab soldered to a single sided printed circuit board with 0.5 in² of 1-oz copper area.
- Junction to ambient thermal resistance with the TO-263 package tab soldered to a single sided printed circuit board with 2.5 in² of 1-oz copper area.
- Junction to ambient thermal resistance with the TO-263 package tab soldered to a double sided printed circuit board with 3 in² of 1-oz copper area on the LM2596S side of the board, and approximately 16 in² of copper on the other side of the PCB.



7.5 Electrical Characteristics – 3.3-V Version

Specifications are for $T_J = 25^\circ\text{C}$ (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN ⁽¹⁾	TYP ⁽²⁾	MAX ⁽¹⁾	UNIT
SYSTEM PARAMETERS ⁽³⁾ (see Figure 35 for test circuit)					
V_{OUT} Output voltage	$4.75\text{ V} \leq V_{IN} \leq 40\text{ V}$, $0.2\text{ A} \leq I_{LOAD} \leq 3\text{ A}$	$T_J = 25^\circ\text{C}$ $-40^\circ\text{C} \leq T_J \leq 125^\circ\text{C}$	3.168 3.3 3.432	3.432 3.465	V
η Efficiency	$V_{IN} = 12\text{ V}$, $I_{LOAD} = 3\text{ A}$		73%		

- (1) All room temperature limits are 100% production tested. All limits at temperature extremes are specified via correlation using standard Statistical Quality Control (SQC) methods. All limits are used to calculate Average Outgoing Quality Level (AOQL).
- (2) Typical numbers are at 25°C and represent the most likely norm.
- (3) External components such as the catch diode, inductor, input and output capacitors can affect switching regulator system performance. When the LM2596 is used as shown in Figure 35, system performance is shown in the test conditions column.

7.6 Electrical Characteristics – 5-V Version

Specifications are for $T_J = 25^\circ\text{C}$ (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN ⁽¹⁾	TYP ⁽²⁾	MAX ⁽¹⁾	UNIT
SYSTEM PARAMETERS ⁽³⁾ (see Figure 35 for test circuit)					
V_{OUT} Output voltage	$7\text{ V} \leq V_{IN} \leq 40\text{ V}$, $0.2\text{ A} \leq I_{LOAD} \leq 3\text{ A}$	$T_J = 25^\circ\text{C}$ $-40^\circ\text{C} \leq T_J \leq 125^\circ\text{C}$	4.8 5 5.2	5.2 5.25	V
η Efficiency	$V_{IN} = 12\text{ V}$, $I_{LOAD} = 3\text{ A}$		80%		

- (1) All room temperature limits are 100% production tested. All limits at temperature extremes are specified via correlation using standard Statistical Quality Control (SQC) methods. All limits are used to calculate Average Outgoing Quality Level (AOQL).
- (2) Typical numbers are at 25°C and represent the most likely norm.
- (3) External components such as the catch diode, inductor, input and output capacitors can affect switching regulator system performance. When the LM2596 is used as shown in Figure 35, system performance is shown in the test conditions column.

7.7 Electrical Characteristics – 12-V Version

Specifications are for $T_J = 25^\circ\text{C}$ (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN ⁽¹⁾	TYP ⁽²⁾	MAX ⁽¹⁾	UNIT
SYSTEM PARAMETERS ⁽³⁾ (see Figure 35 for test circuit)					
V_{OUT} Output voltage	$15\text{ V} \leq V_{IN} \leq 40\text{ V}$, $0.2\text{ A} \leq I_{LOAD} \leq 3\text{ A}$	$T_J = 25^\circ\text{C}$ $-40^\circ\text{C} \leq T_J \leq 125^\circ\text{C}$	11.52 12 12.48	12.48 12.6	V
η Efficiency	$V_{IN} = 25\text{ V}$, $I_{LOAD} = 3\text{ A}$		90%		

- (1) All room temperature limits are 100% production tested. All limits at temperature extremes are specified via correlation using standard Statistical Quality Control (SQC) methods. All limits are used to calculate Average Outgoing Quality Level (AOQL).
- (2) Typical numbers are at 25°C and represent the most likely norm.
- (3) External components such as the catch diode, inductor, input and output capacitors can affect switching regulator system performance. When the LM2596 is used as shown in Figure 35, system performance is shown in the test conditions column.

7.8 Electrical Characteristics – Adjustable Voltage Version

Specifications are for $T_J = 25^\circ\text{C}$ (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN ⁽¹⁾	TYP ⁽²⁾	MAX ⁽¹⁾	UNIT
SYSTEM PARAMETERS ⁽³⁾ (see Figure 35 for test circuit)					
V_{FB} Feedback voltage	$4.5\text{ V} \leq V_{IN} \leq 40\text{ V}$, $0.2\text{ A} \leq I_{LOAD} \leq 3\text{ A}$ V_{OUT} programmed for 3 V (see Figure 35 for test circuit)	$T_J = 25^\circ\text{C}$ $-40^\circ\text{C} \leq T_J \leq 125^\circ\text{C}$	1.23 1.193 1.18	1.267 1.28	V
η Efficiency	$V_{IN} = 12\text{ V}$, $V_{OUT} = 3\text{ V}$, $I_{LOAD} = 3\text{ A}$		73%		

- (1) All room temperature limits are 100% production tested. All limits at temperature extremes are specified via correlation using standard Statistical Quality Control (SQC) methods. All limits are used to calculate Average Outgoing Quality Level (AOQL).
- (2) Typical numbers are at 25°C and represent the most likely norm.
- (3) External components such as the catch diode, inductor, input and output capacitors can affect switching regulator system performance. When the LM2596 is used as shown in Figure 35, system performance is shown in the test conditions column.



LM2596

SNVS124D – NOVEMBER 1999 – REVISED MAY 2016

www.ti.com

7.9 Electrical Characteristics – All Output Voltage Versions

Specifications are for $T_J = 25^\circ\text{C}$, $I_{\text{LOAD}} = 500\text{ mA}$, $V_{\text{IN}} = 12\text{ V}$ for the 3.3-V, 5-V, and adjustable version, and $V_{\text{IN}} = 24\text{ V}$ for the 12-V version (unless otherwise noted).

PARAMETER		TEST CONDITIONS		MIN ⁽¹⁾	TYP ⁽²⁾	MAX ⁽¹⁾	UNIT
DEVICE PARAMETERS							
I _b	Feedback bias current	Adjustable version only, V _{FB} = 1.3 V	T _J = 25°C −40°C ≤ T _J ≤ 125°C	10	50		nA
f _o	Oscillator frequency ⁽³⁾	T _J = 25°C −40°C ≤ T _J ≤ 125°C		127	150	173	kHz
V _{SAT}	Saturation voltage ^{(4) (5)}	I _{OUT} = 3 A	T _J = 25°C −40°C ≤ T _J ≤ 125°C	1.16	1.4		V
DC	Max duty cycle (ON) ⁽⁵⁾			100%			
	Min duty cycle (OFF) ⁽⁶⁾			0%			
I _{CL}	Current limit ^{(4) (5)}	Peak current	T _J = 25°C −40°C ≤ T _J ≤ 125°C	3.6	4.5	6.9	A
I _L	Output leakage current ^{(4) (6)}	Output = 0 V, V _{IN} = 40 V				50	μA
		Output = −1 V			2	30	mA
I _Q	Operating quiescent current ⁽⁶⁾	See ⁽⁶⁾			5	10	mA
I _{STBY}	Current standby quiescent	ON/OFF pin = 5 V (OFF) ⁽⁷⁾	T _J = 25°C −40°C ≤ T _J ≤ 125°C	80	200		μA
					250		μA
SHUTDOWN/SOFT-START CONTROL (see Figure 35 for test circuit)							
V _{IH}	ON/OFF pin logic input threshold voltage	Low (regulator ON)	T _J = 25°C −40°C ≤ T _J ≤ 125°C	1.3			V
V _{IL}		High (regulator OFF)	T _J = 25°C −40°C ≤ T _J ≤ 125°C	1.3			V
I _H	ON/OFF pin input current	V _{LOGIC} = 2.5 V (regulator OFF)		5	15		μA
I _L		V _{LOGIC} = 0.5 V (regulator ON)		0.02	5		μA

(1) All room temperature limits are 100% production tested. All limits at temperature extremes are specified via correlation using standard Statistical Quality Control (SQC) methods. All limits are used to calculate Average Outgoing Quality Level (AOQL).

(2) Typical numbers are at 25°C and represent the most likely norm.

(3) The switching frequency is reduced when the second stage current limit is activated. The amount of reduction is determined by the severity of current overload.

(4) No diode, inductor, or capacitor connected to output pin.

(5) Feedback pin removed from output and connected to 0 V to force the output transistor switch ON.

(6) Feedback pin removed from output and connected to 12 V for the 3.3-V, 5-V, and the adjustable versions, and 15 V for the 12-V version, to force the output transistor switch OFF.

(7) $V_{\text{IN}} = 40\text{ V}$.



7.10 Typical Characteristics

See Figure 35 for test circuit

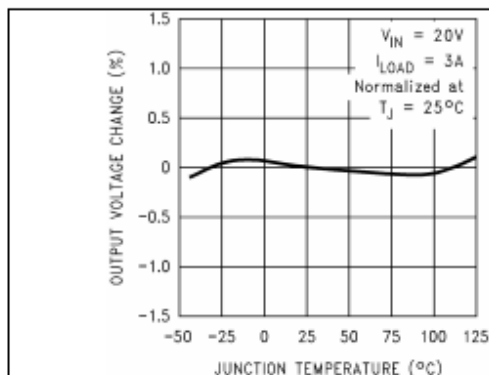


Figure 1. Normalized Output Voltage

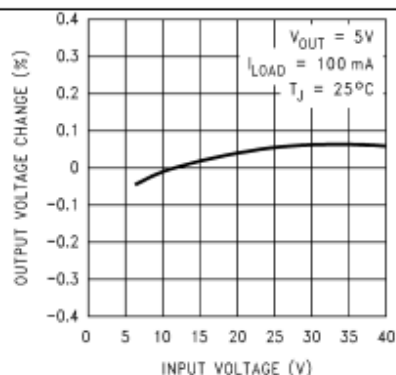


Figure 2. Line Regulation

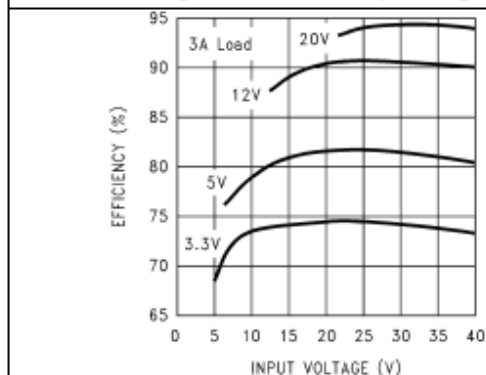


Figure 3. Efficiency

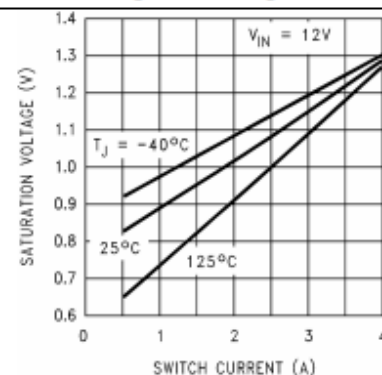


Figure 4. Switch Saturation Voltage

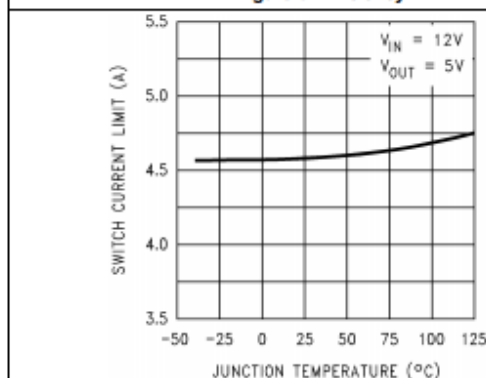


Figure 5. Switch Current Limit

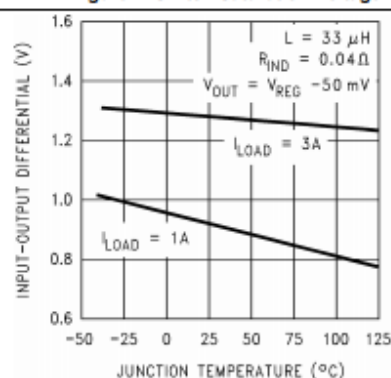


Figure 6. Dropout Voltage

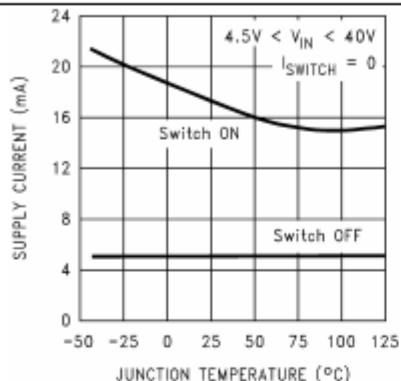
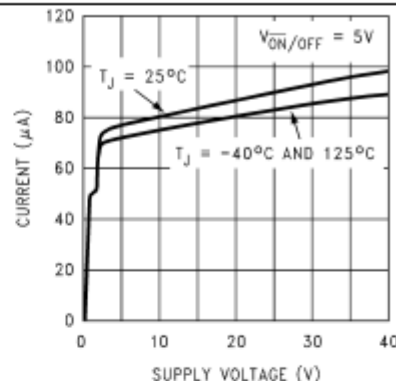
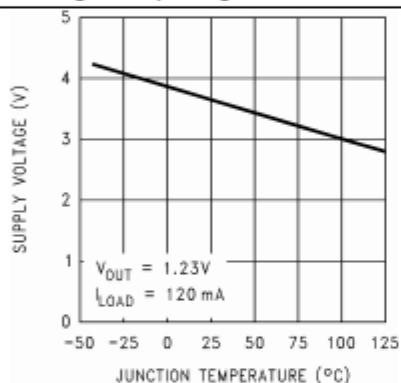
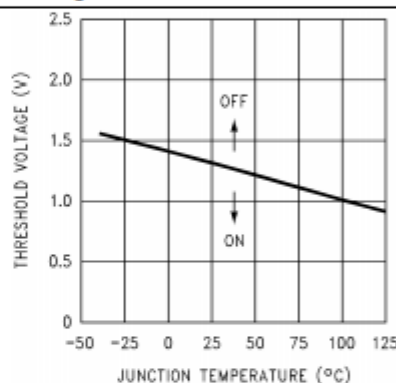
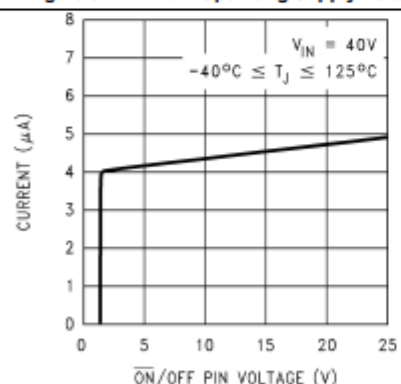
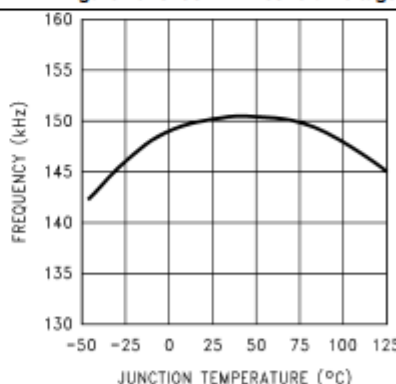
LM2596

SNVS124D – NOVEMBER 1999 – REVISED MAY 2016

www.ti.com

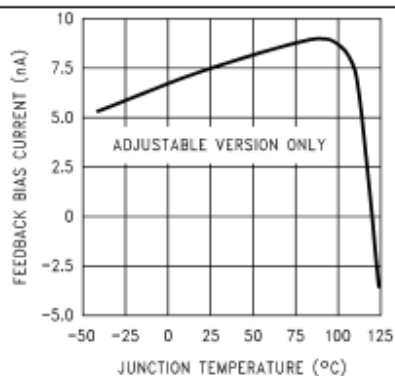
Typical Characteristics (continued)

See Figure 35 for test circuit

**Figure 7. Operating Quiescent Current****Figure 8. Shutdown Quiescent Current****Figure 9. Minimum Operating Supply Voltage****Figure 10. ON/OFF Threshold Voltage****Figure 11. ON/OFF Pin Current (Sinking)****Figure 12. Switching Frequency**

www.ti.com**LM2596**

SNVS124D –NOVEMBER 1999–REVISED MAY 2016

Typical Characteristics (continued)See [Figure 35](#) for test circuit**Figure 13. Feedback Pin Bias Current**



LM2596

SNVS124D—NOVEMBER 1999—REVISED MAY 2016

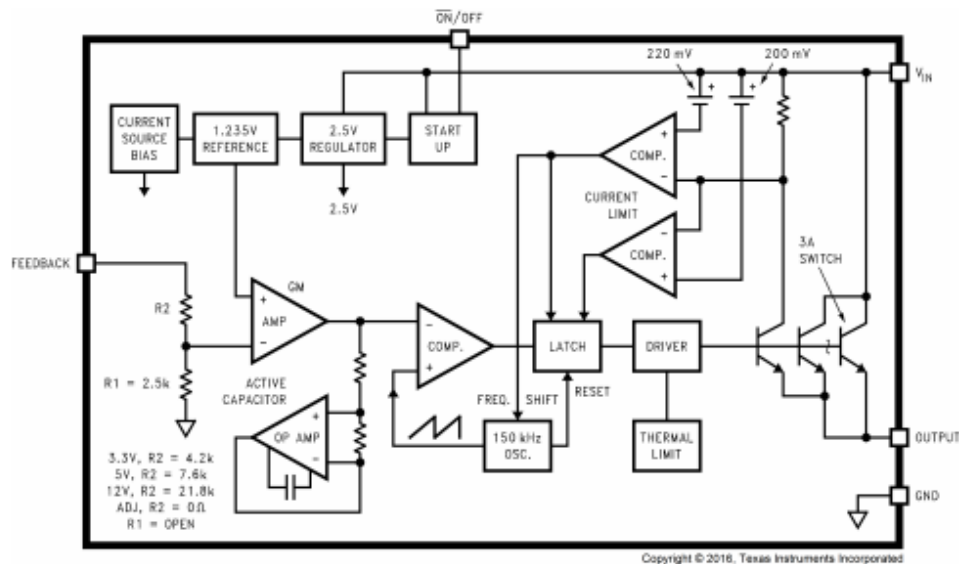
www.ti.com

8 Detailed Description

8.1 Overview

The LM2596 SIMPLE SWITCHER® regulator is an easy-to-use, nonsynchronous, step-down DC-DC converter with a wide input voltage range up to 40 V. The regulator is capable of delivering up to 3-A DC load current with excellent line and load regulation. These devices are available in fixed output voltages of 3.3-V, 5-V, 12-V and an adjustable output version. The family requires few external components, and the pin arrangement was designed for simple, optimum PCB layout.

8.2 Functional Block Diagram



8.3 Feature Description

8.3.1 Delayed Start-Up

The circuit in Figure 14 uses the $\overline{\text{ON/OFF}}$ pin to provide a time delay between the time the input voltage is applied and the time the output voltage comes up (only the circuitry pertaining to the delayed start-up is shown). As the input voltage rises, the charging of capacitor C1 pulls the $\overline{\text{ON/OFF}}$ pin high, keeping the regulator OFF. Once the input voltage reaches its final value and the capacitor stops charging, resistor R₂ pulls the $\overline{\text{ON/OFF}}$ pin low, thus allowing the circuit to start switching. Resistor R₁ is included to limit the maximum voltage applied to the $\overline{\text{ON/OFF}}$ pin (maximum of 25 V), reduces power supply noise sensitivity, and also limits the capacitor C1 discharge current. When high input ripple voltage exists, avoid long delay time, because this ripple can be coupled into the $\overline{\text{ON/OFF}}$ pin and cause problems.

This delayed start-up feature is useful in situations where the input power source is limited in the amount of current it can deliver. It allows the input voltage to rise to a higher voltage before the regulator starts operating. Buck regulators require less input current at higher input voltages.



www.ti.com

LM2596

SNVS124D – NOVEMBER 1999 – REVISED MAY 2016

Feature Description (continued)

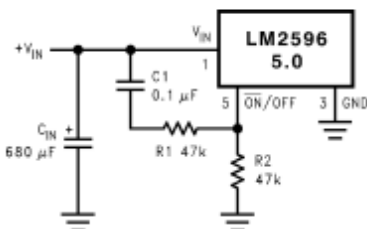


Figure 14. Delayed Start-Up

8.3.2 Undervoltage Lockout

Some applications require the regulator to remain off until the input voltage reaches a predetermined voltage. Figure 15 shows an undervoltage lockout feature applied to a buck regulator, while Figure 16 and Figure 17 apply the same feature to an inverting circuit. The circuit in Figure 16 features a constant threshold voltage for turnon and turnoff (Zener voltage plus approximately one volt). If hysteresis is required, the circuit in Figure 17 has a turnon voltage which is different than the turnoff voltage. The amount of hysteresis is approximately equal to the value of the output voltage. If Zener voltages greater than 25 V are used, an additional 47-kΩ resistor is required from the ON/OFF pin to the ground pin to stay within the 25 V maximum limit of the ON/OFF pin.

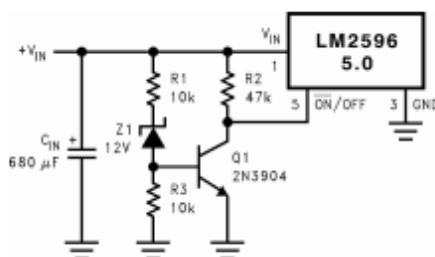
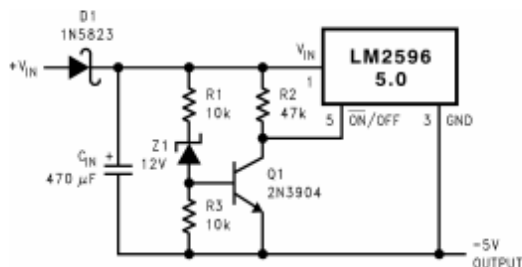


Figure 15. Undervoltage Lockout for Buck Regulator

8.3.3 Inverting Regulator

The circuit in Figure 18 converts a positive input voltage to a negative output voltage with a common ground. The circuit operates by bootstrapping the ground pin of the regulator to the negative output voltage, then grounding the feedback pin, the regulator senses the inverted output voltage and regulates it.



This circuit has an ON/OFF threshold of approximately 13 V.

Figure 16. Undervoltage Lockout for Inverting Regulator



LM2596

SNVS124D –NOVEMBER 1999–REVISED MAY 2016

www.ti.com

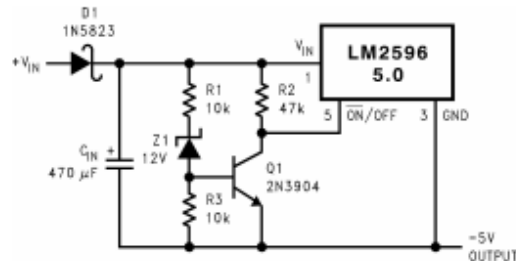
Feature Description (continued)

This example uses the LM2596-5.0 to generate a -5V output, but other output voltages are possible by selecting other output voltage versions, including the adjustable version. Because this regulator topology can produce an output voltage that is either greater than or less than the input voltage, the maximum output current greatly depends on both the input and output voltage. Figure 19 provides a guide as to the amount of output load current possible for the different input and output voltage conditions.

The maximum voltage appearing across the regulator is the absolute sum of the input and output voltage, and this must be limited to a maximum of 40V . For example, when converting $+20\text{V}$ to -12V , the regulator would see 32V between the input pin and ground pin. The LM2596 has a maximum input voltage spec of 40V .

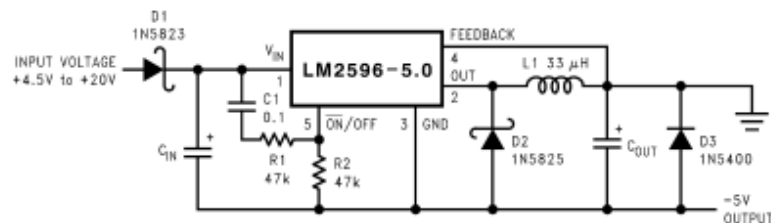
Additional diodes are required in this regulator configuration. Diode D1 is used to isolate input voltage ripple or noise from coupling through the C_{IN} capacitor to the output, under light or no load conditions. Also, this diode isolation changes the topology to closely resemble a buck configuration, thus providing good closed-loop stability. TI recommends using a Schottky diode for low input voltages, (because of its lower voltage drop) but for higher input voltages, a fast recovery diode could be used.

Without diode D3, when the input voltage is first applied, the charging current of C_{IN} can pull the output positive by several volts for a short period of time. Adding D3 prevents the output from going positive by more than a diode voltage.



This circuit has hysteresis
Regulator starts switching at $V_{IN} = 13\text{V}$
Regulator stops switching at $V_{IN} = 8\text{V}$

Figure 17. Undervoltage Lockout With Hysterisis for Inverting Regulator



C_{IN} — 68-μF, 25-V Tant. Sprague 595D
470-μF, 50-V Elec. Panasonic HFQ
 C_{OUT} — 47-μF, 20-V Tant. Sprague 595D
220-μF, 25-V Elec. Panasonic HFQ

Figure 18. Inverting -5V Regulator With Delayed Start-Up

Feature Description (continued)

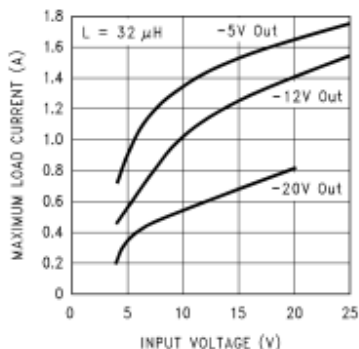


Figure 19. Inverting Regulator Typical Load Current

Because of differences in the operation of the inverting regulator, the standard design procedure is not used to select the inductor value. In the majority of designs, a 33- μ H, 3.5-A inductor is the best choice. Capacitor selection can also be narrowed down to just a few values. Using the values shown in Figure 18 will provide good results in the majority of inverting designs.

This type of inverting regulator can require relatively large amounts of input current when starting up, even with light loads. Input currents as high as the LM2596 current limit (approximately 4.5 A) are required for at least 2 ms or more, until the output reaches its nominal output voltage. The actual time depends on the output voltage and the size of the output capacitor. Input power sources that are current limited or sources that can not deliver these currents without getting loaded down, may not work correctly. Because of the relatively high start-up currents required by the inverting topology, the delayed start-up feature (C1, R1, and R2) shown in Figure 18 is recommended. By delaying the regulator start-up, the input capacitor is allowed to charge up to a higher voltage before the switcher begins operating. A portion of the high input current required for start-up is now supplied by the input capacitor (C_{IN}). For severe start-up conditions, the input capacitor can be made much larger than normal.

8.3.4 Inverting Regulator Shutdown Methods

Using the $\overline{\text{ON/OFF}}$ pin in a standard buck configuration is simple. To turn the regulator ON, pull the $\overline{\text{ON/OFF}}$ pin below 1.3 V (at 25°C, referenced to ground). To turn the regulator OFF, pull the $\overline{\text{ON/OFF}}$ pin above 1.3 V. With the inverting configuration, some level shifting is required, because the ground pin of the regulator is no longer at ground, but is now setting at the negative output voltage level. Two different shutdown methods for inverting regulators are shown in Figure 20 and Figure 21.

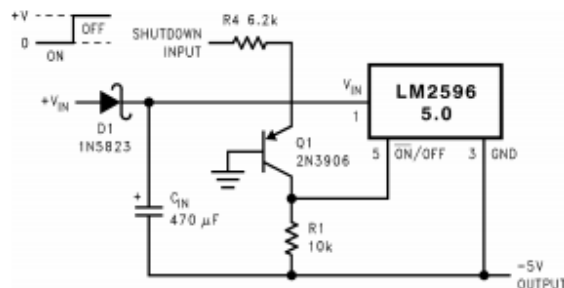


Figure 20. Inverting Regulator Ground Referenced Shutdown



www.ti.com

SNVS124D – NOVEMBER 1999 – REVISED MAY 2016

LM2596

9.2.2.1 Design Requirements

Table 5 lists the design parameters for this example.

Table 5. Design Parameters

PARAMETER	EXAMPLE VALUE
Regulated output voltage (3.3V, 5V or 12V), V_{OUT}	20 V
Maximum DC input voltage, $V_{IN(max)}$	28 V
Maximum load current, $I_{LOAD(max)}$	3 A
Switching frequency, F	Fixed at a nominal 150 kHz

9.2.2.2 Detailed Design Procedure

9.2.2.2.1 Custom Design with WEBENCH Tools

Click [here](#) to create a custom design using the LM2596 device with the WEBENCH® Power Designer.

1. Start by entering your V_{IN} , V_{OUT} and I_{OUT} requirements.
2. Optimize your design for key parameters like efficiency, footprint and cost using the optimizer dial and compare this design with other possible solutions from Texas Instruments.
3. WEBENCH Power Designer provides you with a customized schematic along with a list of materials with real time pricing and component availability.
4. In most cases, you will also be able to:
 - Run electrical simulations to see important waveforms and circuit performance,
 - Run thermal simulations to understand the thermal performance of your board,
 - Export your customized schematic and layout into popular CAD formats,
 - Print PDF reports for the design, and share your design with colleagues.
5. Get more information about WEBENCH tools at www.ti.com/webench.

9.2.2.2.2 Programming Output Voltage

Select R_1 and R_2 , as shown in Table 6

Use Equation 1 to select the appropriate resistor values.

$$V_{OUT} = V_{REF} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \quad \text{where } V_{REF} = 1.23V \quad (1)$$

Select a value for R_1 between 240 Ω and 1.5 k Ω . The lower resistor values minimize noise pickup in the sensitive feedback pin. (For the lowest temperature coefficient and the best stability with time, use 1% metal film resistors.). Calculate R_2 with Equation 2.

$$R_2 = R_1 \left(\frac{V_{OUT}}{V_{REF}} - 1 \right) \quad (2)$$

Select R_1 to be 1 k Ω , 1%. Solve for R_2 in Equation 3.

$$R_2 = R_1 \left(\frac{V_{OUT}}{V_{REF}} - 1 \right) = 1k \left(\frac{20V}{1.23V} - 1 \right) \quad (3)$$

$R_2 = 1k (16.26 - 1) = 15.26k$, closest 1% value is 15.4 k Ω .

$R_2 = 15.4 k\Omega$.

9.2.2.2.3 Inductor Selection (L1)

1. Calculate the inductor Volt • microsecond constant $E \times T$ ($V \times \mu s$), with Equation 4:

$$E \times T = (V_{IN} - V_{OUT} - V_{SAT}) \times \frac{V_{OUT} + V_D}{V_{IN} - V_{SAT} + V_D} \times \frac{1000}{150 \text{ kHz}} \quad (V \times \mu s)$$

where

- V_{SAT} = internal switch saturation voltage = 1.16 V
 - V_D = diode forward voltage drop = 0.5 V
- (4)

LM2596

SNVS124D –NOVEMBER 1999–REVISED MAY 2016

www.ti.com

Calculate the inductor Volt • microsecond constant

(E × T),

$$E \times T = (28 - 20 - 1.16) \times \frac{20 + 0.5}{28 - 1.16 + 0.5} \times \frac{1000}{150} (V \times \mu s)$$

$$E \times T = (6.84) \times \frac{20.5}{27.34} \times 6.67 (V \times \mu s) = 34.2 (V \times \mu s)$$

(5)

- Use the E × T value from the previous formula and match it with the E × T number on the vertical axis of the Inductor Value Selection Guide shown in [Figure 30](#).

$$E \times T = 34.2 (V \times \mu s)$$

- On the horizontal axis, select the maximum load current.

$$I_{LOAD(max)} = 3 A$$

- Identify the inductance region intersected by the E × T value and the maximum load current value. Each region is identified by an inductance value and an inductor code (LXX). From the inductor value selection guide shown in [Figure 30](#), the inductance region intersected by the 34 (V × μs) horizontal line and the 3-A vertical line is 47 μH, and the inductor code is L39.
- Select an appropriate inductor from the manufacturers' part numbers listed in [Table 1](#). From the table in [Table 1](#), locate line L39, and select an inductor part number from the list of manufacturers part numbers.

9.2.2.2.4 Output Capacitor Selection (C_{OUT})

- In the majority of applications, low ESR electrolytic or solid tantalum capacitors between 82 μF and 820 μF provide the best results. This capacitor must be placed close to the IC using short capacitor leads and short copper traces. Do not use capacitors larger than 820 μF.

NOTE

For additional information, see section on output capacitors in [Output Capacitor \(C_{OUT}\)](#) section.

- To simplify the capacitor selection procedure, see [Table 6](#) for a quick design guide. This table contains different output voltages, and lists various output capacitors that will provide the best design solutions.

From [Table 6](#), locate the output voltage column. From that column, locate the output voltage closest to the output voltage in your application. In this example, select the 24-V line. Under the [Output Capacitor \(C_{OUT}\)](#) section, select a capacitor from the list of through-hole electrolytic or surface-mount tantalum types from four different capacitor manufacturers. TI recommends that both the manufacturers and the manufacturers' series that are listed in [Table 6](#) be used.

In this example, through hole aluminum electrolytic capacitors from several different manufacturers are available.

- 220-μF, 35-V Panasonic HFQ Series
- 150-μF, 35-V Nichicon PL Series

- The capacitor voltage rating must be at least 1.5 times greater than the output voltage, and often much higher voltage ratings are required to satisfy the low ESR requirements required for low output ripple voltage.

For a 20-V output, a capacitor rating of at least 30 V is required. In this example, either a 35-V or 50-V capacitor would work. A 35-V rating was chosen, although a 50-V rating could also be used if a lower output ripple voltage is required.

Other manufacturers or other types of capacitors may also be used, provided the capacitor specifications (especially the 100-kHz ESR) closely match the types listed in [Table 6](#). Refer to the capacitor manufacturers data sheet for this information.

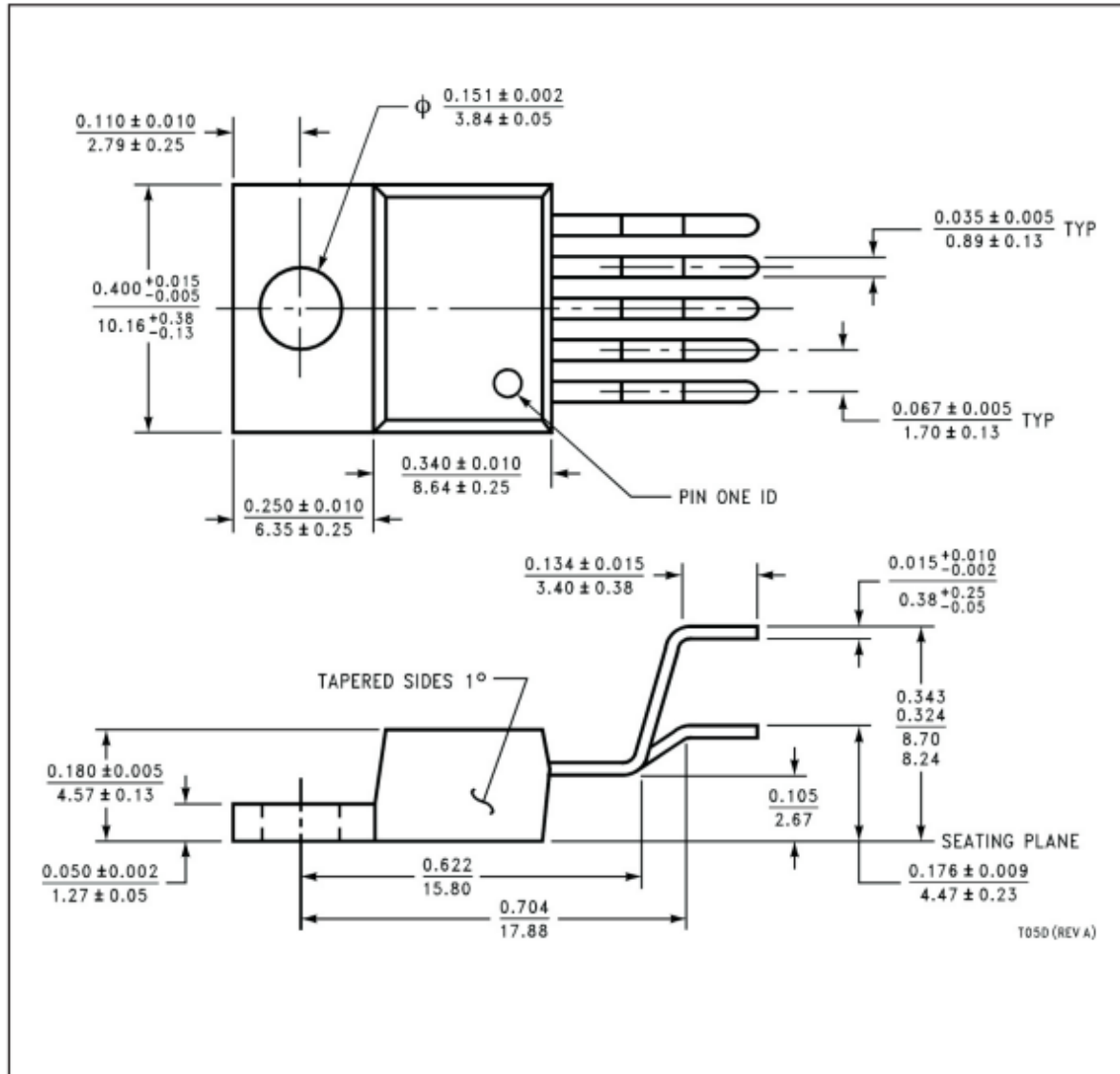
9.2.2.2.5 Feedforward Capacitor (C_{FF})

See [Table 6](#).

For output voltages greater than approximately 10 V, an additional capacitor is required. The compensation capacitor is typically between 100 pF and 33 nF, and is wired in parallel with the output voltage setting resistor, R₂. It provides additional stability for high output voltages, low input or output voltages, or very low ESR output capacitors, such as solid tantalum capacitors. Calculate the value for C_{FF} with [Equation 6](#):

MECHANICAL DATA

NDH0005D



3. Datasheet Driver L298N



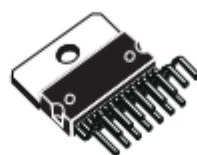
L298

DUAL FULL-BRIDGE DRIVER

- OPERATING SUPPLY VOLTAGE UP TO 46 V
- TOTAL DC CURRENT UP TO 4 A
- LOW SATURATION VOLTAGE
- OVERTEMPERATURE PROTECTION
- LOGICAL "0" INPUT VOLTAGE UP TO 1.5 V (HIGH NOISE IMMUNITY)

DESCRIPTION

The L298 is an integrated monolithic circuit in a 15-lead Multiwatt and PowerSO20 packages. It is a high voltage, high current dual full-bridge driver designed to accept standard TTL logic levels and drive inductive loads such as relays, solenoids, DC and stepping motors. Two enable inputs are provided to enable or disable the device independently of the input signals. The emitters of the lower transistors of each bridge are connected together and the corresponding external terminal can be used for the con-



Multiwatt15

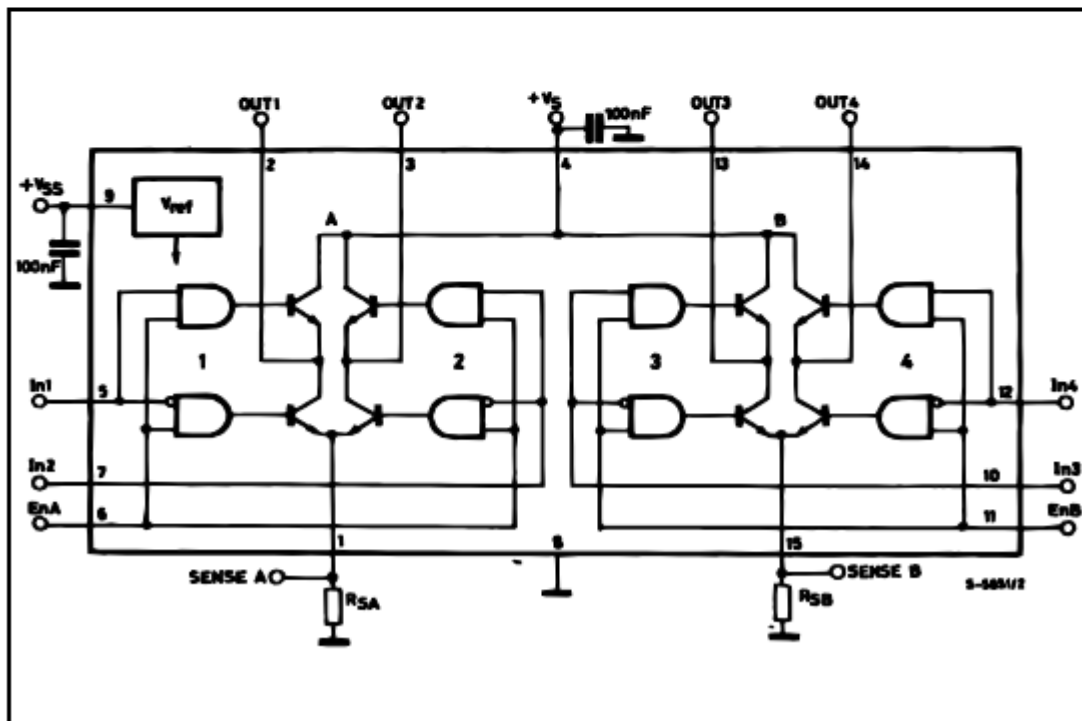


PowerSO20

ORDERING NUMBERS : L298N (Multiwatt Vert.)
L298HN (Multiwatt Horiz.)
L298P (PowerSO20)

nection of an external sensing resistor. An additional supply input is provided so that the logic works at a lower voltage.

BLOCK DIAGRAM

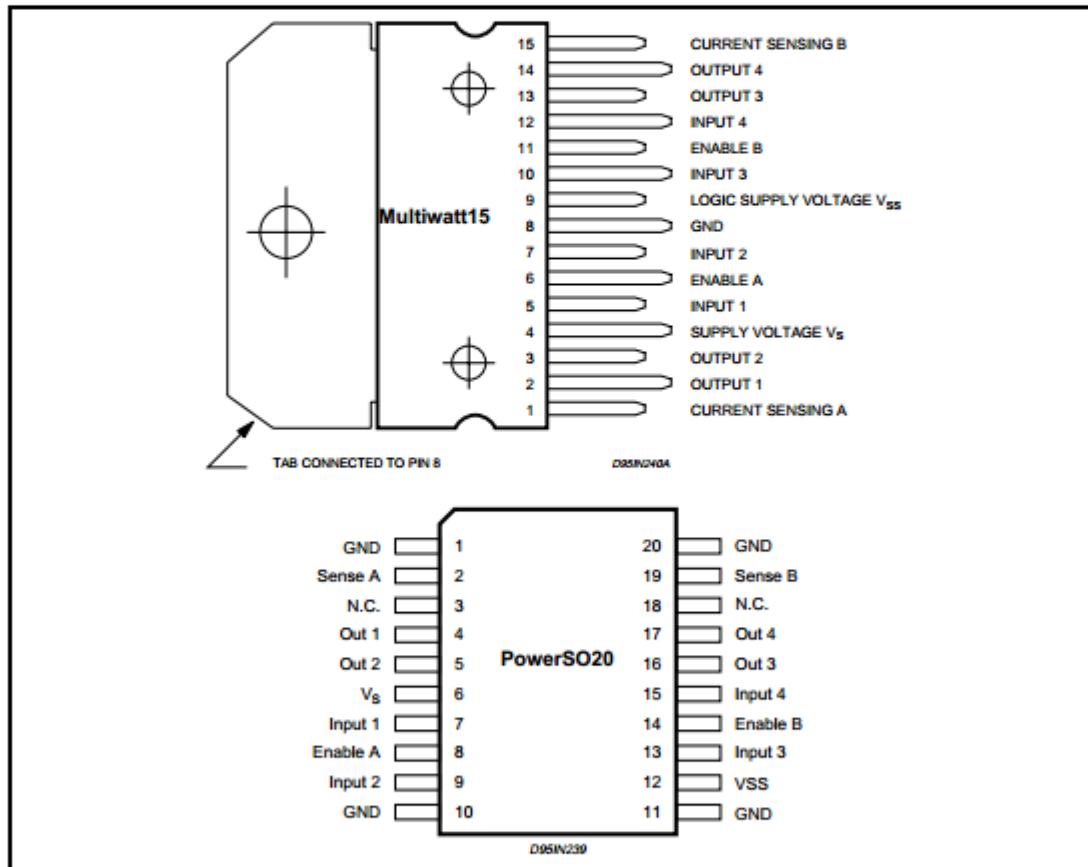


L298

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	Value	Unit
V_S	Power Supply	50	V
V_{SS}	Logic Supply Voltage	7	V
V_I, V_{EN}	Input and Enable Voltage	-0.3 to 7	V
I_O	Peak Output Current (each Channel)		
	- Non Repetitive ($t = 100\mu s$)	3	A
	- Repetitive (80% on -20% off; $t_{on} = 10ms$)	2.5	A
	- DC Operation	2	A
V_{sens}	Sensing Voltage	-1 to 2.3	V
P_{tot}	Total Power Dissipation ($T_{case} = 75^\circ C$)	25	W
T_{op}	Junction Operating Temperature	-25 to 130	$^\circ C$
T_{stg}, T_J	Storage and Junction Temperature	-40 to 150	$^\circ C$

PIN CONNECTIONS (top view)



THERMAL DATA

Symbol	Parameter	PowerSO20	Multiwatt15	Unit
$R_{th-jcase}$	Thermal Resistance Junction-case	Max. -	3	$^\circ C/W$
$R_{th-jamb}$	Thermal Resistance Junction-ambient	Max. 13 (*)	35	$^\circ C/W$

(*) Mounted on aluminum substrate

PIN FUNCTIONS (refer to the block diagram)

MW.15	PowerSO	Name	Function
1;15	2;19	Sense A; Sense B	Between this pin and ground is connected the sense resistor to control the current of the load.
2;3	4;5	Out 1; Out 2	Outputs of the Bridge A; the current that flows through the load connected between these two pins is monitored at pin 1.
4	6	V _s	Supply Voltage for the Power Output Stages. A non-inductive 100nF capacitor must be connected between this pin and ground.
5;7	7;9	Input 1; Input 2	TTL Compatible Inputs of the Bridge A.
6;11	8;14	Enable A; Enable B	TTL Compatible Enable Input: the L state disables the bridge A (enable A) and/or the bridge B (enable B).
8	1,10,11,20	GND	Ground.
9	12	VSS	Supply Voltage for the Logic Blocks. A 100nF capacitor must be connected between this pin and ground.
10; 12	13;15	Input 3; Input 4	TTL Compatible Inputs of the Bridge B.
13; 14	16;17	Out 3; Out 4	Outputs of the Bridge B. The current that flows through the load connected between these two pins is monitored at pin 15.
–	3;18	N.C.	Not Connected

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (V_s = 42V; V_{SS} = 5V, T_j = 25°C; unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V _s	Supply Voltage (pin 4)	Operative Condition	V _{IH} +2.5		46	V
V _{SS}	Logic Supply Voltage (pin 9)		4.5	5	7	V
I _s	Quiescent Supply Current (pin 4)	V _{en} = H; I _L = 0 V _I = L V _I = H		13 50	22 70	mA mA
		V _{en} = L V _I = X			4	mA
I _{SS}	Quiescent Current from V _{SS} (pin 9)	V _{en} = H; I _L = 0 V _I = L V _I = H		24 7	36 12	mA mA
		V _{en} = L V _I = X			6	mA
V _{IL}	Input Low Voltage (pins 5, 7, 10, 12)		–0.3		1.5	V
V _{IH}	Input High Voltage (pins 5, 7, 10, 12)		2.3		V _{SS}	V
I _{IL}	Low Voltage Input Current (pins 5, 7, 10, 12)	V _I = L			–10	μA
I _{IH}	High Voltage Input Current (pins 5, 7, 10, 12)	V _I = H ≤ V _{SS} –0.6V		30	100	μA
V _{en} = L	Enable Low Voltage (pins 6, 11)		–0.3		1.5	V
V _{en} = H	Enable High Voltage (pins 6, 11)		2.3		V _{SS}	V
I _{en} = L	Low Voltage Enable Current (pins 6, 11)	V _{en} = L			–10	μA
I _{en} = H	High Voltage Enable Current (pins 6, 11)	V _{en} = H ≤ V _{SS} –0.6V		30	100	μA
V _{CEsat} (H)	Source Saturation Voltage	I _L = 1A I _L = 2A	0.95	1.35 2	1.7 2.7	V V
V _{CEsat} (L)	Sink Saturation Voltage	I _L = 1A (5) I _L = 2A (5)	0.85	1.2 1.7	1.6 2.3	V V
V _{CEsat}	Total Drop	I _L = 1A (5) I _L = 2A (5)	1.80		3.2 4.9	V V
V _{sens}	Sensing Voltage (pins 1, 15)		–1 (1)		2	V

L298

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (continued)

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
$T_1 (V_i)$	Source Current Turn-off Delay	$0.5 V_i$ to $0.9 I_L$ (2); (4)		1.5		μs
$T_2 (V_i)$	Source Current Fall Time	$0.9 I_L$ to $0.1 I_L$ (2); (4)		0.2		μs
$T_3 (V_i)$	Source Current Turn-on Delay	$0.5 V_i$ to $0.1 I_L$ (2); (4)		2		μs
$T_4 (V_i)$	Source Current Rise Time	$0.1 I_L$ to $0.9 I_L$ (2); (4)		0.7		μs
$T_5 (V_i)$	Sink Current Turn-off Delay	$0.5 V_i$ to $0.9 I_L$ (3); (4)		0.7		μs
$T_6 (V_i)$	Sink Current Fall Time	$0.9 I_L$ to $0.1 I_L$ (3); (4)		0.25		μs
$T_7 (V_i)$	Sink Current Turn-on Delay	$0.5 V_i$ to $0.9 I_L$ (3); (4)		1.6		μs
$T_8 (V_i)$	Sink Current Rise Time	$0.1 I_L$ to $0.9 I_L$ (3); (4)		0.2		μs
$f_c (V_i)$	Commutation Frequency	$I_L = 2A$		25	40	KHz
$T_1 (V_{en})$	Source Current Turn-off Delay	$0.5 V_{en}$ to $0.9 I_L$ (2); (4)		3		μs
$T_2 (V_{en})$	Source Current Fall Time	$0.9 I_L$ to $0.1 I_L$ (2); (4)		1		μs
$T_3 (V_{en})$	Source Current Turn-on Delay	$0.5 V_{en}$ to $0.1 I_L$ (2); (4)		0.3		μs
$T_4 (V_{en})$	Source Current Rise Time	$0.1 I_L$ to $0.9 I_L$ (2); (4)		0.4		μs
$T_5 (V_{en})$	Sink Current Turn-off Delay	$0.5 V_{en}$ to $0.9 I_L$ (3); (4)		2.2		μs
$T_6 (V_{en})$	Sink Current Fall Time	$0.9 I_L$ to $0.1 I_L$ (3); (4)		0.35		μs
$T_7 (V_{en})$	Sink Current Turn-on Delay	$0.5 V_{en}$ to $0.9 I_L$ (3); (4)		0.25		μs
$T_8 (V_{en})$	Sink Current Rise Time	$0.1 I_L$ to $0.9 I_L$ (3); (4)		0.1		μs

1) Sensing voltage can be $-1V$ for $t \leq 50 \mu s$; in steady state $V_{SEN} \min \geq -0.5V$.

2) See fig. 2.

3) See fig. 4.

4) The load must be a pure resistor.

Figure 1 : Typical Saturation Voltage vs. Output Current.

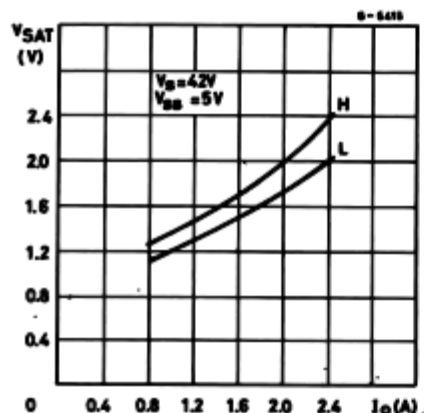
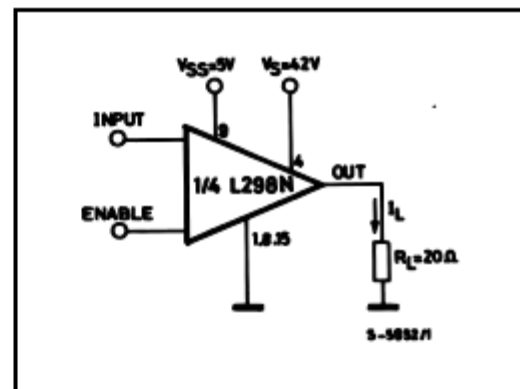


Figure 2 : Switching Times Test Circuits.



Note : For INPUT Switching, set EN = H
For ENABLE Switching, set IN = H

Figure 9 : Suggested Printed Circuit Board Layout for the Circuit of fig. 8 (1:1 scale).

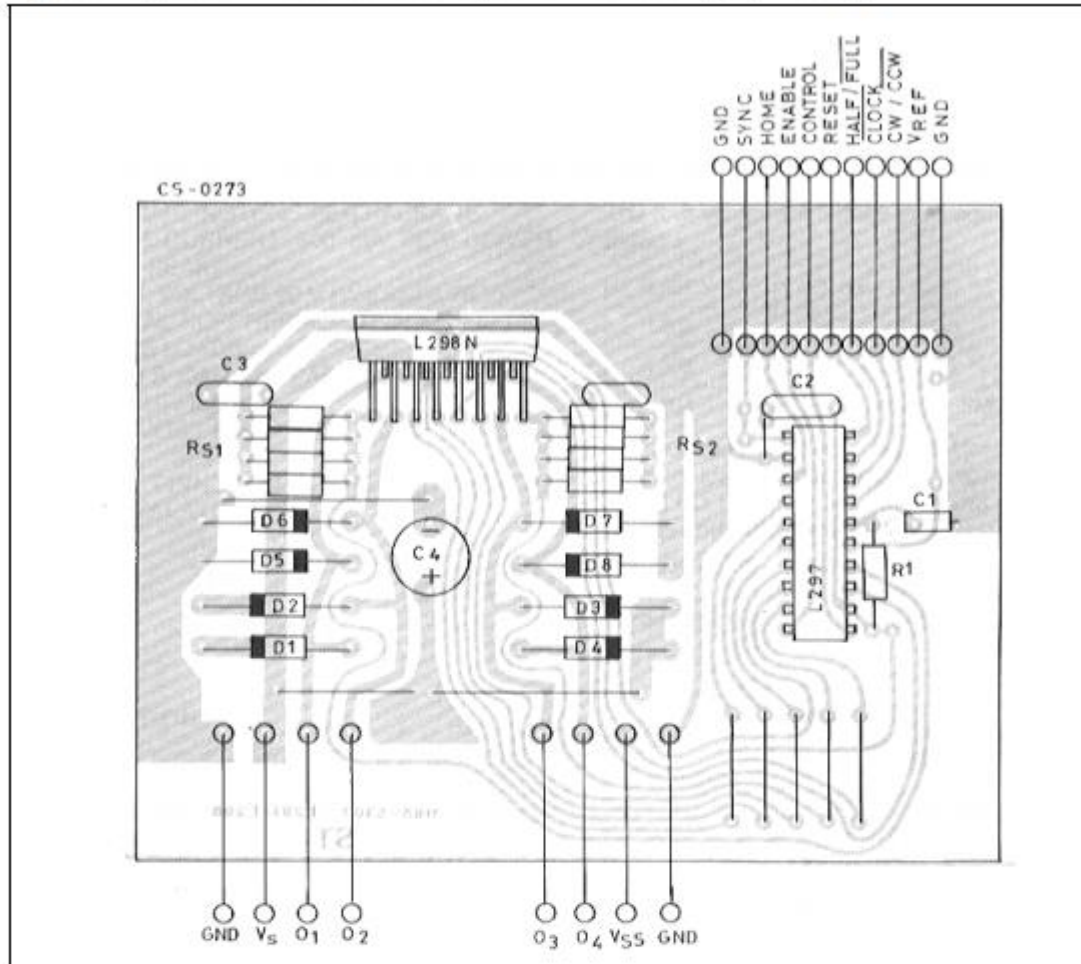
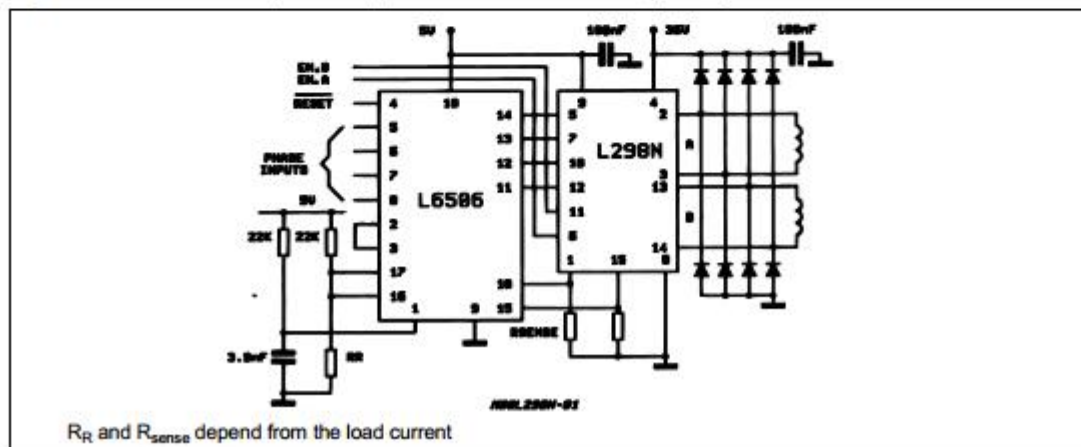


Figure 10 : Two Phase Bipolar Stepper Motor Control Circuit by Using the Current Controller L6506.

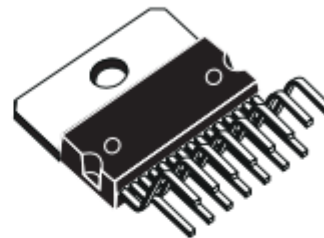


R_R and R_{sense} depend from the load current

L298

DIM.	mm			inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
A			5			0.197
B			2.65			0.104
C			1.6			0.063
D		1			0.039	
E	0.49		0.55	0.019		0.022
F	0.66		0.75	0.026		0.030
G	1.02	1.27	1.52	0.040	0.050	0.060
G1	17.53	17.78	18.03	0.690	0.700	0.710
H1	19.6			0.772		
H2			20.2			0.795
L	21.9	22.2	22.5	0.862	0.874	0.886
L1	21.7	22.1	22.5	0.854	0.870	0.886
L2	17.65		18.1	0.695		0.713
L3	17.25	17.5	17.75	0.679	0.689	0.699
L4	10.3	10.7	10.9	0.406	0.421	0.429
L7	2.65		2.9	0.104		0.114
M	4.25	4.55	4.85	0.167	0.179	0.191
M1	4.63	5.08	5.53	0.182	0.200	0.218
S	1.9		2.6	0.075		0.102
S1	1.9		2.6	0.075		0.102
Dia1	3.65		3.85	0.144		0.152

OUTLINE AND MECHANICAL DATA



Multiwatt15 V

