



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



MODUL LATIH PID PADA PUTARAN MOTOR DC

TUGAS AKHIR

Abdul Aziz Hanif Akmaludin

1803321044

POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA

PROGRAM STUDI ELEKTRONIKA INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
POLITEKNIK NEGERI JAKARTA

2021



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



DESAIN MODUL LATIH KENDALI PID PADA PUTARAN MOTOR DC BERBASIS MIKROKONTROLLER ARDUINO

TUGAS AKHIR

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Diploma Tiga

Abdul Aziz Hanif Akmaludin

1803321044

PROGRAM STUDI ELEKTRONIKA INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
POLITEKNIK NEGERI JAKARTA
2021

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Tugas Akhir ini adalah hasil karya saya sendiri dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Abdul Aziz Hanif Akmaludin

NIM : 1803321044

Tanda Tangan :



Tanggal : 6 Agustus 2021

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

LEMBAR PENGESAHAN
TUGAS AKHIR

Tugas Akhir ini diajukan oleh :

Nama : Abdul Aziz Hanif Akmaludin
NIM : 1803321044
Program Studi : Elektronika Industri
Judul : Modul Latih Kendali PID pada Putaran Motor DC
Sub Judul Tugas : Desain modul latih Kendali PID pada Putaran Motor DC berbasis Mikrokontroler Arduino

Telah diuji oleh tim penguji dalam Sidang Tugas Akhir pada dan dinyatakan **LULUS**.

Pembimbing : Nana Sutarna, ST. MT. Ph.D
NIP. 197007122001121001

()

Depok, 26 Agustus 2021

Disahkan oleh

Kapala Jurusan Teknik Elektro



Ir. Sri Danaryani, M.T.

NIP. 196305031991032001



KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Penulisan Tugas Akhir ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Diploma Tiga Politeknik.

Tugas akhir ini membahas mengimplementasikan kendali PID pada motor dc sebagai modul latihan untuk solusi mata kuliah Teknik kendali berbasis komputer.

Penulis menyadari bahwa, dengan pertolongan Allah SWT dan bantuan juga bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan tugas akhir ini, penulis bisa menyelesaikan tugas akhir ini. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Nuralam, M.T selaku Ketua Program Studi Elektronika Industri yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mendukung dan membimbing mahasiswanya dalam penyusunan tugas akhir ini.
2. Drs. Nana Sutarna, ST. MT. Ph.D, selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk membimbing penulis dalam penyusunan laporan tugas akhir ini.
3. Orang tua dan keluarga penulis yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral.
4. Teman-teman di Program Studi Elektronika Industri Angkatan 2018, khususnya kelas EC6A yang telah memberikan dukungan semangat, moral, serta doa sehingga laporan tugas akhir ini dapat terselesaikan.

Akhir kata, penulis berharap Allah Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga laporan tugas akhir ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, 6 Agustus 2021

Penulis

Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Desain modul latih Kendali PID pada Putaran Motor DC berbasis Mikrokontroller Arduino

Abstrak

Pada mata kuliah Teknik Pengendalian Berbasis Komputer pada program studi Teknik Elektronika Industri belum ada modul atau laboratorium yang menyajikan sistem pembelajaran PID (Propotional Integral Derivative) sebagai media ajar. Selama ini media pembelajaran yang digunakan dalam proses pembelajaran masih bersifat konvensional dan masih menggunakan software simulasi matlab. Untuk mempermudah pemahaman konsep PID (Proportional, Integral, Derivative) maka perlu dibuatkan sebuah modul latih. Hardware pada Modul ini terdiri dari mikrokontroller Arduino Nano sebagai pemroses data, Driver motor sebagai pengirim sinyal ke motor dc, motor DC sebagai plant, dan Rotary Encoder sebagai sensor feedback. hasil data ditampilkan pada serial monitor pada arduino lalu dipindahkan ke software matlab untuk dianalisis data. Tujuan dari Modul latih PID ini agar mahasiswa dapat mengimplementasikan langsung kontrol PID ini pada motor DC bagaimana pengaruh parameter control Proposional Integral Derivatif pada tanggapan transien suatu sistem. Baik buruknya, stabil tidaknya system kendali dapat dilihat dari nilai tanggapan transient yang berupa Steady state error, Rise time, Settling time, dan Overshoot.

Kata kunci: *PID, Motor DC, Modul Latih, dan Tanggapan Transien.*

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



PID Control training module design on Arduino Microcontroller-based DC Motor Rotation

Abstract

In the Computer-Based Control Engineering course in the Industrial Electronics Engineering study program, there is no module or laboratory that presents the PID (Propositional Integral Derivative) learning system as a teaching medium. So far, the learning media used in the learning process are still conventional and still use Matlab simulation software. To make it easier to understand the concept of PID (Proportional, Integral, Derivative) it is necessary to make a training module. The hardware in this module consists of an Arduino Nano microcontroller as a data processor, a motor driver as a signal sender to a dc motor, a DC motor as a plant, and a Rotary Encoder as a feedback sensor. The results of the data are displayed on the serial monitor on the Arduino and then transferred to the Matlab software for data analysis. The purpose of this PID training module is for students to be able to directly implement this PID control on a DC motor, how does the Proportional Integral Derivative control parameter affect the transient response of a system. Good or bad, whether or not the control system is stable can be seen from the value of the transient response in the form of Steady state error, Rise time, Settling time, and Overshoot.

Keywords: *PID, DC Motor, Training Module, and Response Transien.*

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN SAMPUL.....	i
HALAMAN JUDUL.....	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
KATA PENGANTAR	v
ABSTRAK.....	vi
<i>ABSTRACT</i>	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL.....	ix
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Perumusan Masalah.....	2
1.3. Tujuan.....	2
1.4. Luaran.....	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	3
2.1 Mikrokontroler Arduino Nano.....	3
2.2 Motor Driver BTS7960.....	4
2.3 Pemrograman dengan Arduino IDE.....	4
2.4 Kontrol PID.....	5
2.5 Motor DC.....	6
2.6 Rotary Encoder.....	7
BAB III PERENCANAAN DAN REALISASI.....	8
3.1 Rancangan Alat.....	8
3.1.1. Deskripsi Sistem.....	8
3.1.2. Cara Kerja Alat.....	9
3.1.3. Spesifikasi Fisik.....	9
3.1.4. Blok Diagram.....	10
3.1.5. Flowchart Sistem.....	11
3.2 Realisasi Alat.....	12



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

3.2.1. Instalasi Wiring Diagram Model.....	12
3.2.2. Pemrograman Sistem Model di Arduino.....	13
3.2.3. Perhitungan RPM.....	16
3.2.4. Penentuan Tranfer function.....	16
3.2.5. Metode Tuning PID.....	17
BAB IV PEMBAHASAN.....	20
4.1 Pengujian Kontrol Kendali P,PI,PD,PID.....	20
4.1.1 Deskripsi Pengujian.....	20
4.1.2 Prosedur Pengujian.....	20
4.1.3 Data Hasil Pengujian.....	21
4.1.4 Evaluasi Pengujian.....	23
4.2 Pengujian Kontrol PID dengan Perubahan Setpoint.....	24
4.2.1 Deskripsi Pengujian.....	24
4.2.2 Prosedur Pengujian.....	24
4.2.3 Data Hasil Pengujian.....	25
4.2.4 Evaluasi Pengujian.....	26
4.3 Pengujian Akurasi Sensor Rotary pada Putaran Motor DC dengan Tachometer.....	27
4.3.1 Deskripsi Pengujian.....	27
4.3.2 Prosedur Pengujian.....	27
4.3.3 Data Hasil Pengujian.....	28
4.3.4 Evaluasi Pengujian.....	28
BAB V PENUTUP.....	29
DAFTAR PUSTAKA.....	30



- Hak Cipta :**
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Arduino Nano.....	3
Gambar 2.2 Driver Motor BTS7960.....	4
Gambar 2.3 Interface Arduino IDE.....	5
Gambar 2.4 Sistem Close Loop Kendali PID.....	5
Gambar 2.5 Respon Sistem.....	6
Gambar 2.6 Motor DC PG28.....	7
Gambar 2.7 Rotary Encoder.....	7
Gambar 3.1 Blok Diagram.....	10
Gambar 3.2 Flowchart Modul Latih PID.....	12
Gambar 3.3 Rangkaian Skematik Modul Latih PID.....	13
Gambar 3.4 Tampilan Utama Software Arduino IDE.....	14
Gambar 3.5 Pengetikan Program system.....	14
Gambar 3.6 Tampilan Menu Board Arduino Nano.....	15
Gambar 3.7 Tampilan serial port Arduino Nano.....	15
Gambar 3.8 Tampilan Upload Program Arduino IDE.....	16
Gambar 3.9 Tampilan Serial Plotter Arduino IDE.....	16
Gambar 3.10 Pengambilan data untuk hitung RPM.....	17
Gambar 3.11 Menentukan Transfer Function pada Matlab.....	19
Gambar 4.1 Pengujian kontrol Proporsional.....	21
Gambar 4.2 Pengujian kontrol Proporsional Integral.....	22
Gambar 4.3 Pengujian kontrol Proporsional Derivatif	22
Gambar 4.4 Pengujian kontrol Proporsional Integral Derivatif.....	23
Gambar 4.5 Pengujian setiap perubahan setpoint.....	25

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Spesifikasi Arduino Nano.....	3
Tabel 3.1. Spesifikasi Komponen.....	10
Tabel 3.2 Parameter Motor DC PG28.....	18
Tabel 4.1 Daftar Alat dan Bahan Pengujian.....	20
Tabel 4.2 Hasil Respon kontrol Proporsional.....	21
Tabel 4.3 Hasil Respon kontrol Proporsional Integral.....	22



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Tabel 4.4 Hasil Respon kontrol Proporsional Derivatif.....	22
Tabel 4.5 Hasil Respon kontrol Proporsional Integral Derivatif.....	23
Tabel 4.6 Daftar Alat dan Bahan Pengujian.....	25
Tabel 4.7 Hasil Pengujian Perubahan setpoint.....	26
Tabel 4.8 Daftar Alat dan Bahan Pengujian.....	27
Tabel 4.9 Hasil pengukuran akurasi putaran motor DC.....	28

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Riwayat Hidup	L-1
Lampiran 2. Foto Alat	L-2
Lampiran 3. Kode Program Modul Latih	L-3
Lampiran 4. Jobsheet Modul Latih Kendali PID	L-7
Lampiran 5. Datasheet Motor DC PG28	L-44
Lampiran 6. Datasheet Motor Driver BTS7960	L-48

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



- Hak Cipta :**
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
 2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada mata kuliah Teknik Pengendalian Berbasis Komputer pada program studi Teknik Elektronika Industri belum ada modul atau laboratorium yang menyajikan sistem pembelajaran PID (*Propotional Integral Derivative*) sebagai media ajar. Selama ini media pembelajaran yang digunakan dalam proses pembelajaran praktikum mata kuliah Teknik Pengendalian Berbasis Komputer masih bersifat konvensional dan masih menggunakan software simulasi matlab. Hal ini tentu membuat proses pembelajaran menjadi kurang efektif, efisien, dan mengurangi pengalaman belajar peserta didik. Pada perhitungan model matematika yang kompleks membuat mata kuliah sistem kendali justru menjadi momok yang menakutkan bagi sebagian besar mahasiswa teknik elektro maupun elektronika. Padahal sebagai ilmuwan maupun praktisi dibidang kendali, tidak akan terlepas dari pengetahuan otomasi industri (Gilap Asa, Priyambodo, & Subandi, 2016). Tanpa ada materi praktik, mahasiswa kurang memahami aplikasi dari matakuliah tersebut.

Untuk mempermudah pemahaman konsep PID (Proportional, Integral, Derivative) maka perlu dibuatkan sebuah modul latih. Modul latih kontrol PID memberikan gambaran tentang pengertian, *set-point*, *error variable*, dan *transient responses* dalam sebuah *plant*. *Plant* yang dimaksud adalah sebuah motor DC. Pada sistem control PID, pemodelan matematika plant adalah sangat diperlukan. Karena itu penurunan model matematika plant akan membantu mahasiswa dalam memahami proses analisis sinyal transient. (Rifai & Gilap Asa, 2014)

Terkait penjelasan tentang pemahaman system control dalam aplikasi diatas, maka proyek tugas akhir ini focus pada pembuatan alat bantu peraga. *Plant* yang digunakan adalah sebuah motor DC yang diberi control PID. Pengendali untuk membuat system control PID menggunakan mikrokontroler Arduino. Pengaturan nilai parameter input dan respon output akan ditampilkan dalam PC dengan bantuan program Bahasa C. Tipe atau jenis pengendali yang akan dibuat meliputi



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

pengendalai P (Proporsional), PI (Proporsional Integral), PD (Proporsional Derivative), dan PID (Proporsional Integral Derivatif).

1.2 Perumusan Masalah

1. Rancang bangun modul latih PID
2. Instalasi encoder, mikrokontroller dan motor DC pada tempatnya
3. Desain Casing alat
4. Uji coba alat

1.3 Tujuan

1. Merancang Kendali Kecepatan Motor DC menggunakan Metode kontrol Proporsional Integral Derivative (PID)
2. Mengimplementasikan pengendalian PID untuk kendali kecepatan motor DC
3. Merealisasikan kontrol kecepatan motor dengan metode kendali PID

1.4 Luaran

- a. Bagi Lembaga Pendidikan
 - Modul Pembelajaran kontrol kendali PID
- b. Bagi mahasiswa
 - Laporan Tugas Akhir
 - *Draft*/Artikel Ilmiah
 - Hak cipta desain alat

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB V

PENUTUP

Berdasarkan pembuatan desain modul latihan kendali PID pada putaran motor DC dan pengujian yang telah dilakukan bahwa, motor DC dapat diimplementasi dengan Kendali Proporsional Integral Derivatif (PID) dengan mengendalikan kecepatan putarannya. Putaran motor DC memiliki akurasi yang sangat bagus yaitu 99,19% dengan nilai RPM aslinya. Selain itu sistem dapat menampilkan respon sistem yang sesuai dengan output putaran motor aslinya. Secara keseluruhan sesuai dengan tujuan yaitu kecepatan putaran motor DC dapat diimplementasikan dengan kendali Proporsional Integral Derivatif (PID) dan dapat dijadikan sebagai modul latihan kendali PID dengan menampilkan respon sistem pada Arduino IDE.



POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA



DAFTAR PUSTAKA

- Gilap Asa, P. S., Priyambodo, S., & Subandi. (2016). Sistem Pembelajaran Kontrol PID (Proposional Integral Derivatif) Pada Pengaturan Kecepatan Motor DC. *Jurnal Elektrikal*, 72-77.
- Anggraini, S. F., Ma'arif, A., & Puriyanto, R. D. (2020, November). Pengendali PID pada Motor DC dan Tuning Menggunakan Metode Differential Evolution. *TELKA*, 147-159.
- Fahmizal, Fathuddin, F., & Susanto, R. (2018). Identifikasi Sistem Motor DC dan Kendali Linear Quadratic Regulator Berbasis Arduino-Simulink Matlab. *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, 299-306.
- Iksal, Suherman, & Sumiati. (2018, November). Perancangan Sistem Kendali Otomatisasi On-Off Lampu Berbasis Arduino dan Borland Delphi. *Seminar Nasional Rekayasa Teknologi Informasi*, hal. 117-123.
- Janwar Wiriawan, A. R., & Irawan, A. (2016). Pengaturan Kecepatan Motor DC dengan Kontrol Proporsional Integral Derivatif (PID) Berbasis LabView. *TELEKONTRAN*, 13-24.
- Rasyid, S., Putra, M. S., Hasan, Y., Al Rashid, J., & Husni, N. L. (2019). Pengaplikasian Sensor Warna pada Navigasi Line Traking Robot Sampah Berbasis Mikrokontroller. *JURNAL AMPERE*, 297-306.
- Rifai, I. N., & Gilap Asa, P. S. (2014). Penerapan Algoritma Kendali Proporsional Integral. *Prosiding SENTIA* (hal. A-37-A-41). Malang: Politeknik Negeri Malang.
- Rosalina, Qosim, I., & Mujirudin, N. (2017). Analisis Pengaturan Kecepatan Motor DC Menggunakan Kontrol PID (Proportional Integral Derivative). (hal. E-89 - E-94). Seminar Nasional Teknoka.
- Suari, S. (2017). Pemanfaatan Arduino nano dalam Perancangan Media Pembelajaran Fisika. *NATURAL SCIENCE JOURNAL*, 474-480.
- Supriyo, B., Kuntardjo, S. B., & Sihono. (2017). Alat Peraga Kendali Pemanas Udara Berbasis Arduino Uno Sebagai Penunjang Praktikum Laboratorium Kendali Politeknik Negeri. *Jurnal Sains dan Teknologi*, 1-14.
- Usmardi, Zulfikar, & Akhyar. (2017). Implementasi Sistem Kendali Kecepatan Motor DC Dengan Metode PID Berbasis Mikrokontroller Atmega 8535. *Jurnal LITEK*, 18-23.
- Wayulo, Fitriansyah, A., & Syahrial. (2013). Analisis Penalaan Kontrol PID pada Simulasi Kendali Kecepatan Putaran Motor DC Berbeban menggunakan Metode Heuristik. *Elkomika*, 79-92.

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



LAMPIRAN 1

DAFTAR RIWAYAT HIDUP PENULIS



Abdul Aziz Hanif Akmaludin

Lahir di Bekasi, 18 Januari 2000. Lulus dari SDI Al Azhar 12 Cikarang tahun 2012, SMPIT Al Binaa Islamic Boarding School Bekasi tahun 2015, dan SMAIT Al Binaa Islamic Boarding School Bekasi tahun 2018. Gelar Diploma Tiga (D3) diperoleh pada tahun 2021 dari Jurusan Teknik Elektro, Program Studi Elektronika Industri, Politeknik Negeri Jakarta).

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

LAMPIRAN 2



Gambar L.1 Tampak depan alat



Gambar L.2 Tampak samping alat



Gambar L.3 Tampak belakang alat



Gambar L.4 Tampak dalam keseluruhan alat

POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

LAMPIRAN 3

Program Kontrol Kendali PID pada putaran Motor DC

```

/* inisiasi Pin */

#define PWM 9 // PWM
#define IN2 10 // MotorA
#define IN1 11 // MotorA
#define HALLSEN_A 3
#define ENCODER_CONSTANT 2

int interval = 60;
int motorSpeed = 0;
long previousMillis = 0;
long currentMillis = 0;
float elapsedMillis = 0;
float dt = 0.01;

/* inisiasi Jenis Tipe Data */

int data = 0;

int rpm = 0;

int motorPwm = 0;

int encoderValue = 0;

```

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

```

int error=0;

int last_error = 0;

int SampleTime;

float integral;

float derivative;

unsigned long lastTime;

//double ITerm, lastInput;

/* konstanta Nilai PID */

float kp = 0.3;

float ki = 0.3;

float kd = 0.2;

int sp= 150;

void setup() {

  Serial.begin(115200);

  pinMode(PWM,OUTPUT);

  pinMode(IN1,OUTPUT);

  pinMode(IN2,OUTPUT);

  digitalWrite(IN1, LOW);

  digitalWrite(IN2, HIGH);

  // encoderValue = 0;

  attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(HALLSEN_A),updateEncoder,RISING);

```

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```

previousMillis = millis();
}

void loop() {
  while((data<=100))
  {
    currentMillis = millis();
    if (currentMillis - previousMillis > interval)
    {
      /* Hitung RPM */
      rpm = (float)(encoderValue*2.73); // Kalkulasi kecepatan motor DC (RPM)
      previousMillis = currentMillis;

      /* Menampilkan Data Pada Serial Monitor */
      Serial.print(sp);
      Serial.print(",");
      Serial.println(rpm);

      /*Rumus PID */

      error = sp - rpm;           // error

      integral += error;         // integral

      derivative = (error - last_error); // Derivative

      motorSpeed = ((kp*error) + (ki*integral) + (kd*(derivative))); //Penambahan
Rumus PID

```




© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```

/* Kontrol Motor DC */

if (motorSpeed > 255) motorSpeed = 255;

else if(motorSpeed < 0) motorSpeed = 0;

analogWrite(PWM, motorSpeed);

last_error = error;

encoderValue = 0;

data++;
}

analogWrite(PWM,motorSpeed);
}

analogWrite(PWM, 0);
}

/* Void perintah untuk Menambah Nilai Encoder */
void updateEncoder(){
encoderValue++;
}

```

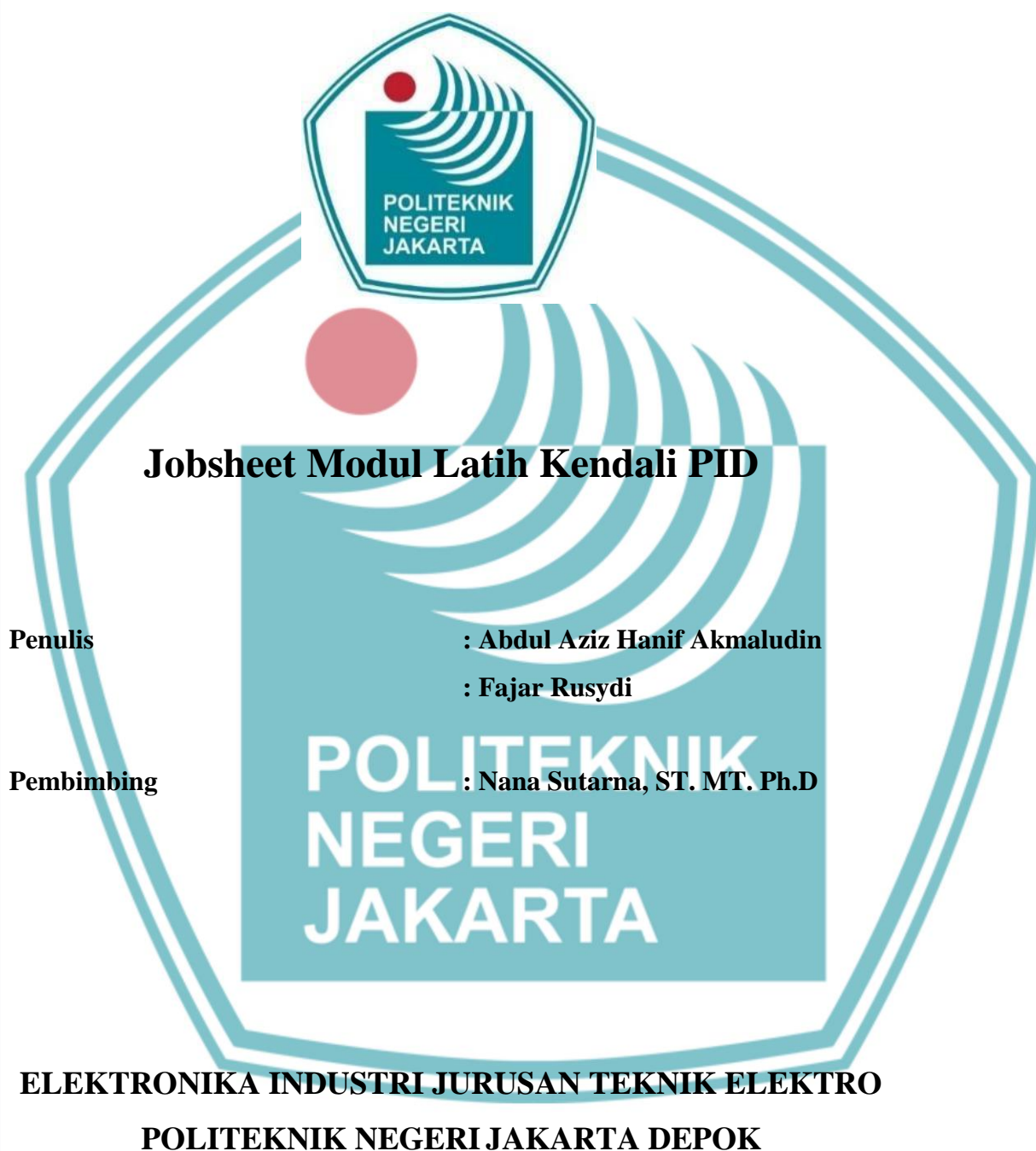


© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

LAMPIRAN 4

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



2021

Daftar Isi

Sampul
Daftar isi
Dasar Teori
Lembar Kerja Kendali PID
Jobsheet 1 Pengujian Akurasi putaran motor
Jobsheet 2 Kontrol Proporsional
Jobsheet 3 Kontrol Proporsional Integral
Jobsheet 4 Kontrol Proporsional Derivatif
Jobsheet 5 Kontrol Proporsional Integral Derivatif

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

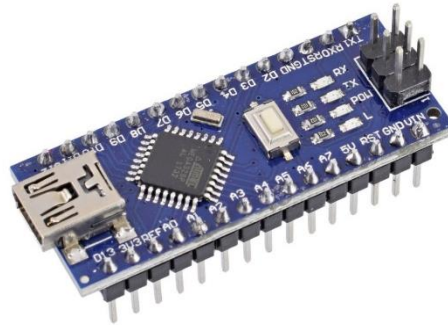
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta





Dasar Teori

1. Mikrokontroller Arduino Nano dan Pinoutnya



Gambar 1.1. Arduino Nano

Arduino Nano adalah papan pengembangan (development board) mikrokontroler yang berbasis chip ATmega328P dengan bentuk yang sangat mungil. Arduino ini tidak mempunyai jack power DC dan pemrogramannya menggunakan konektor USB mini tipe B. Arduino ini memiliki 14 pin i/o digital. (Suharmen, 2017). Pemrograman board Arduino Nano dilakukan dengan menggunakan Arduino Software (IDE) dengan menghubungkan Arduino dengan kabel USB ke Pc/laptop.

Spesifikasi Arduino Nano :

Model	Arduino Nano v3
Operating Voltage	5VDC
Input Voltage	7-12VDC
Analog Input Pins	8 Pins
Koneksi	Mini USB
PWM Output	9
DC Current per I/O Pin	40 mA
Flash Memory	32 KB
SRAM	2 KB
EEPROM	1 KB
Clock Speed	16 MHZ
Ukuran PCB	18 x 45 mm

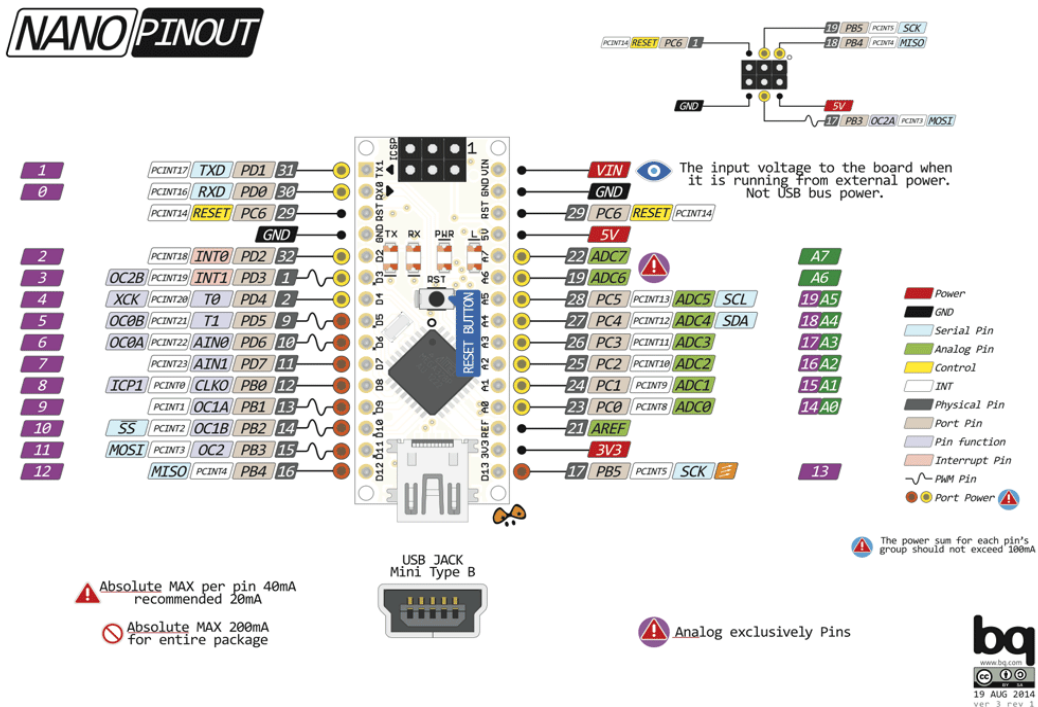
Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



- Hak Cipta :**
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
 2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Berikut Pinout dari Mikrokontroler Arduino Nano



Gambar 1.2. Pinout Arduino Nano

2. Motor Arus Searah (DC)

Motor DC adalah motor yang menggunakan sumber listriknya arus searah (DC). Dimana motor ini memiliki 2 bagian terpenting. Bagian pertama adalah stator, yaitu bagian yang tidak berputar dan bagian kedua adalah rotor, yaitu bagian yang berputar. Di rotor inilah, poros diletakan. Diujung poros dapat dipasang objek puli/kumparan yang dapat diputar oleh arus searah (DC) ini.

Motor DC bekerja berdasarkan prinsip gaya elektromagnetik sehingga apabila motor tersebut diberi catu daya, arus akan mengalir ke dalam motor kemudian menghasilkan torsi putar yang sebanding dengan arus tersebut. Pemodelan Rangkaian internal Motor DC secara sederhana dan analisisnya adalah sebagai berikut:



Gambar 1.2 Motor DC PG28

Persamaan torsi yang dibangkitkan oleh Motor DC dapat didekati secara linear menurut persamaan berikut ini:

$$T = K_a i$$

dimana K_a adalah konstanta jangkar motor yang bergantung pada banyaknya lilitan pada jangkar, jumlah kutub medan, tipe belitan dan penampang jangkarnya. Adapun besarnya tegangan ggl induksi lawan yang dibangkitkan motor ketika berputar adalah sebanding dengan konstanta motor K_b dan kecepatan sudut putaran motor $\dot{\theta}$ atau turunan pertama dari posisi sudut motor (θ):

$$e = K_e \dot{\theta}$$

Dengan menggunakan hukum newton, bahwa persamaan torsi yang terkait dengan momen inersia dan rasio redaman dari motor adalah

$$T = J\ddot{\theta} + b\dot{\theta}$$

dari persamaan (1) dan (3) diperoleh:

$$i = \frac{J\ddot{\theta} + b\dot{\theta}}{K_a}$$

Sedangkan besarnya tegangan V menurut hukum kirchoff adalah:

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta


Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

$$V = iR + L \frac{di}{dt} + e$$

$$V = iR + L \frac{di}{dt} + K_b \theta$$

Dengan me-laplace-kan persamaan (4) dan (6) dan mensubstitusikannya, maka diperoleh fungsi transfer antara posisi sudut motor q terhadap tegangan armature V dimana $K_a = K_b$

$$\frac{\theta(s)}{V(s)} = \frac{K}{s(Js + b)(Ls + R) + K^2}$$

Persamaan (7) diatas memiliki 5 konstanta yang belum diketahui. Nilai-nilai tersebut pada dasarnya bisa diperoleh dari percobaan identifikasi plant. Pada praktikum saat ini tidak melakukan proses identifikasi tersebut. Tetapi langsung menggunakan konstanta yang biasa dipakai dalam analisis motor DC. Adapun konstanta tersebut adalah sebagai berikut:

- moment inertia rotor (J) = $0.1 \text{ kg} \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$
- damping ratio of the mechanical system (b) = 0.01 Ns/m
- Konstanta EMF (k) = $0,01 \text{ V/rad/s}$
- electromotive force constant ($K = K_b = K_a$) = 0.01 Nm/Amp
- electric resistance (R) = 1 ohm
- electric inductance (L) = 0.5 H

sehingga diperoleh fungsi transfer sebagai berikut:

$$\frac{\theta(s)}{V(s)} = \frac{0.01}{0.005s^2 + 0.06s^2 + 0.1001}$$

3. Pulse Width Modulation (PWM)

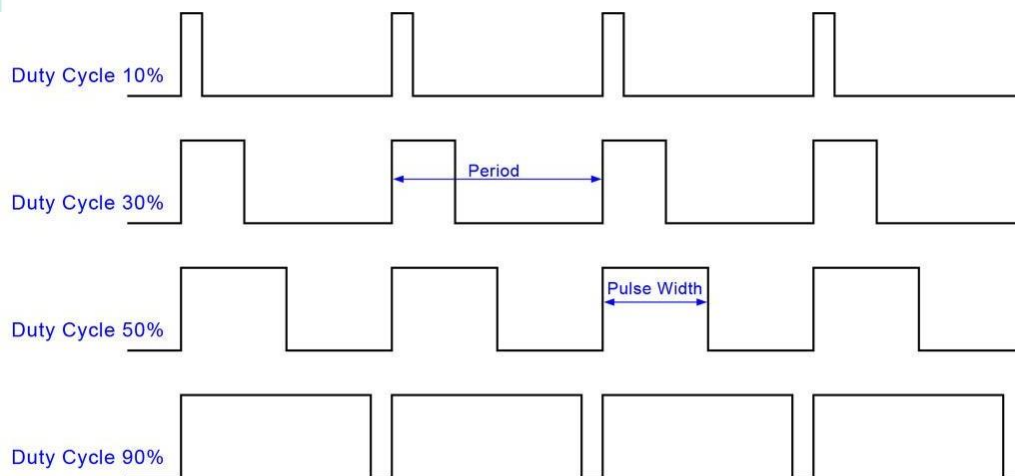
PWM singkatan dari *Pulse Width Modulation*. Pada mikrokontroler, sinyal PWM beroperasi pada frekuensi rendah $500\text{Hz} - 2\text{KHz}$. Pada board arduino Nano, pin yang



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

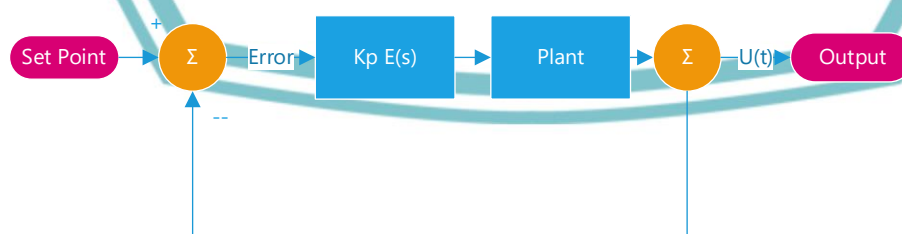
bisa dimanfaatkan untuk PWM adalah pin yang diberi tanda tilde (~), yaitu pin 3, 5, 6, 9, 10, dan pin 11. Pin-pin tersebut merupakan pin yang bisa difungsikan untuk menghasilkan sinyal PWM.



Gambar 1.3. Sinyal PWM

4. Propotional Control

Proportional control adalah gain yang digunakan untuk mengatur perilaku dari sinyal error terhadap input dari sistem. Kontroler proporsional memiliki 2 parameter, yaitu: pita proporsional (*proportional band*) dan konstanta proporsional. Daerah kerja kontroler efektif dicerminkan oleh pita proporsional sedangkan konstanta proporsional menunjukkan nilai factor penguatan terhadap sinyal kesalahan, K_p . Hubungan antara *proportional band* (PB) dengan *konstanta proporsional* (K_p) ditunjukkan secara oleh Persamaan berikut:



Gambar 2.2 Blok Kendali *Proportional*

Pada kontrol proporsional, besar sinyal output untuk elemen kontrol final



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

sebanding secara proporsional dengan besar error *set point* yang muncul. Hubungan ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$P = (K_p)E$$

dengan:

P = OutputError = *Error* (deviasi *set point*)

K_p = Konstanta perkalian proporsional

Sistem kontrol proporsional ini menghasilkan hubungan yang linier antara error *set point* dengan sinyal output yang akan menjadi aksi pada elemen kontrol akhir. Konstanta perkalian (gain) proporsional dapat diubah nilainya sesuai dengan kebutuhan. Proses kontrol ini menghasilkan aksi yang cepat pada setiap perubahan error *set point* yang terjadi.

Proporsional digunakan untuk mengatur *speed* dalam satuan *RPM* (*Round Per Minute*) dari sistem. Nilai gain yang semakin besar dapat menghasilkan overshoot dari sistem. Karakteristik Proporsional controller:

- a. mereduksi risetime
- b. tidak pernah mengeliminasi *steady-state error*

Penggunaan mode kontrol proporsional harus memperhatikan hal – hal berikut:

- a. Jika nilai K_p kecil, mode kontrol proporsional hanya mampu melakukan koreksi kesalahan yang kecil, sehingga akan menghasilkan respon sistem yang lambat.
- b. Jika nilai K_p dinaikkan, respon sistem menunjukkan semakin cepat mencapai keadaan stabilnya.
- c. Namun jika nilai K_p diperbesar sehingga mencapai harga yang berlebihan, akan mengakibatkan system bekerja tidak stabil, atau respon sistem akan berosilasi.

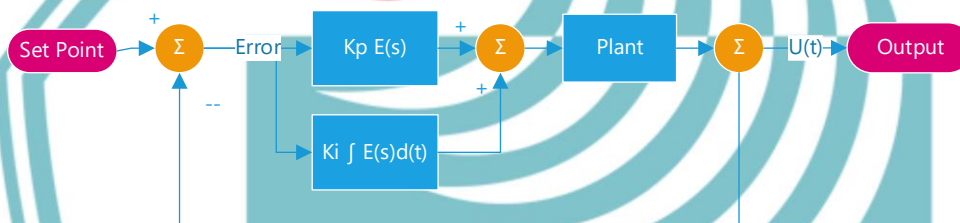

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Kontrol P (*Proportional*) selalu sebanding dengan besarnya input. Bentuk *transfer function* dari kontrol P adalah $U = K_p \cdot e$ dimana ; K_p = gain kontrol proporsional.

5. Propotional Integral Control

Kontroller integral memiliki karakteristik seperti halnya sebuah integral. Keluaran kontroller sangat dipengaruhi oleh perubahan yang sebanding dengan nilai sinyal kesalahan. Keluaran kontroller ini merupakan jumlahan yang terus menerus dari perubahan masukannya. Kalau sinyal kesalahan tidak mengalami perubahan, keluaran akan menjaga keadaan seperti sebelum terjadinya perubahan masukan. Diagram blok mode kontrol *integral* ditunjukkan oleh gambar berikut:



Gambar 4.2 Blok Kontrol *Proportional Integral*

Proses kontrol integral juga dikenal dengan sistem kontrol reset. Dengan kontrol integral, output dari kontrol ini berubah setiap terjadi error *set point*. Perubahan output dengan *rate*/laju tertentu yang proporsional dengan perubahan nilai *error*:

$$P = \left(\frac{1}{T_i} \right) \int E \, dT$$

Dimana T_i adalah waktu integral (reset), yang nilainya dapat diubah-ubah untuk mengurangi deviasi error pada nilai output. Dengan menggunakan hubungan integral, maka output dari proses kontrol integral akan selalu berubah setiap muncul error *set point*. Dan baru benar-benar diam (tetap pada nilai output tertentu) pada saat nilai error sama dengan nol. Proses kontrol ini membutuhkan waktu yang lebih lama untuk mengejar nilai error sama dengan nol, sehubungan dengan sistem kontrol yang menggunakan rumusan integral.

Kontroller integral mempunyai beberapa karakteristik berikut ini:

- Keluaran kontroler butuh selang waktu tertentu, sehingga kontroler integral



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

cenderung memperlambat respon.

- Ketika sinyal kesalahan berharga nol, keluaran kontroler akan bertahan pada nilai sebelumnya.
- Jika sinyal kesalahan tidak berharga nol, keluaran akan menunjukkan kenaikan atau penurunan yang dipengaruhi oleh besarnya sinyal kesalahan dan nilai K_i .
- *Konstanta integral* K_i berharga besar, *offset* akan cepat hilang. Saat nilai K_i besar akan berakibat peningkatan osilasi dari sinyal keluaran controller.

Transfer function dari unit control integral adalah :

$$U = \frac{1}{T_i} K_c \int e. dt$$

Dimana:

T_i = integral time

e = error (input dari unit control)

K_c = gain dari controller

Integral control sangat berguna untuk mencegah *offset error* yang terjadi dan terkait dengan akurasi dari sebuah sistem control. Output akan berkembang sampai sistem merespon dan mereduksi error yang terjadi hingga nilainya 0.

Persamaannya sebagai berikut:

$$U(t) = K_i \int X_e. dt = \frac{K_p}{T_i} \int X_e. dt$$

Laplace Tranformnya :

$$U(s) = \frac{K_p X_e}{T_i s}$$

Dengan T_i adalah integral nilai konstantanya. Karakteristik integral control, sebagai berikut:

- 1) Mengeliminasi steady state error.
- 2) Buruk pada respon transiennya.

Gambar 1.3 Integral Control

6. Propotional Derivative Control

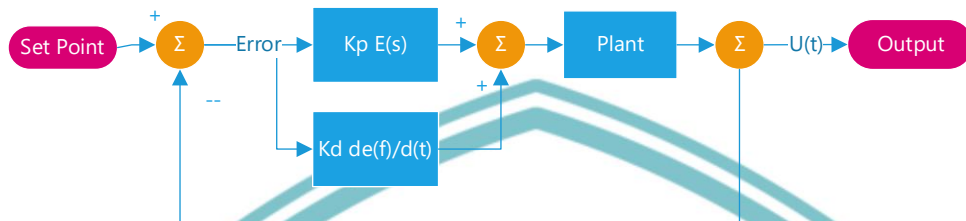
Keluaran controller *differensial* memiliki sifat seperti halnya suatu operasi



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

derivatif. Perubahan yang mendadak pada masukan controller, akan mengakibatkan perubahan yang sangat besar dan cepat. Diagram blok pengendali diferensial ditunjukkan oleh gambar berikut:



Gambar 3.3 Kendali Propotional Derivatif

Kontrol derivatif juga dikenal dengan sebutan *rate control*. Sistem kontrol menghasilkan output pada saat terjadi error pada *set point*, dan nilai output tersebut proporsional dengan laju (*rate*) perubahan dari error:

$$P = (T_d) \frac{dE}{dt}$$

Dimana T_d adalah konstanta waktu laju (derivatif)

Pada kontrol derivatif, semakin cepat perubahan error *set point* yang terjadi, semakin besar nilai output kontrol yang keluar. Nilai output akan langsung menjadi nol apabila nilai error sama dengan nol. Nilai dari konstanta T_d juga dapat diubah untuk menambah atau mengurangi sensitifitas sistem kontrol. Kontrol ini digunakan untuk menghasilkan respon yang cepat terhadap setiap perubahan eror yang terjadi.

Karakteristik dari controller *differensial* adalah sebagai berikut:

- a. Kontroler ini tidak dapat menghasilkan keluaran bila tidak ada perubahan atau *error* sebagai sinyal kesalahan untuk masukannya.
- b. Jika sinyal error berubah terhadap waktu, maka keluaran yang dihasilkan controller tergantung pada nilai T_d dan laju perubahan sinyal kesalahan.
- c. Controller *differensial* mempunyai karakter untuk mendahului, sehingga controller ini dapat menghasilkan koreksi yang signifikan sebelum pembangkit error menjadi sangat besar. Jadi controller *differensial* dapat mengantisipasi pembangkit error, memberikan aksi yang bersifat korektif, dan cenderung meningkatkan stabilitas



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

sistem.

Transfer function dari unit *control differential* adalah:

$$U = K_c T_d \frac{de}{dt}$$

Dimana :

K_c = gain

E = error

T_d = derivative time

Aksi dari derivatif control berguna untuk meningkatkan damping sistem, memungkinkan respon yang cepat tanpa adanya overshoot. Persamaan derivatif control adalah:

$$U(t) = K_d \frac{dx_e}{dt} = (K_p T_d) \frac{dx_e}{dt} \text{ bentuk Laplace Transformnya } U(s) \\ = (K_p T_d) s X_e$$

dimana K_p adalah konstanta proporsional dan T_d adalah differential time constant.

Karakteristik dari derivatif control adalah sebagai berikut:

- Meningkatkan Kestabilan dari system
- Mereduksi overshoot
- Meningkatkan respons transient

7. Propotional Integral Derivative Control

Pengontrol PID adalah jenis pengontrol yang banyak diaplikasikan dalam kontrol proses industri karena kesederhanaan strukturnya, lebih tahan terhadap gangguan luar serta dapat diterapkan dalam kondisi operasi yang bervariasi. Tetapi pengontrol PID perlu ditala secara benar yaitu menentukan harga konstanta pengontrol proporsional, integral dan derivatif yang mengoptimalkan kinerja sistem. Setelah tiga parameter tersebut ditala, maka nilai parameter pengontrol tersebut pada PID biasanya dipertahankan tetap selama proses pengontrolan.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Sebuah sistem kendali *close-loop* yang dasar, diperlihatkan pada Gambar 5.2 terdiri dari sebuah pengendali dan sebuah *plant*. PID digunakan sebagai pengendali. Pengendali PID ini terdiri dari tiga buah komponen: bagian *proportional*, bagian *integral* dan bagian *derivative*. Pengendali PID menggunakan persamaan kendali sebagai berikut:

$$C(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) = \frac{K_d s^2 + K_p s + K_i}{s}$$

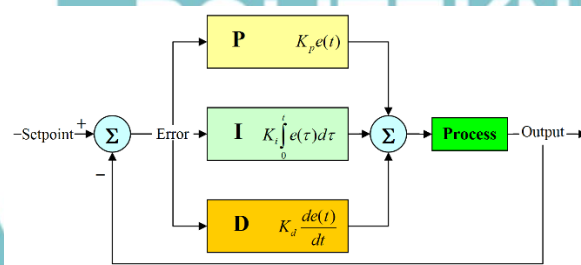
Dimana:

K_p adalah parameter proposional

K_i adalah $\frac{K_p}{T_i}$ adalah parameter integral dan

K_d adalah $K_p \times T_d$ adalah parameter derivative.

Dalam perancangan pengendali PID, ketiga konstanta tersebut harus dipilih agar sistem *close-loop* memberikan respon yang diinginkan. Respon yang diinginkan haruslah memiliki *settling time* yang minimal dengan *overshoot* yang kecil atau tanpa *overshoot* dari respon step sistem *close-loop*.



Gambar 1.4 Sistem Close Loop

PID Controller sebenarnya terdiri dari 3 jenis cara pengaturan yang saling dikombinasikan, yaitu P (*Proportional*) Controller, D (*Derivative*) Controller, dan I (*Integral*) Controller. Masing-masing memiliki parameter tertentu yang harus diset untuk dapat beroperasi dengan baik, yang disebut sebagai *konstanta*. Setiap jenis, memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing, hal ini dapat dilihat pada tabel di bawah ini:



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Respon Loop Tertutup	Rise Time	Overshoot	Setting Time	Error Steady State
Proposional	Menurunkan	Meningkatkan	Perubahan Kecil	Menurunkan/Mengurangi
Integral	Menurunkan	Meningkatkan	Meningkatkan	Menghilangkan
Derivatif	Perubahan Kecil	Menurunkan	Mengurangi	Perubahan Kecil

Tabel 1.2 Respon PID Controller Terhadap Perubahan Konstanta

Sebuah kontrol otomatis dapat menggunakan sistem kontrol yang mengkombinasikan antara ketiga elemen sistem kontrol yang ada. Yang paling banyak digunakan adalah sistem kontrol proporsional, proporsional ditambah integral (PI), dan proporsional ditambah integral ditambah derivatif (PID).

Kontrol PID merupakan alat standar bagi otomasi industri. Fleksibilitas pada kontroler membuat kontrol PID digunakan pada banyak situasi. Controller juga dapat digunakan pada selective control maupun konfigurasi controller yang lain. Algoritma PID dapat didefinisikan sebagai berikut:

$$U(t) = K_c \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{de}{dt} \right]$$

Dimana:

$U(t)$: sinyal control

$e(t)$: error

K_c : gain controller

T_i : integral time

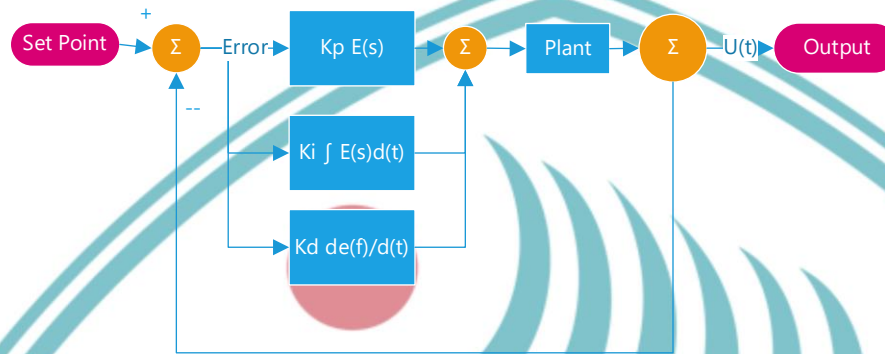
T_d : derivative time



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Keluaran controller PID merupakan penjumlahan dari keluaran controller proporsional, controller integral dan controller differensial. Karakteristik controller PID sangat dipengaruhi oleh kontribusi besar dari ketiga parameter P, I dan D. Penngaturan nilai konstanta K_p , T_i , dan T_d akan mengakibatkan penonjolan sifat dari masing-masing elemen.



Gambar 1.4 Kontrol Proposional Integral Derivatif

Satu atau dua dari ketiga konstanta tersebut dapat *disetting* lebih menonjol dibanding yang lain sehingga konstanta yang menonjol itulah akan memberikan kontribusi lebih dominan pada respon sistem secara keseluruhan.

Pengaruh nilai K_p , T_i dan T_d pada respon sistem adalah:

- K_p yang kecil akan membuat pengendali menjadi sensitif dan cenderung membawa loop berosilasi, sedangkan K_p yang besar akan menghilangkan *offset* yang besar juga.
- T_i yang kecil bermanfaat untuk menghilangkan *offset* tetapi juga cenderung membawa sistem menjadi lebih sensitif dan lebih mudah berosilasi, sedangkan T_i yang besar belum tentu efektif menghilangkan *offset* dan juga cenderung membuat sistem menjadi lambat.
- T_d yang besar akan membawa unsur *Derivative* menjadi lebih menonjol sehingga respon cenderung cepat, sedangkan T_d yang kecil kurang memberi nilai ekstra pada saat – saat awal.



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta





- Hak Cipta :**
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

JOBSHEET 1

Pengujian Akurasi Putaran Motor DC

A. Judul Percobaan

Pengujian Akurasi putaran Motor DC

B. Tujuan

- a. Agar mahasiswa bisa mengukur rpm pada motor DC
- b. Membandingkan setpoint dengan RPM sebenarnya menggunakan tachometer

C. Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang diperlukan untuk percobaan sebagai berikut :

- Laptop
- Mikrokontroler Arduino Nano
- Motor DC
- Encoder
- Driver Motor BTS7960
- Power Supply 24VDC
- Alat Tachometer

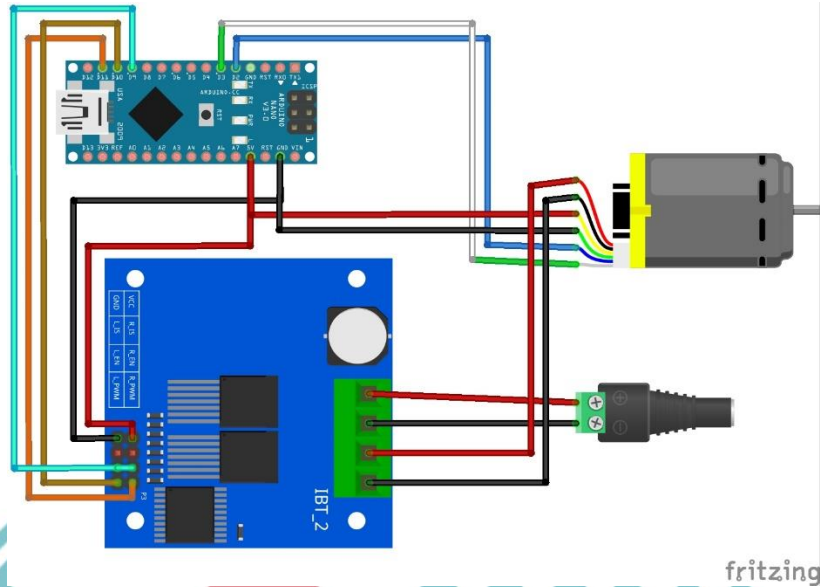
D. Rangkaian dan Prosedur Percobaan

- 1) Hubungkan Motor Driver, Motor DC dengan Encoder seperti pada gambar 2.1.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Gambar 2.1 Rangkaian Kerja

- 2) Buka software Arduino IDE
- 3) Ketik kode program dibawah ini di Arduino IDE

```

/* inisiasi Pin */
#define PWM 9 // PWM
#define IN2 10 // MotorA
#define IN1 11 // MotorA
#define HALLSEN_A 3
#define ENCODER_CONSTANT 2

int interval = 60;
int motorSpeed = 0;
long previousMillis = 0;
long currentMillis = 0;
float elapsedMillis = 0;
float dt = 0.01;

/* inisiasi Jenis Tipe Data */
int data = 0;
int rpm = 0;
int motorPwm = 0;
int encoderValue = 0;
int error=0;
int last_error = 0;
int SampleTime;
float integral;
float derivative;
unsigned long lastTime;
//double ITerm, lastInput;

/* konstanta Nilai PID */
float kp = 1.2;
float ki = 0.6;
float kd = 1;

```



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```

int sp= 200;

void setup() {
  Serial.begin(115200);
  pinMode(PWM,OUTPUT);
  pinMode(IN1,OUTPUT);
  pinMode(IN2,OUTPUT);
  digitalWrite(IN1, LOW);
  digitalWrite(IN2, HIGH);
  // encoderValue = 0;

  attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(HALLSEN_A),updateEncoder,
  RISING);
  previousMillis = millis();
}

void loop() {
  while((data<=100))
  {
    currentMillis = millis();
    if (currentMillis - previousMillis > interval)
    {
      /* Hitung RPM */
      rpm = (float)(encoderValue*2.73); // Kalkulasi kecepatan motor
      DC (RPM)
      previousMillis = currentMillis;

      /* Menampilkan Data Pada Serial Monitor */
      //Serial.print(sp);
      //Serial.print(",");
      Serial.println(rpm);

      /*Rumus PID */
      error = sp - rpm;          // error
      integral += error;        // integral
      derivative = (error - last_error); // Derivative
      motorSpeed = ((kp*error) + (ki*integral) + (kd*(derivative)));
      //Penambahan Rumus PID

      /* Kontrol Motor DC */
      if (motorSpeed > 255) motorSpeed = 255;
      else if(motorSpeed < 0) motorSpeed = 0;
      analogWrite(PWM, motorSpeed);
      last_error = error;
      encoderValue = 0;
      data++;
    }
    analogWrite(PWM,motorSpeed);
  }
  analogWrite(PWM, 0);
}

/* Void perintah untuk Menambah Nilai Encoder */
void updateEncoder(){
  encoderValue++;
}

```



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

- 4) Masukkan nilai Proportional sesuai pada tugas
- 5) Save file, dengan format “Tugas1_Nama_Kelas”
- 6) Lalu Upload Kode

```

sketch_jun26a | Arduino 1.8.14 Hourly Build 2020/10/09 12:33
File Edit Sketch Tools Help
Auto Format Ctrl+T
Archive Sketch
Fix Encoding & Reload
Manage Libraries... Ctrl+Shift+I
Serial Monitor Ctrl+Shift+M
Serial Plotter Ctrl+Shift+L
WiFi101 / WIFININA Firmware Updater
Board: "Arduino Uno"
Port: "COM14 (Arduino Uno)"
Get Board Info
Programmer: "ArduinoISP.org"
Burn Bootloader

Serial ports
COM14 (Arduino Uno)
COM7
COM8

int output;
/* inisial
int data;
int rpm =
int motorF
int encode
int error=
int last_e
int Sample
float inte
float derivative;
unsigned long lastTime;
//double lTerm, lastInput;

/* konstanta Nilai PID */
float kp = 0.3;
float ki = 0.15;
float kd = 0.05;
int ap=0;

void setup() {
  Serial.begin(115200);
  pinMode(PWM, OUTPUT);
  pinMode(TM1, OUTPUT);
}

Sketch uses 4050 bytes (12% of program storage space. Maximum is 32256 bytes.
Global variables use 222 bytes (10% of dynamic memory, leaving 1826 bytes for local variables.
  
```

- 7) Ukur RPM menggunakan Tachometer
- 8) Masukkan tabel
- 9) Ulangi perintah

E. Tugas

Tabel 1.1 Tugas

No	Setpoint	Kp	Ki	Kd	RPM
1.	100	1,2	0,6	1	
2.	120	1,2	0,6	1	
3.	140	1,2	0,6	1	
4.	160	1,2	0,6	1	
5.	180	1,2	0,6	1	
6.	200	1,2	0,6	1	
7.	220	1,2	0,6	1	



JOBSHEET 2

Kontrol Kendali Proporsional

F. Judul Percobaan

Kontrol Kendali Proporsional

G. Tujuan

- c. Agar mahasiswa akan lebih mengenal tentang prinsip kerja kontrol Proporsional.
- d. Mampu menerangkan pengaruh kontroler P pada kinerja sistem pengaturan posisi motor dc.
- e. Mampu melakukan analisis kinerja sistem pengaturan posisi motor arus searah.
- f. Mampu menerangkan pengaruh kecepatan pada kinerja suatu sistem pengaturan posisi.

H. Tugas Pendahuluan

- 1) Apa yang dimaksud dengan rise time, overshoot, steady state, error?
- 2) Cari literatur tentang Kontroler Proportional pada kendali posisi motor DC dan simulasikan pada matlab simulink

I. Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang diperlukan untuk percobaan sebagai berikut :

- Laptop
- Mikrokontroler Arduino Nano
- Motor DC PG28
- Encoder
- Driver Motor BTS7960
- Power Supply 24VDC

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

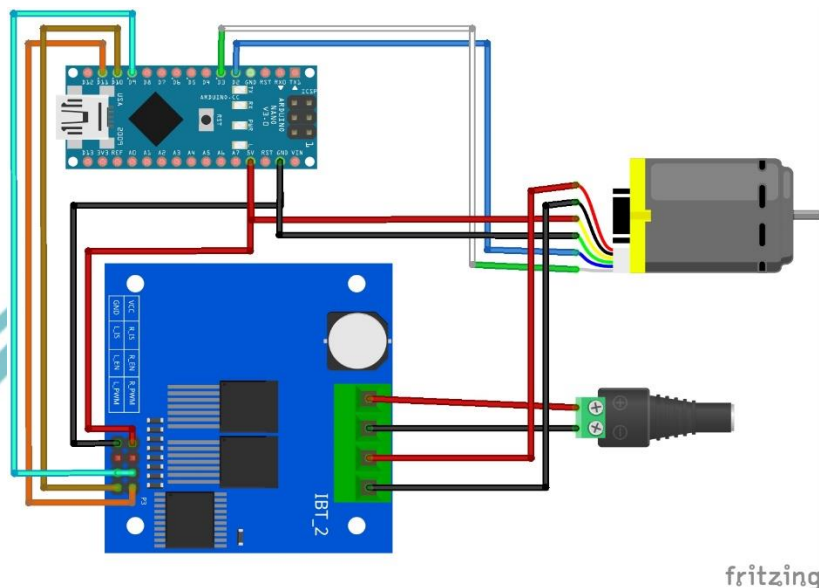


Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

J. Rangkaian dan Prosedur Percobaan

- 10) Hubungkan Motor Driver, Motor DC dengan Encoder seperti pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 Rangkaian Kerja

- 11) Buka software Arduino IDE
- 12) Ketik kode program dibawah ini di Arduino IDE

```

/* inisiasi Pin */
#define PWM 9 // PWM
#define IN2 10 // MotorA
#define IN1 11 // MotorA
#define HALLSEN_A 3
#define ENCODER_CONSTANT 2

int interval = 60;
int motorSpeed = 0;
long previousMillis = 0;
long currentMillis = 0;
float elapsedMillis = 0;
float dt = 0.01;

/* inisiasi Jenis Tipe Data */
int data = 0;
int rpm = 0;
int motorPwm = 0;
int encoderValue = 0;
int error=0;
int last_error = 0;
int SampleTime;
float integral;
float derivative;

```



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```

unsigned long lastTime;
//double ITerm, lastInput;

/* konstanta Nilai PID */
float kp = 1.2;
float ki = 0.6;
float kd = 1;
int sp= 200;

void setup() {
  Serial.begin(115200);
  pinMode(PWM,OUTPUT);
  pinMode(IN1,OUTPUT);
  pinMode(IN2,OUTPUT);
  digitalWrite(IN1, LOW);
  digitalWrite(IN2, HIGH);
  // encoderValue = 0;

  attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(HALLSEN_A),updateEncoder,RISING);
  previousMillis = millis();
}

void loop() {
  while((data<=100))
  {
    currentMillis = millis();
    if (currentMillis - previousMillis > interval)
    {
      /* Hitung RPM */
      rpm = (float)(encoderValue*2.73); // Kalkulasi kecepatan motor DC (RPM)
      previousMillis = currentMillis;
      /* Menampilkan Data Pada Serial Monitor */
      //Serial.print(sp);
      //Serial.print(",");
      Serial.println(rpm);

      /*Rumus PID */
      error = sp - rpm; // error
      integral += error; // integral
      derivative = (error - last_error); // Derivative
      motorSpeed = ((kp*error) + (ki*integral) + (kd*(derivative))); //Penambahan Rumus PID

      /* Kontrol Motor DC */
      if (motorSpeed > 255) motorSpeed = 255;
      else if(motorSpeed < 0) motorSpeed = 0;
      analogWrite(PWM, motorSpeed);
      last_error = error;
      encoderValue = 0;
      data++;
    }
    analogWrite(PWM,motorSpeed);
  }
  analogWrite(PWM, 0);
}

```



```

/* Void perintah untuk Menambah Nilai Encoder */
void updateEncoder(){
  encoderValue++;
}

```

- 13) Masukkan nilai Proportional sesuai pada tugas
- 14) Save file, dengan format "Tugas1_Nama_Kelas"
- 15) Lalu Upload Kode

```

sketch_jun26a | Arduino 1.8.14 Hourly Build 2020/10/09 12:33
File Edit Sketch Tools Help
sketch_jun26a
int output;
/* inisial
int data =
int rpm =
int motorPwm =
int encode
int error=
int last_e
int Sample
float inte
float derivative;
unsigned long lastTime;
//double ITerm, lastInput;

/* konstanta Nilai PID */
float kp = 0.3;
float ki = 0.15;
float kd = 0.05;
int sp=0;

void setup() {
  Serial.begin(115200);
  pinMode(PWM, OUTPUT);
  pinMode(TM1, OUTPUT);
}

Sketch uses 4050 bytes (12%) of program storage space. Maximum is 32256 bytes.
Global variables use 222 bytes (10%) of dynamic memory, leaving 1826 bytes for local variables.

```

- 16) Buka serial Plotter, dengan klik Tools → Serial Plotter, atau tekan Ctrl+Shift+L

```

sketch_jun26a | Arduino 1.8.14 Hourly Build 2020/10/09 12:33
File Edit Sketch Tools Help
sketch_jun26a
/* inisial
#define PW
#define IN
#define IN
#define HR
#define EN
int interv
int motor
long ptevi
long currentMillis = 0;
float dt = 0.01; // 10 millisecond
int analogInPin = A0; // Analog input pin that the potentiometer is attached to
int sensorValue = 0; // value read from the pot
int outputValue = 0;

/* inisial Jenis Tipe Data */
int data = 0;
int rpm = 0;
int motorPwm = 0;
int encoderValue = 0;
int error=0;
int last_error = 0;
int SampleTime;

```

- 17) Cermati grafik yang ada
- 18) Isi dan hitunglah Overshoot, Rise Time, dan Steady State
- 19) Ulangi perintah



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

K. Tugas

Tabel 1.1

No	Setpoint	Kp	Max Overshoot	Rise Time	Steady State
1.	150	1			
2.	150	2			
3.	150	3			
4.	150	4			
5.	150	5			

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



- Hak Cipta :**
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

JOBSHEET 3

Kontrol Kendali Proposional Integral

A. Judul Percobaan

Kontrol Kendali Proposional Integral

B. Tujuan

- a. Agar mahasiswa akan lebih mengenal tentang prinsip kerja kontrol Proporsional Integral.
- b. Mampu menerangkan pengaruh kontroler PI pada kinerja sistem pengaturan posisi motor dc.
- c. Mampu melakukan analisis kinerja sistem pengaturan posisi motor arus searah.
- d. Mampu menerangkan pengaruh kecepatan pada kinerja suatu sistem pengaturan posisi.

C. Perintah

- Literatur tentang Kontroler Proportional Integral pada kendali putaran motor DC dan simulasikan pada matlab Simulink

D. Alat dan Bahan

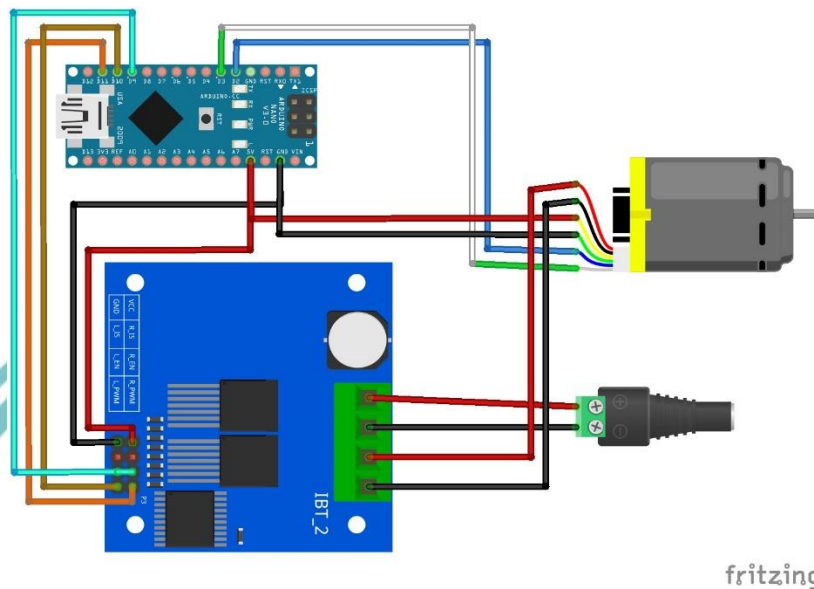
Alat dan bahan yang diperlukan untuk percobaan sebagai berikut :

- Laptop
- Mikrokontroler Arduino Nano
- Motor DC PG28
- Encoder
- Driver Motor BTS7960
- Power Supply 24VDC



E. Rangkaian dan Prosedur Percobaan

- 1) Hubungkan Motor Driver, Motor DC dengan Encoder seperti pada gambar 3.1.



Gambar 3.1 Rangkaian Kerja

- 2) Buka software Arduino IDE
- 3) Ketik kode program dibawah ini di Arduino IDE

```

/* inisiasi Pin */
#define PWM 9 // PWM
#define IN2 10 // MotorA
#define IN1 11 // MotorA
#define HALLSEN_A 3
#define ENCODER_CONSTANT 2

int interval = 60;
int motorSpeed = 0;
long previousMillis = 0;
long currentMillis = 0;
float elapsedMillis = 0;
float dt = 0.01;

```

```

/* inisiasi Jenis Tipe Data */
int data = 0;
int rpm = 0;
int motorPwm = 0;
int encoderValue = 0;
int error=0;
int last_error = 0;
int SampleTime;
float integral;
float derivative;
unsigned long lastTime;
//double ITerm, lastInput;

```

- Hak Cipta :**
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```

/* konstanta Nilai PID */
float kp = 1.2;
float ki = 0.6;
float kd = 1;
int sp= 200;

void setup() {
  Serial.begin(115200);
  pinMode(PWM,OUTPUT);
  pinMode(IN1,OUTPUT);
  pinMode(IN2,OUTPUT);
  digitalWrite(IN1, LOW);
  digitalWrite(IN2, HIGH);
  // encoderValue = 0;

  attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(HALLSEN_A),updateEncoder,RISING);
  previousMillis = millis();
}

void loop() {
  while((data<=100))
  {
    currentMillis = millis();
    if (currentMillis - previousMillis > interval)
    {
      /* Hitung RPM */
      rpm = (float)(encoderValue*2.73); // Kalkulasi kecepatan motor DC (RPM)
      previousMillis = currentMillis;

      /* Menampilkan Data Pada Serial Monitor */
      //Serial.print(sp);
      //Serial.print(",");
      Serial.println(rpm);

      /*Rumus PID */
      error = sp - rpm; // error
      integral += error; // integral
      derivative = (error - last_error); // Derivative
      motorSpeed = ((kp*error) + (ki*integral) + (kd*(derivative)));
      //Penambahan Rumus PID

      /* Kontrol Motor DC */
      if (motorSpeed > 255) motorSpeed = 255;
      else if(motorSpeed < 0) motorSpeed = 0;
      analogWrite(PWM, motorSpeed);
      last_error = error;
      encoderValue = 0;
      data++;
    }
    analogWrite(PWM,motorSpeed);
  }
  analogWrite(PWM, 0);
}

/* Void perintah untuk Menambah Nilai Encoder */

```

```
void updateEncoder(){
    encoderValue++;
}
```

- 4) Masukkan nilai Proportional Integral sesuai pada tugas
- 5) Lalu Upload Kode
- 6) Buka serial Plotter
- 7) Ulangi perintah

1. Tugas

Tabel 1.2

No	Setpoint	Kp	Ki	Max Overshoot	Rise Time	Steady State
1.	150	1	0.1			
2.	150	2	0.2			
3.	150	3	0.3			
4.	150	4	0.4			
5.	150	5	0.5			

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta





- Hak Cipta :**
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

JOBSHEET 4

Kontrol Kendali Proposional Derivatif

A. Judul Percobaan

Kontrol Kendali Proposional Derivatif

B. Tujuan

- a. Agar mahasiswa akan lebih mengenal tentang prinsip kerja kontrol Proporsional Derivatif.
- b. Mampu menerangkan pengaruh kontroler PD pada kinerja sistem pengaturan posisi motor dc.
- c. Mampu melakukan analisis kinerja sistem pengaturan posisi motor arus searah.
- d. Mampu menerangkan pengaruh kecepatan pada kinerja suatu sistem pengaturan posisi.

C. Perintah

- Literatur tentang Kontroler Proportional Derivatif pada kendali putaran motor DC dan simulasikan pada matlab Simulink

D. Alat dan Bahan

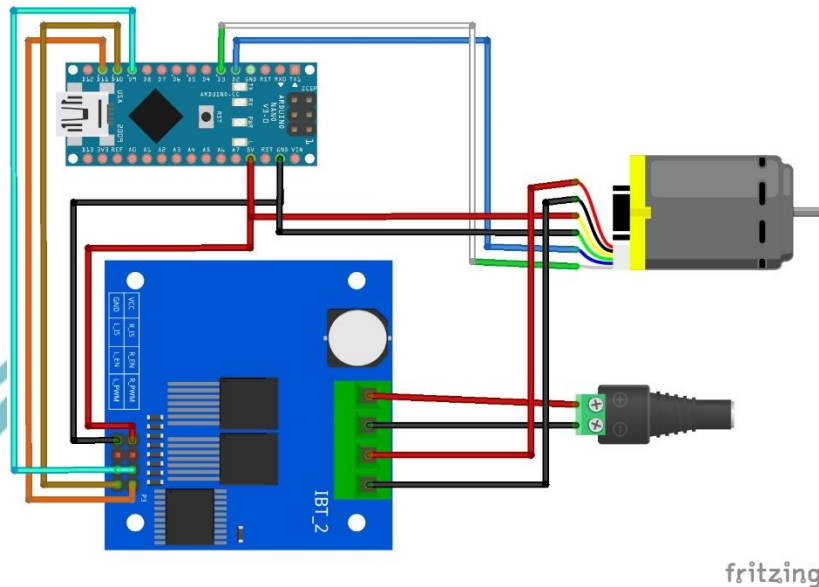
Alat dan bahan yang diperlukan untuk percobaan sebagai berikut :

- Laptop
- Mikrokontroler Arduino Nano
- Motor DC PG28
- Encoder
- Driver Motor BTS7960
- Power Supply 24VDC



E. Rangkaian dan Prosedur Percobaan

- 1) Hubungkan Motor Driver, Motor DC dengan Encoder seperti pada gambar 4.1.



Gambar 4.1 Rangkaian Kerja

- 2) Buka software Arduino IDE
- 3) Ketik kode program dibawah ini di Arduino IDE kalian

```

/* inisiasi Pin */
#define PWM 9 // PWM
#define IN2 10 // MotorA
#define IN1 11 // MotorA
#define HALLSEN_A 3
#define ENCODER_CONSTANT 2

int interval = 60;
int motorSpeed = 0;
long previousMillis = 0;
long currentMillis = 0;
float elapsedMillis = 0;
float dt = 0.01;

/* inisiasi Jenis Tipe Data */
int data = 0;
int rpm = 0;
int motorPwm = 0;
int encoderValue = 0;
int error=0;
int last_error = 0;
int SampleTime;
float integral;
float derivative;
unsigned long lastTime;
//double ITerm, lastInput;

```

- Hak Cipta :**
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```

/* konstanta Nilai PID */
float kp = 1.2;
float ki = 0.6;
float kd = 1;
int sp= 200;

void setup() {
  Serial.begin(115200);
  pinMode(PWM,OUTPUT);
  pinMode(IN1,OUTPUT);
  pinMode(IN2,OUTPUT);
  digitalWrite(IN1, LOW);
  digitalWrite(IN2, HIGH);
  // encoderValue = 0;

  attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(HALLSEN_A),updateEncoder,RISING);
  previousMillis = millis();
}

void loop() {
  while((data<=100))
  {
    currentMillis = millis();
    if (currentMillis - previousMillis > interval)
    {
      /* Hitung RPM */
      rpm = (float)(encoderValue*2.73); // Kalkulasi kecepatan motor DC (RPM)
      previousMillis = currentMillis;

      /* Menampilkan Data Pada Serial Monitor */
      //Serial.print(sp);
      //Serial.print(",");
      Serial.println(rpm);

      /*Rumus PID */
      error = sp - rpm; // error
      integral += error; // integral
      derivative = (error - last_error); // Derivative
      motorSpeed = ((kp*error) + (ki*integral) + (kd*(derivative))); //Penambahan Rumus PID

      /* Kontrol Motor DC */
      if (motorSpeed > 255) motorSpeed = 255;
      else if(motorSpeed < 0) motorSpeed = 0;
      analogWrite(PWM, motorSpeed);
      last_error = error;
      encoderValue = 0;
      data++;
    }
    analogWrite(PWM,motorSpeed);
  }
  analogWrite(PWM, 0);
}

/* Void perintah untuk Menambah Nilai Encoder */

```



```
void updateEncoder(){
    encoderValue++;
}
```

- 4) Masukkan nilai Proportional Derivatif sesuai pada tabel tugas
- 5) Lalu Upload Kode
- 6) Buka serial Plotter
- 7) Ulangi perintah

F. Tugas

Tabel.1.3

No	Setpoint	Kp	Kd	Max Overshoot	Rise Time	Steady State
1.	150	1	0.1			
2.	150	2	0.2			
3.	150	3	0.3			
4.	150	4	0.4			
5.	150	5	0.5			

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta





- Hak Cipta :**
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

JOBSHEET 5

Kontrol Kendali Proposional Integral Derivative

A. Judul Percobaan

Kontrol Kendali Proposional Integral Derivatif

B. Tujuan

- a. Agar mahasiswa akan lebih mengenal tentang prinsip kerja kontrol Proporsional Integral Derivatif.
- b. Mampu menerangkan pengaruh kontroler PID pada kinerja sistem pengaturan posisi motor dc.
- c. Mampu melakukan analisis kinerja sistem pengaturan posisi motor arus searah.
- d. Mampu menerangkan pengaruh kecepatan pada kinerja suatu sistem pengaturan posisi.

C. Perintah

- Literatur tentang Kontroler Proportional Integral Derivatif pada kendali putaran motor DC dan simulasikan pada matlab Simulink

D. Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang diperlukan untuk percobaan sebagai berikut :

- Laptop
- Mikrokontroller Arduino Nano
- Motor DC PG28
- Encoder
- Driver Motor BTS7960
- Power Supply 24VDC

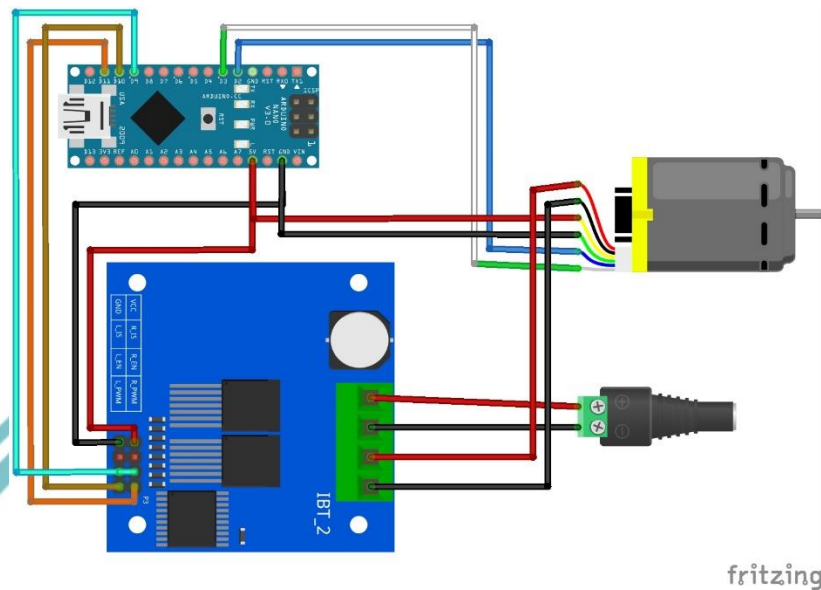
E. Rangkaian dan Prosedur Percobaan



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

- 1) Hubungkan Motor Driver, Motor DC dengan Encoder seperti pada gambar 5.1.



Gambar 5.1 Rangkaian Kerja

- 2) Buka software Arduino IDE
- 3) Ketik kode program dibawah ini di Arduino IDE

```

/* inisiasi Pin */
#define PWM 9 // PWM
#define IN2 10 // MotorA
#define IN1 11 // MotorA
#define HALLSEN_A 3
#define ENCODER_CONSTANT 2

int interval = 60;
int motorSpeed = 0;
long previousMillis = 0;
long currentMillis = 0;
float dt = 0.01; // 10 milisecond
int analogInPin = A0; // Analog input pin that the potentiometer is
attached to
int sensorValue = 0; // value read from the pot
int outputValue = 0;

/* inisiasi Jenis Tipe Data */
int data = 0;
int rpm = 0;
int motorPwm = 0;
int encoderValue = 0;
int error=0;
int last_error = 0;
int SampleTime;
float integral;

```




© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```

float derivative;
unsigned long lastTime;
//double ITerm, lastInput;

/* konstanta Nilai PID */
float kp = 0.3;
float ki = 0.15;
float kd = 0.05;
int sp=0;

void setup() {
  Serial.begin(115200);
  pinMode(PWM,OUTPUT);
  pinMode(IN1,OUTPUT);
  pinMode(IN2,OUTPUT);
  digitalWrite(IN1, LOW);
  digitalWrite(IN2, HIGH);
  encoderValue = 0;

  attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(HALLSEN_A),updateEncoder,RI
  SING);
  previousMillis = millis();
}

void loop() {
  while((currentMillis<=100000))
  {
    currentMillis = millis();
    if (currentMillis - previousMillis > interval)
    {
      //rpm = (int)((encoderValue*ENCODER_CONSTANT));
      rpm = (float)(encoderValue*13.95); // Kalkulasi kecepatan motor DC
      (RPM)
      previousMillis = currentMillis;

      /* Menampilkan Data Pada Serial Monitor */
      Serial.print(sp);
      Serial.print(" ");
      Serial.println(rpm);

      /*Membaca nilai analog*/
      sensorValue = analogRead(analogInPin);
      sp = map(sensorValue, 0, 1023, 0, 1500); //mengatur jangkauan pada
      output analog

      encoderValue = 0;

      /* Rumus PID */
      error = sp - rpm;           // error
      integral += error;         // integral
      derivative = (error - last_error); // Derivative
      motorSpeed = ((kp*error) + (ki*integral) + (kd*(derivative)));
      //Penambahan Rumus PID

      /* Kontrol Motor DC */
      if (motorSpeed > 255) motorSpeed = 255;
      else if(motorSpeed < 0) motorSpeed = 0;
      analogWrite(PWM, motorSpeed);
    }
  }
}

```



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```

    last_error = error;
    data++;
  }
  analogWrite(PWM,motorSpeed);
}
analogWrite(PWM, 0);
}

/* Void perintah untuk Menambah Nilai Encoder */
void updateEncoder(){
  encoderValue++;
}

```

- 4) Masukkan nilai Proportional Integral Derivatif sesuai pada
- 5) Lalu Upload Kode
- 6) Buka serial Plotter
- 7) Ulangi perintah

F. Tugas

Tabel 4.1

No	Setpoint	Kp	Ki	Kd	Max Overshoot	Rise Time	Steady State
1.	150	1	1	0.1			
2.	150	2	1.5	0.2			
3.	150	3	2	0.3			
4.	150	4	2.5	0.4			
5.	150	5	3	0.5			

LAMPIRAN 5

Datasheet Motor DC PG28



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta





DC Carbon-brush motors

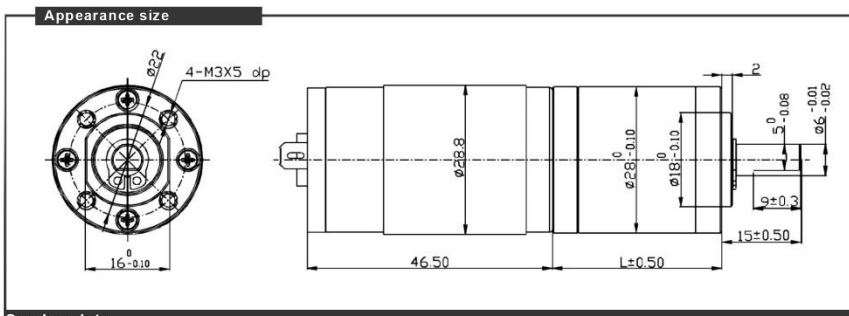
PG28 1:16
750Rpm



PG28M395 Geared Motor Series

Typical applications:

Peristaltic pump, Micro CNC equipment, ATM bank automatic system, Card conveyors, Auto shutter, Binding machine, Mimeograph, Office equipment, Household appliances, Automatic actuator.



Gearbox data					
Number of stages	1 stages reduction	2 stage s reduction	3 stage s reduction	4stag es reduction	5stag es reduction
Reduction ratio	4 4.75	16 19 22.5	64. 76. 90. 107.	256. 304. 361. 428. 509.	1024. 1216. 141715. 2036. 2418.
Gearbox length L mm	22	27.1	32.2	37.3	42.4
Max. Running torque	2.0Kg f · cm	3.0Kg f · cm	4.0Kg f · cm	6.0Kg f · cm	10Kg f · cm
Max. Gear breaking torque	6.0Kg f · cm	9.0Kg f · cm	12Kg f · cm	18Kg f · cm	30Kg f · cm
Gearing efficiency	90%	81%	73%	65%	59%

- Hak Cipta :**
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta





Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Motor name	Rated Volt. V	No load		Load torque			Stall torque		
		Current mA	Speed r/min	Current mA	Speed r/min	Torque gf cm	Output power W	Torque gf cm	Current mA
RS-395123000	12	60	3000	250	2200	65	1.4	260	800
RS-395124500	12	90	4500	430	3300	80	320	1400	
RS-395126000	12	130	6000	750	4500	105	420	2600	
RS-395243000	24	40	3000	120	2200	65	1.4	260	400
RS-395244500	24	50	4500	220	3300	80	2.6	320	700
RS-3952412000	24	70	12000	380	6000	150	4.7	820	1400

1. Please refer to motor RS-395 for the motor graph.
 2. After connecting motor and gearbox which is named gearmotor the output torque: motor torque X reduction ratio X gearing efficiency; output speed: motor speed / reduction ratio.

NOTE


1. Gearmotor named methods: e.g. PG28M395123000-90K Motor please refer to the motor data RS-395123000. Gearbox please refer to gearbox data reduction ratio 90. Related to gearmotor output speed and torque please refer to motor data.
2. Motor can be installed with magnetic encoder.
3. Standard output shaft after reducing: F8.0mm. other sizes of the output shaft can make as client request.
4. Chart only for reference, products shall prevail the entity.

ENCODERS MAGNETIC SERIES

- Two Channel HallEffect Encoder
- ★ Operating relative humidity: 20%~85%RH
- ★ Operating temperature range: -40°C~+85°C



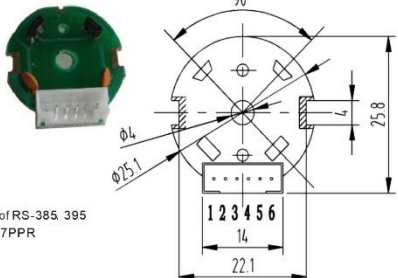
Appearance size



Two Channel Encoder Connections :

1. MOTOR-
2. MOTOR+
3. HALL SENSOR Vcc
4. HALL SENSOR GND
5. HALL SENSOR A Vout
6. HALL SENSOR B Vout

*The encoder mainly install on the Motor of RS-385, 395
 *Each turn output 3PPR, 7PPR, 12PPR, 7PPR



ELECTRICAL CHARACTERISTICS

At V_{cc}/I_t 24V with 20mA load with Ta=-40°C to 125°C [-40°F to 257°F] unless otherwise noted.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

CHARACTERISTICS	SYMBOL	TEST CONDITIONS	MIN	REF	MAX	UNITS
Supply Voltage	Vcc	---	4.5	--	24	V
Supply Current	Icc	---	--	14	20	mA
Output Current	Ic	Vce=12V; Gauss<-170	--	--0.1	20	mA
Output Leakage Current	Icex	Output open; 25 [77°F]	--	--	10	μA
Output Rise Time	Tr	RL=820 ; CL=20pF; 25	--	0.5	1.5	s
Output Fall Time	Tf	RL=820 ; CL=20pF; 25	--	0.2	1.5	s



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

LAMPIRAN 6

Datasheet Motor Driver BTS7960



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Data Sheet, Rev. 1.1, December 2004

BTS 7960

High Current PN Half Bridge

NovalithIC™

43 A, 7 mΩ + 9 mΩ

Automotive Power



Never stop thinking.

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



**High Current PN Half Bridge
BTS 7960**

Product Summary	2
Basic Features	2
1 Overview	3
1.1 Block Diagram	3
1.2 Terms	4
2 Pin Configuration	5
2.1 Pin Assignment	5
2.2 Pin Definitions and Functions	5
3 Maximum Ratings	6
4 Block Description and Characteristics	7
4.1 Supply Characteristics	7
4.2 Power Stages	8
4.2.1 Power Stages - Static Characteristics	9
4.2.2 Switching Times	10
4.2.3 Power Stages - Dynamic Characteristics	11
4.3 Protection Functions	13
4.3.1 Overvoltage Lock Out	13
4.3.2 Undervoltage Shut Down	13
4.3.3 Overtemperature Protection	13
4.3.4 Current Limitation	13
4.3.5 Short Circuit Protection	15
4.3.6 Electrical Characteristics - Protection Functions	16
4.4 Control and Diagnostics	17
4.4.1 Input Circuit	17
4.4.2 Dead Time Generation	17
4.4.3 Adjustable Slew Rate	17
4.4.4 Status Flag Diagnosis With Current Sense Capability	17
4.4.5 Truth Table	19
4.4.6 Electrical Characteristics - Control and Diagnostics	20
5 Thermal Characteristics	21
6 Application	22
6.1 Application Example	22
6.2 Layout Considerations	22
7 Package Outlines P-TO-263-7	23
8 Package Outlines P-TO-220-7	24
9 Revision History	25

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



**High Current PN Half Bridge
NovalithIC™**

BTS 7960B

BTS 7960P

Product Summary

The **BTS 7960** is a fully integrated high current half bridge for motor drive applications. It is part of the **NovalithIC™** family containing one p-channel highside MOSFET and one n-channel lowside MOSFET with an integrated driver IC in one package. Due to the p-channel highside switch the need for a charge pump is eliminated thus minimizing EMI. Interfacing to a microcontroller is made easy by the integrated driver IC which features logic level inputs, diagnosis with current sense, slew rate adjustment, dead time generation and protection against overtemperature, overvoltage, undervoltage, overcurrent and short circuit.

The **BTS 7960** provides a cost optimized solution for protected high current PWM motor drives with very low board space consumption.

Basic Features

- Path resistance of typ. 16 mΩ @ 25 °C
- Low quiescent current of typ. 7 μA @ 25 °C
- PWM capability of up to 25 kHz combined with active freewheeling
- Switched mode current limitation for reduced power dissipation in overcurrent
- Current limitation level of 43 A typ.
- Status flag diagnosis with current sense capability
- Overtemperature shut down with latch behaviour
- Overvoltage lock out
- Undervoltage shut down
- Driver circuit with logic level inputs
- Adjustable slew rates for optimized EMI



**BTS 7960B
P-TO-263-7**



**BTS 7960P
P-TO-220-7**

Type	Ordering Code	Package
BTS 7960B	Q67060-S6160	P-TO-263-7
BTS 7960P	on request	P-TO-220-7

Data Sheet

2

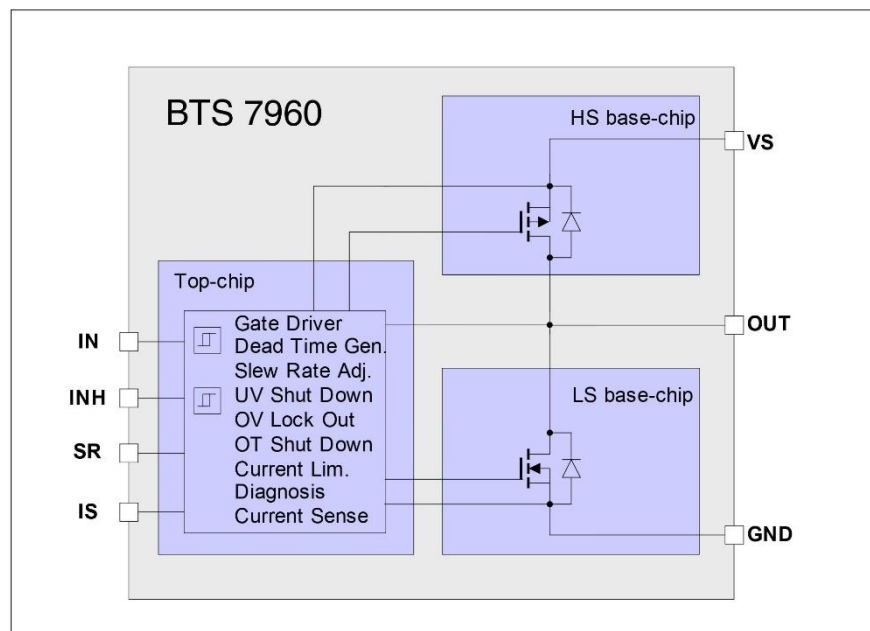
Rev. 1.1, 2004-12-07


Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta


**High Current PN Half Bridge
BTS 7960**
Overview
1 Overview

The **BTS 7960** is part of the **NovalithIC™** family containing three separate chips in one package: One p-channel highside MOSFET and one n-channel lowside MOSFET together with a driver IC, forming a fully integrated high current half-bridge. All three chips are mounted on one common leadframe, using the chip on chip and chip by chip technology. The power switches utilize vertical MOS technologies to ensure optimum on state resistance. Due to the p-channel highside switch the need for a charge pump is eliminated thus minimizing EMI. Interfacing to a microcontroller is made easy by the integrated driver IC which features logic level inputs, diagnosis with current sense, slew rate adjustment, dead time generation and protection against overtemperature, overvoltage, undervoltage, overcurrent and short circuit. The **BTS 7960** can be combined with other **BTS 7960** to form H-bridge and 3-phase drive configurations.

1.1 Block Diagram

Figure 1 Block Diagram



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



High Current PN Half Bridge BTS 7960

Overview

1.2 Terms

Following figure shows the terms used in this data sheet.

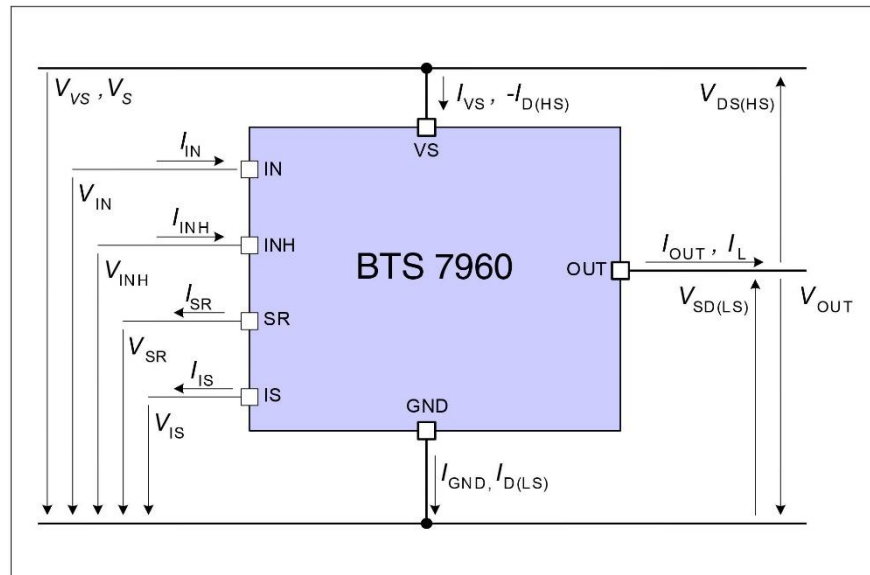
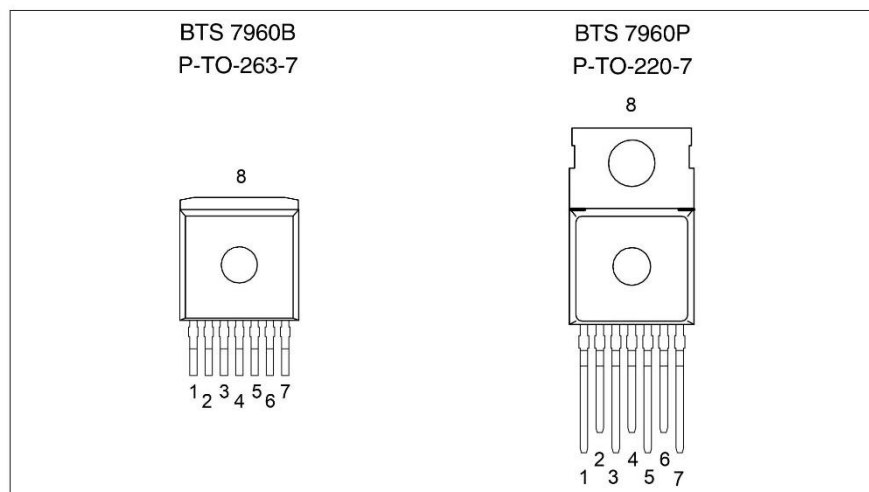


Figure 2 Terms


Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta


**High Current PN Half Bridge
BTS 7960**
Pin Configuration
2 Pin Configuration
2.1 Pin Assignment

Figure 3 Pin Assignment BTS 7960B and BTS 7960P (top view)
2.2 Pin Definitions and Functions

Pin	Symbol	I/O	Function
1	GND	-	Ground
2	IN	I	Input Defines whether high- or lowside switch is activated
3	INH	I	Inhibit When set to low device goes in sleep mode
4,8	OUT	O	Power output of the bridge
5	SR	I	Slew Rate The slew rate of the power switches can be adjusted by connecting a resistor between SR and GND
6	IS	O	Current Sense and Diagnosis
7	VS	-	Supply

Bold type: pin needs power wiring


**High Current PN Half Bridge
BTS 7960**
Maximum Ratings
3 Maximum Ratings
 $-40\text{ }^{\circ}\text{C} < T_j < 150\text{ }^{\circ}\text{C}$ (unless otherwise specified)

Pos	Parameter	Symbol	Limits		Unit	Test Condition
			min	max		
Electrical Maximum Ratings						
3.0.1	Supply voltage	V_{VS}	-0.3	45	V	
3.0.2	Logic Input Voltage	V_{IN} V_{INH}	-0.3	5.3	V	
3.0.3	HS/LS continuous drain current	$I_{D(HS)}$ $I_{D(LS)}$	-40	40 ¹⁾	A	$T_C < 85^{\circ}\text{C}$ switch active
3.0.4	HS pulsed drain current	$I_{D(HS)}$	-60	60 ¹⁾	A	$T_C < 85^{\circ}\text{C}$
3.0.5	LS pulsed drain current	$I_{D(LS)}$	-60	60 ¹⁾	A	$t_{\text{pulse}} = 10\text{ms}$
3.0.6	Voltage at SR pin	V_{SR}	-0.3	1.0	V	
3.0.7	Voltage between VS and IS pin	$V_{VS} - V_{IS}$	-0.3	45	V	
3.0.8	Voltage at IS pin	V_{IS}	-20	45	V	
Thermal Maximum Ratings						
3.0.9	Junction temperature	T_j	-40	150	$^{\circ}\text{C}$	
3.0.10	Storage temperature	T_{stg}	-55	150	$^{\circ}\text{C}$	
ESD Susceptibility						
3.0.11	ESD susceptibility HBM	V_{ESD}			kV	according to EIA/ JESD 22-A 114B
	IN, INH, SR, IS OUT, GND, VS		-2 -6	2 6		

¹⁾ Maximum reachable current may be smaller depending on current limitation level

Note: Maximum ratings are absolute ratings; exceeding any one of these values may cause irreversible damage to the device. Exposure to maximum rating conditions for extended periods of time may affect device reliability

- Hak Cipta :**
- Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
 - Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta


 High Current PN Half Bridge
 BTS 7960

Block Description and Characteristics

4 Block Description and Characteristics

4.1 Supply Characteristics

 $-40\text{ }^{\circ}\text{C} < T_j < 150\text{ }^{\circ}\text{C}$, $8\text{ V} < V_S < 18\text{ V}$, $I_L = 0\text{ A}$ (unless otherwise specified)

Pos.	Parameter	Symbol	Limit Values			Unit	Test Conditions
			min.	typ.	max.		
General							
4.1.1	Operating Voltage	V_S	5.5	–	27.5	V	
4.1.2	Supply Current	$I_{VS(on)}$	–	2	3	mA	$V_{INH} = 5\text{ V}$ $V_{IN} = 0\text{ V or } 5\text{ V}$ $R_{SR} = 0\text{ }\Omega$ DC-mode normal operation (no fault condition)
4.1.3	Quiescent Current	$I_{VS(off)}$	–	7	15	μA	$V_{INH} = 0\text{ V}$ $V_{IN} = 0\text{ V or } 5\text{ V}$ $T_j < 85\text{ }^{\circ}\text{C}$
			–	–	65	μA	$V_{INH} = 0\text{ V}$ $V_{IN} = 0\text{ V or } 5\text{ V}$

- Hak Cipta :**
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



High Current PN Half Bridge BTS 7960

Block Description and Characteristics

4.2 Power Stages

The power stages of the BTS 7960 consist of a p-channel vertical DMOS transistor for the high side switch and a n-channel vertical DMOS transistor for the low side switch. All protection and diagnostic functions are located in a separate top chip. Both switches can be operated up to 25 kHz, allowing active freewheeling and thus minimizing power dissipation in the forward operation of the integrated diodes.

The on state resistance R_{ON} is dependent on the supply voltage V_S as well as on the junction temperature T_J . The typical on state resistance characteristics are shown in Figure 4.

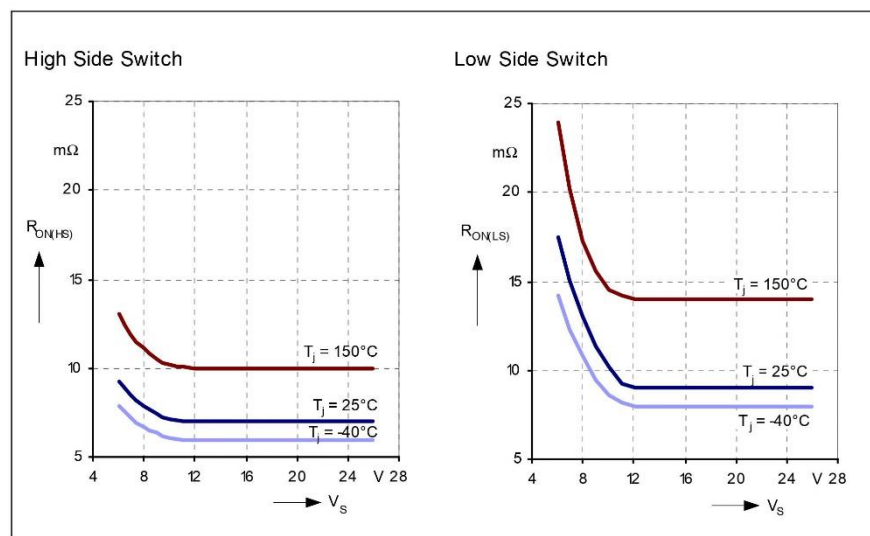


Figure 4 Typical On State Resistance vs. Supply Voltage

- Hak Cipta :**
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta


Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta


**High Current PN Half Bridge
BTS 7960**
Block Description and Characteristics
4.2.1 Power Stages - Static Characteristics
 $-40\text{ }^{\circ}\text{C} < T_j < 150\text{ }^{\circ}\text{C}$, $8\text{ V} < V_S < 18\text{ V}$ (unless otherwise specified)

Pos.	Parameter	Symbol	Limit Values			Unit	Test Conditions
			min.	typ.	max.		
High Side Switch - Static Characteristics							
4.2.1	On state high side resistance	$R_{ON(HS)}$	–	7 10	9 12.5	mΩ	$I_{OUT} = 9\text{ A}$ $V_S = 13.5\text{ V}$ $T_j = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ $T_j = 150\text{ }^{\circ}\text{C}$
4.2.2	Leakage current high side	$I_{L(LKHS)}$	–	–	1	μA	$V_{INH} = 0\text{ V}$ $V_{OUT} = 0\text{ V}$ $T_j < 85\text{ }^{\circ}\text{C}$
			–	–	50	μA	$V_{INH} = 0\text{ V}$ $V_{OUT} = 0\text{ V}$ $T_j = 150\text{ }^{\circ}\text{C}$
4.2.3	Reverse diode forward-voltage high side ¹⁾	$V_{DS(HS)}$	–	0.9	1.5	V	$I_{OUT} = -9\text{ A}$ $T_j = -40\text{ }^{\circ}\text{C}$ $T_j = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ $T_j = 150\text{ }^{\circ}\text{C}$
			–	0.8	1.1		
			–	0.6	0.8		
Low Side Switch - Static Characteristics							
4.2.4	On state low side resistance	$R_{ON(LS)}$	–	9 14	12 18	mΩ	$I_{OUT} = -9\text{ A}$ $V_S = 13.5\text{ V}$ $T_j = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ $T_j = 150\text{ }^{\circ}\text{C}$
4.2.5	Leakage current low side	$I_{L(LKLS)}$	–	–	1	μA	$V_{INH} = 0\text{ V}$ $V_{OUT} = V_S$ $T_j < 85\text{ }^{\circ}\text{C}$
			–	–	15	μA	$V_{INH} = 0\text{ V}$ $V_{OUT} = V_S$ $T_j = 150\text{ }^{\circ}\text{C}$
4.2.6	Reverse diode forward-voltage low side ¹⁾	$V_{SD(LS)}$	–	0.9	1.5	V	$I_{OUT} = 9\text{ A}$ $T_j = -40\text{ }^{\circ}\text{C}$ $T_j = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ $T_j = 150\text{ }^{\circ}\text{C}$
			–	0.8	1.1		
			–	0.6	0.8		

¹⁾ Due to active freewheeling, diode is conducting only for a few μs, depending on R_{SR}



4.2.2 Switching Times

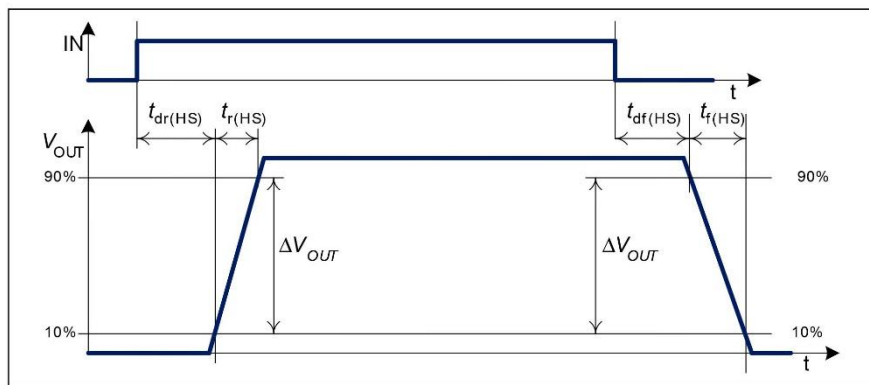


Figure 5 Definition of switching times high side (R_{load} to GND)

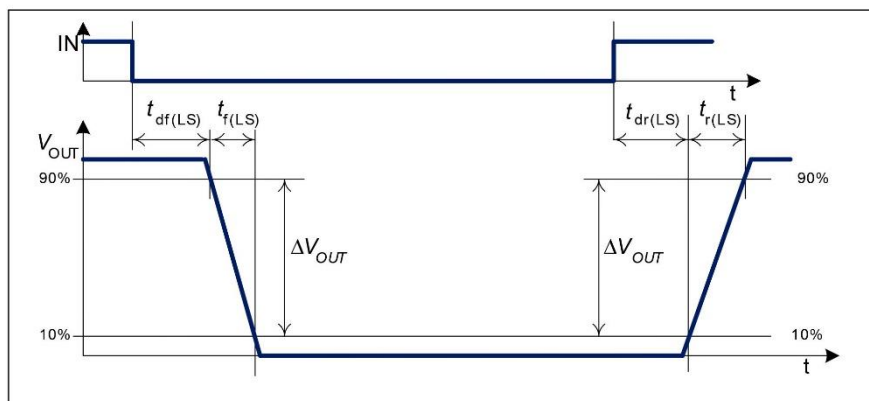


Figure 6 Definition of switching times low side (R_{load} to VS)

Due to the timing differences for the rising and the falling edge there will be a slight difference between the length of the input pulse and the length of the output pulse. It can be calculated using the following formulas:

- $\Delta t_{HS} = (t_{dr(HS)} + 0.5 t_{r(HS)}) - (t_{df(HS)} + 0.5 t_{f(HS)})$
- $\Delta t_{LS} = (t_{df(LS)} + 0.5 t_{f(LS)}) - (t_{dr(LS)} + 0.5 t_{r(LS)})$

Hak Cipta :
 1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta


 High Current PN Half Bridge
 BTS 7960

Block Description and Characteristics

4.2.3 Power Stages - Dynamic Characteristics

 $-40\text{ }^{\circ}\text{C} < T_j < 150\text{ }^{\circ}\text{C}$, $V_S = 13.5\text{ V}$, $R_{load} = 2\Omega$ (unless otherwise specified)

Pos.	Parameter	Symbol	Limit Values			Unit	Test Conditions
			min.	typ.	max.		
High Side Switch Dynamic Characteristics							
4.2.7	Rise-time of HS	$t_{r(HS)}$	0.5 – 2.8	1 2 7	1.5 – 11	μs	$R_{SR} = 0\ \Omega$ $R_{SR} = 5.1\ \text{k}\Omega$ $R_{SR} = 51\ \text{k}\Omega$
4.2.8	Slew rate HS on	$\Delta V_{OUT}/t_{r(HS)}$	– – –	11 6 1.6	– – –	$\text{V}/\mu\text{s}$	$R_{SR} = 0\ \Omega$ $R_{SR} = 5.1\ \text{k}\Omega$ $R_{SR} = 51\ \text{k}\Omega$
4.2.9	Switch on delay time HS	$t_{dr(HS)}$	1.7 – 5.6	3.1 4.4 14	4.5 – 22.4	μs	$R_{SR} = 0\ \Omega$ $R_{SR} = 5.1\ \text{k}\Omega$ $R_{SR} = 51\ \text{k}\Omega$
4.2.10	Fall-time of HS	$t_{f(HS)}$	0.5 – 2.8	1 2 7	1.5 – 11	μs	$R_{SR} = 0\ \Omega$ $R_{SR} = 5.1\ \text{k}\Omega$ $R_{SR} = 51\ \text{k}\Omega$
4.2.11	Slew rate HS off	$-\Delta V_{OUT}/t_{f(HS)}$	– – –	11 6 1.6	– – –	$\text{V}/\mu\text{s}$	$R_{SR} = 0\ \Omega$ $R_{SR} = 5.1\ \text{k}\Omega$ $R_{SR} = 51\ \text{k}\Omega$
4.2.12	Switch off delay time HS	$t_{df(HS)}$	1.2 – 4	2.4 3.4 10	3.6 – 16	μs	$R_{SR} = 0\ \Omega$ $R_{SR} = 5.1\ \text{k}\Omega$ $R_{SR} = 51\ \text{k}\Omega$

- Hak Cipta :**
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta


**High Current PN Half Bridge
BTS 7960**
Block Description and Characteristics
 $-40\text{ }^{\circ}\text{C} < T_j < 150\text{ }^{\circ}\text{C}$, $V_S = 13.5\text{ V}$, $R_{load} = 2\Omega$ (unless otherwise specified)

Pos.	Parameter	Symbol	Limit Values			Unit	Test Conditions
			min.	typ.	max.		
Low Side Switch Dynamic Characteristics							
4.2.13	Rise-time of LS	$t_{r(LS)}$	0.5 – 2.8	1 2 7	1.5 – 11	μs	$R_{SR} = 0\ \Omega$ $R_{SR} = 5.1\ \text{k}\Omega$ $R_{SR} = 51\ \text{k}\Omega$
4.2.14	Slew rate LS switch off	$\Delta V_{OUT}/t_{r(LS)}$	– – –	11 6 1.6	– – –	$\text{V}/\mu\text{s}$	$R_{SR} = 0\ \Omega$ $R_{SR} = 5.1\ \text{k}\Omega$ $R_{SR} = 51\ \text{k}\Omega$
4.2.15	Switch off delay time LS	$t_{dr(LS)}$	0.7 – 2.8	1.3 2.2 7	1.9 – 11.2	μs	$R_{SR} = 0\ \Omega$ $R_{SR} = 5.1\ \text{k}\Omega$ $R_{SR} = 51\ \text{k}\Omega$
4.2.16	Fall-time of LS	$t_{f(LS)}$	0.5 – 2.8	1 2 7	1.5 – 11	μs	$R_{SR} = 0\ \Omega$ $R_{SR} = 5.1\ \text{k}\Omega$ $R_{SR} = 51\ \text{k}\Omega$
4.2.17	Slew rate LS switch on	$-\Delta V_{OUT}/t_{f(LS)}$	– – –	11 6 1.6	– – –	$\text{V}/\mu\text{s}$	$R_{SR} = 0\ \Omega$ $R_{SR} = 5.1\ \text{k}\Omega$ $R_{SR} = 51\ \text{k}\Omega$
4.2.18	Switch on delay time LS	$t_{df(LS)}$	2.2 – 6.4	4 5.6 16	5.8 – 25.4	μs	$R_{SR} = 0\ \Omega$ $R_{SR} = 5.1\ \text{k}\Omega$ $R_{SR} = 51\ \text{k}\Omega$

- Hak Cipta :**
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta


Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta


**High Current PN Half Bridge
BTS 7960**
Block Description and Characteristics
4.3 Protection Functions

The device provides integrated protection functions. These are designed to prevent IC destruction under fault conditions described in the data sheet. Fault conditions are considered as “outside” normal operating range. Protection functions are not to be used for continuous or repetitive operation, with the exception of the current limitation (**Chapter 4.3.4**). In a fault condition the BTS 7960 will apply the highest slew rate possible independent of the connected slew rate resistor. Overvoltage, overtemperature and overcurrent are indicated by a fault current $I_{IS(LIM)}$ at the IS pin as described in the paragraph “**Status Flag Diagnosis With Current Sense Capability**” on **Page 17** and **Figure 10**.

In the following the protection functions are listed in order of their priority. Overvoltage lock out overrides all other error modes.

4.3.1 Overvoltage Lock Out

To assure a high immunity against overvoltages (e.g. load dump conditions) the device shuts the lowside MOSFET off and turns the highside MOSFET on, if the supply voltage is exceeding the over voltage protection level $V_{OV(OFF)}$. The IC operates in normal mode again with a hysteresis $V_{OV(HY)}$ if the supply voltage decreases below the switch-on voltage $V_{OV(ON)}$. In H-bridge configuration, this behavior of the BTS 7960 will lead to freewheeling in highside during over voltage.

4.3.2 Undervoltage Shut Down

To avoid uncontrolled motion of the driven motor at low voltages the device shuts off (output is tri-state), if the supply voltage drops below the switch-off voltage $V_{UV(OFF)}$. The IC becomes active again with a hysteresis $V_{UV(HY)}$ if the supply voltage rises above the switch-on voltage $V_{UV(ON)}$.

4.3.3 Overtemperature Protection

The BTS 7960 is protected against overtemperature by an integrated temperature sensor. Overtemperature leads to a shut down of both output stages. This state is latched until the device is reset by a low signal with a minimum length of t_{reset} at the INH pin, provided that its temperature has decreased at least the thermal hysteresis ΔT in the meantime.

Repetitive use of the overtemperature protection might reduce lifetime.

4.3.4 Current Limitation

The current in the bridge is measured in both switches. As soon as the current in forward direction in one switch (high side or low side) is reaching the limit I_{CLx} , this switch is deactivated and the other switch is activated for t_{CLS} . During that time all changes at the



- Hak Cipta :**
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



**High Current PN Half Bridge
BTS 7960**

Block Description and Characteristics

IN pin are ignored. However, the INH pin can still be used to switch both MOSFETs off. After t_{CLS} the switches return to their initial setting. The error signal at the IS pin is reset after $2 * t_{CLS}$. Unintentional triggering of the current limitation by short current spikes (e.g. inflicted by EMI coming from the motor) is suppressed by internal filter circuitry. Due to thresholds and reaction delay times of the filter circuitry the effective current limitation level I_{CLx} depends on the slew rate of the load current di/dt as shown in **Figure 8**

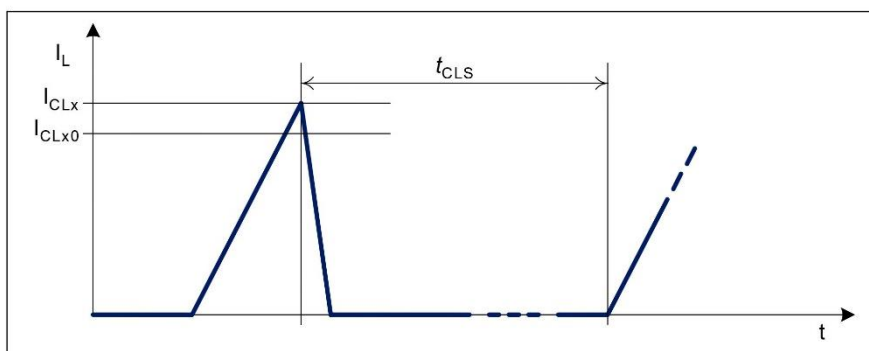


Figure 7 Timing Diagram Current Limitation

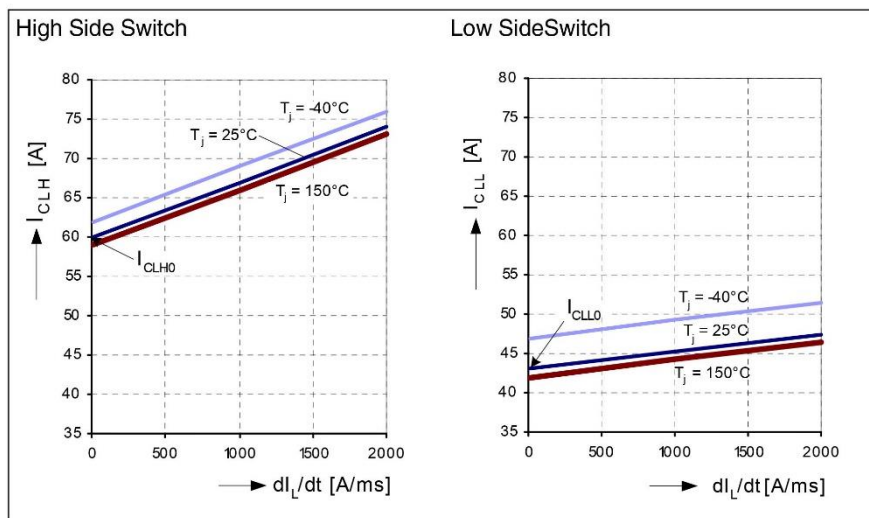
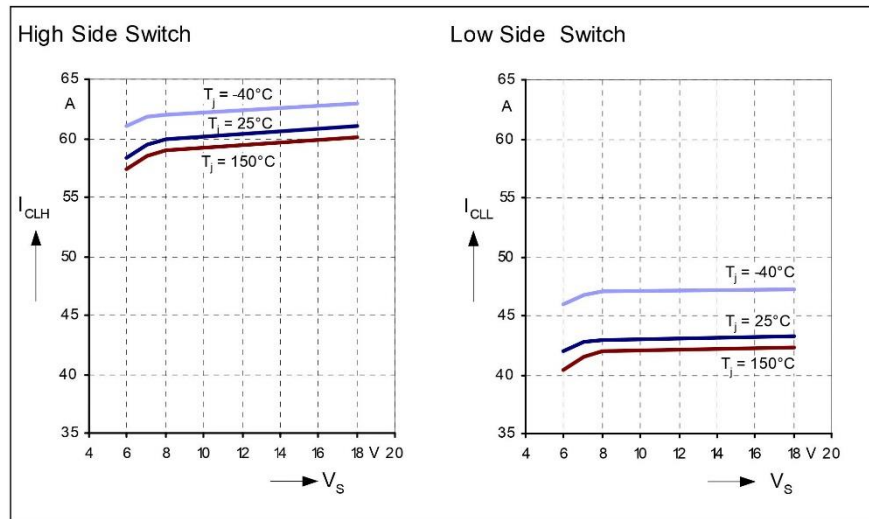


Figure 8 Current Limitation Level vs. Current Slew Rate di/dt


Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta


**High Current PN Half Bridge
BTS 7960**
Block Description and Characteristics

Figure 9 Typical Current Limitation Detection Levels vs. Supply Voltage

In combination with a typical inductive load, such as a motor, this results in a switched mode current limitation. That way of limiting the current has the advantage that the power dissipation in the BTS 7960 is much smaller than by driving the MOSFETs in linear mode. Therefore it is possible to use the current limitation for a short time without exceeding the maximum allowed junction temperature (e.g. for limiting the inrush current during motor start up). However, the regular use of the current limitation is allowed as long as the specified maximum junction temperature is not exceeded. Exceeding this temperature can reduce the lifetime of the device.

4.3.5 Short Circuit Protection

The device is short circuit protected against

- output short circuit to ground
- output short circuit to supply voltage
- short circuit of load

The short circuit protection is realized by the previously described current limitation in combination with the over-temperature shut down of the device


**High Current PN Half Bridge
BTS 7960**
Block Description and Characteristics
4.3.6 Electrical Characteristics - Protection Functions
 $-40\text{ }^{\circ}\text{C} < T_j < 150\text{ }^{\circ}\text{C}; 8\text{ V} < V_S < 18\text{ V}$ (unless otherwise specified)

Pos.	Parameter	Symbol	Limit Values			Unit	Test Conditions
			min.	typ.	max.		
Under Voltage Shut Down							
4.3.1	Switch-ON voltage	$V_{UV(ON)}$	–	–	5.5	V	V_S increasing
4.3.2	Switch-OFF voltage	$V_{UV(OFF)}$	4.0	–	5.4	V	V_S decreasing
4.3.3	ON/OFF hysteresis	$V_{UV(HY)}$	–	0.2	–	V	–
Over Voltage Lock Out							
4.3.4	Switch-ON voltage	$V_{OV(ON)}$	27.5	–	–	V	V_S decreasing
4.3.5	Switch-OFF voltage	$V_{OV(OFF)}$	27.6	–	30	V	V_S increasing
4.3.6	ON/OFF hysteresis	$V_{OV(HY)}$	–	0.2	–	V	–
Current Limitation							
4.3.7	Current limitation detection level high side	I_{CLH0}	47 44 43	62 60 59	84 80 79	A	$V_S=13.5\text{ V}$ $T_j = -40\text{ }^{\circ}\text{C}$ $T_j = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ $T_j = 150\text{ }^{\circ}\text{C}$
4.3.8	Current limitation detection level low side	I_{CLL0}	36 34 33	47 43 42	64 61 61	A	$V_S=13.5\text{ V}$ $T_j = -40\text{ }^{\circ}\text{C}$ $T_j = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ $T_j = 150\text{ }^{\circ}\text{C}$
Current Limitation Timing							
4.3.9	Shut off time for HS and LS	t_{CLS}	70	115	210	μs	$V_S=13.5\text{ V}$
Thermal Shut Down							
4.3.10	Thermal shut down junction temperature	T_{jSD}	152	175	200	$^{\circ}\text{C}$	–
4.3.11	Thermal switch on junction temperature	T_{jSO}	150	–	190	$^{\circ}\text{C}$	–
4.3.12	Thermal hysteresis	ΔT	–	7	–	K	–
4.3.13	Reset pulse at INH pin (INH low)	t_{reset}	3	–	–	μs	–

- Hak Cipta :**
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



High Current PN Half Bridge BTS 7960

Block Description and Characteristics

4.4 Control and Diagnostics

4.4.1 Input Circuit

The control inputs IN and INH consist of TTL/CMOS compatible schmitt triggers with hysteresis which control the integrated gate drivers for the MOSFETs. Setting the INH pin to high enables the device. In this condition one of the two power switches is switched on depending on the status of the IN pin. To deactivate both switches, the INH pin has to be set to low. No external driver is needed. The BTS 7960 can be interfaced directly to a microcontroller.

4.4.2 Dead Time Generation

In bridge applications it has to be assured that the highside and lowside MOSFET are not conducting at the same time, connecting directly the battery voltage to GND. This is assured by a circuit in the driver IC, generating a so called dead time between switching off one MOSFET and switching on the other. The dead time generated in the driver IC is automatically adjusted to the selected slew rate.

4.4.3 Adjustable Slew Rate

In order to optimize electromagnetic emission, the switching speed of the MOSFETs is adjustable by an external resistor. The slew rate pin SR allows the user to optimize the balance between emission and power dissipation within his own application by connecting an external resistor R_{SR} to GND.

4.4.4 Status Flag Diagnosis With Current Sense Capability

The status pin IS is used as a combined current sense and error flag output. In normal operation (current sense mode), a current source is connected to the status pin, which delivers a current proportional to the forward load current flowing through the active high side switch. If the high side switch is inactive or the current is flowing in the reverse direction no current will be driven except for a marginal leakage current $I_{IS(LK)}$. The external resistor R_{IS} determines the voltage per output current. E.g. with the nominal value of 8500 for the current sense ratio $k_{ILIS} = I_L / I_{IS}$, a resistor value of $R_{IS} = 1k\Omega$ leads to $V_{IS} = (I_L / 8.5 A)V$. In case of a fault condition the status output is connected to a current source which is independent of the load current and provides $I_{IS(lim)}$. The maximum voltage at the IS pin is determined by the choice of the external resistor and the supply voltage. In case of current limitation the $I_{IS(lim)}$ is activated for $2 * t_{CLS}$.

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



**High Current PN Half Bridge
BTS 7960**

Block Description and Characteristics

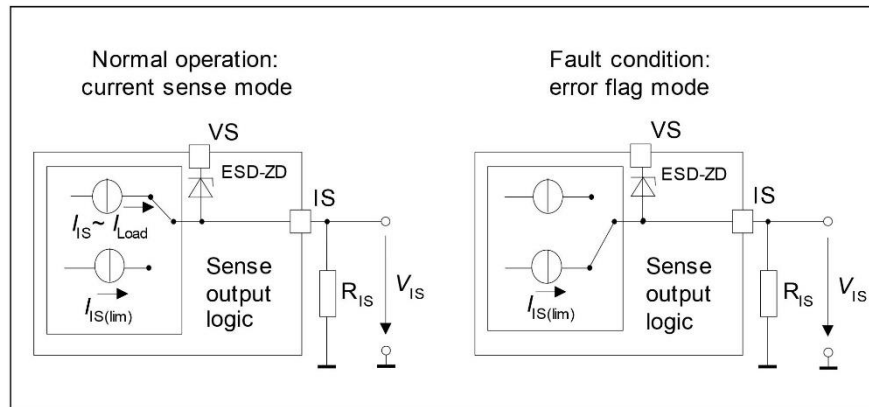


Figure 10 Sense current and fault current



High Current PN Half Bridge BTS 7960

Block Description and Characteristics

4.4.5 Truth Table

Device State	Inputs		Outputs			Mode
	INH	IN	HSS	LSS	IS	
Normal operation	0	X	OFF	OFF	0	Stand-by mode
	1	0	OFF	ON	0	LSS active
	1	1	ON	OFF	CS	HSS active
Over-voltage (OV)	X	X	ON	OFF	1	Shut-down of LSS, HSS activated, error detected
Under-voltage (UV)	X	X	OFF	OFF	0	UV lockout
Overtemperature or short circuit of HSS or LSS	0	X	OFF	OFF	0	Stand-by mode, reset of latch
	1	X	OFF	OFF	1	Shut-down with latch, error detected
Current limitation mode	1	1	OFF	ON	1	Switched mode, error detected
	1	0	ON	OFF	1	Switched mode, error detected

Inputs:	Switches	Status Flag IS:
0 = Logic LOW	OFF = switched off	CS = Current sense mode
1 = Logic HIGH	ON = switched on	1 = Logic HIGH (error)
X = 0 or 1		

- Hak Cipta :**
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta


 High Current PN Half Bridge
 BTS 7960

Block Description and Characteristics

4.4.6 Electrical Characteristics - Control and Diagnostics

 $-40\text{ }^{\circ}\text{C} < T_j < 150\text{ }^{\circ}\text{C}$, $8\text{ V} < V_S < 18\text{ V}$ (unless otherwise specified)

Pos.	Parameter	Symbol	Limit Values			Unit	Test Conditions
			min.	typ.	max.		
Control Inputs (IN and INH)							
4.4.1	High level voltage INH, IN	$V_{\text{INH(H)}}$ $V_{\text{IN(H)}}$	–	1.75 1.6	2.15 2	V	–
4.4.2	Low level voltage INH, IN	$V_{\text{INH(L)}}$ $V_{\text{IN(L)}}$	1.1	1.4	–	V	–
4.4.3	Input voltage hysteresis	V_{INHHY} V_{INHY}	–	350 200	–	mV	–
4.4.4	Input current	$I_{\text{INH(H)}}$ $I_{\text{IN(H)}}$	–	30	150	μA	$V_{\text{IN}} = V_{\text{INH}} = 5.3\text{ V}$
4.4.5	Input current	$I_{\text{INH(L)}}$ $I_{\text{IN(L)}}$	–	25	125	μA	$V_{\text{IN}} = V_{\text{INH}} = 0.4\text{ V}$
Current Sense							
4.4.6	Current sense ratio in static on-condition $k_{\text{ILIS}} = I_L / I_{\text{IS}}$	k_{ILIS}	6 5 3	8.5 8.5 8.5	11 12 14	10^3	$R_{\text{IS}} = 1\text{ k}\Omega$ $I_L = 30\text{ A}$ $I_L = 15\text{ A}$ $I_L = 5\text{ A}$
4.4.7	Maximum analog sense current, sense current in fault condition	$I_{\text{IS(lim)}}$	4	4.5	7	mA	$V_S = 13.5\text{ V}$ $R_{\text{IS}} = 1\text{ k}\Omega$
4.4.8	Isense leakage current	I_{ISL}	–	–	1	μA	$V_{\text{IN}} = 0\text{ V}$ or $V_{\text{INH}} = 0\text{ V}$
4.4.9	Isense leakage current, active high side switch	I_{ISH}	–	1	200	μA	$V_{\text{IN}} = V_{\text{INH}} = 5\text{ V}$ $I_L = 0\text{ A}$

- Hak Cipta :**
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta


**High Current PN Half Bridge
BTS 7960**
Thermal Characteristics
5 Thermal Characteristics

Pos	Parameter	Symbol	Limits		Unit	Test Condition
			min	max		
5.0.1	Thermal Resistance Junction-Case, Low Side Switch $R_{thjc(LS)} = \Delta T_{j(LS)} / P_{v(LS)}$	$R_{thjc(LS)}$	–	1.8	K/W	
5.0.2	Thermal Resistance Junction-Case, High Side Switch $R_{thjc(HS)} = \Delta T_{j(HS)} / P_{v(HS)}$	$R_{thjc(HS)}$	–	0.9	K/W	
5.0.3	Thermal Resistance Junction-Case, both Switches $R_{thjc} = \max[\Delta T_{j(HS)}, \Delta T_{j(LS)}] / (P_{v(HS)} + P_{v(LS)})$	R_{thjc}	–	1.0	K/W	
5.0.4	Thermal Resistance Junction-Ambient	R_{thja}	–	35	K/W	6cm ² cooling area

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

6 Application

6.1 Application Example

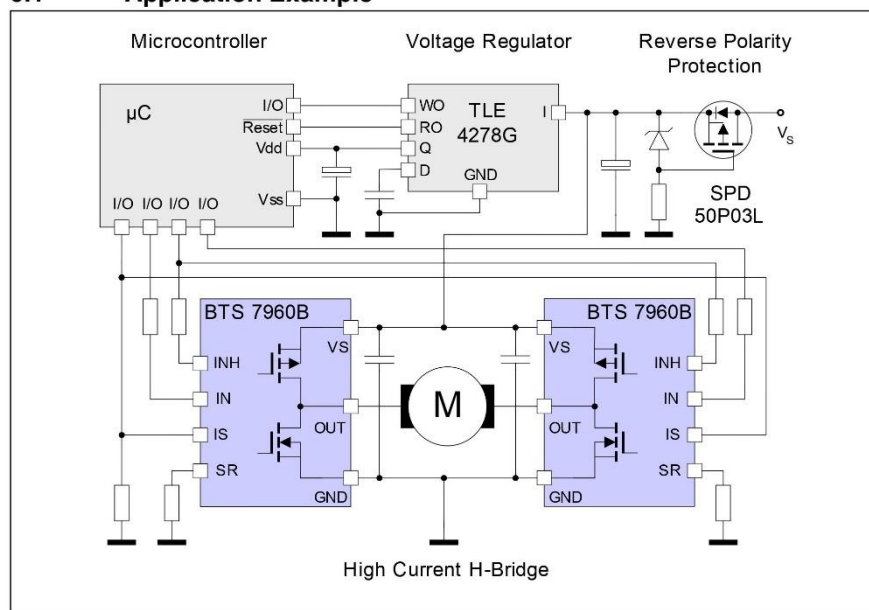


Figure 11 Application Example: H-Bridge with two BTS 7960B

6.2 Layout Considerations

Due to the fast switching times for high currents, special care has to be taken to the PCB layout. Stray inductances have to be minimized in the power bridge design as it is necessary in all switched high power bridges. The BTS 7960 has no separate pin for power ground and logic ground. Therefore it is recommended to assure that the offset between the ground connection of the slew rate resistor, the current sense resistor and ground pin of the device (GND / pin 1) is minimized. If the BTS 7960 is used in a H-bridge or B6 bridge design, the voltage offset between the GND pins of the different devices should be small as well.

A ceramic capacitor from VS to GND close to each device is recommended to provide current for the switching phase via a low inductance path and therefore reducing noise and ground bounce. A reasonable value for this capacitor would be about 470 nF.

The digital inputs need to be protected from excess currents (e.g. caused by induced voltage spikes) by series resistors in the range of 10 k Ω .

Hak Cipta :

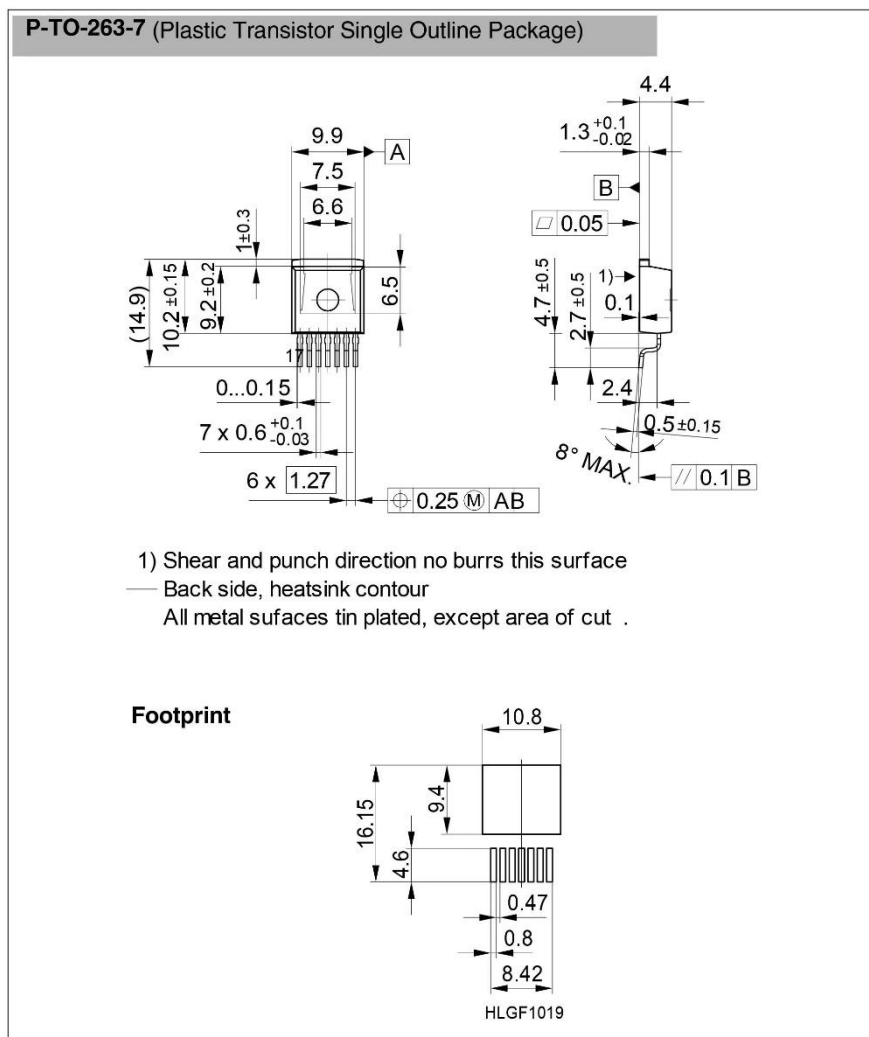
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



High Current PN Half Bridge
BTS 7960

Package Outlines P-TO-263-7

7 Package Outlines P-TO-263-7



You can find all of our packages, sorts of packing and others in our Infineon Internet Page "Products": <http://www.infineon.com/products>.

SMD = Surface Mounted Device

Dimensions in mm

Data Sheet

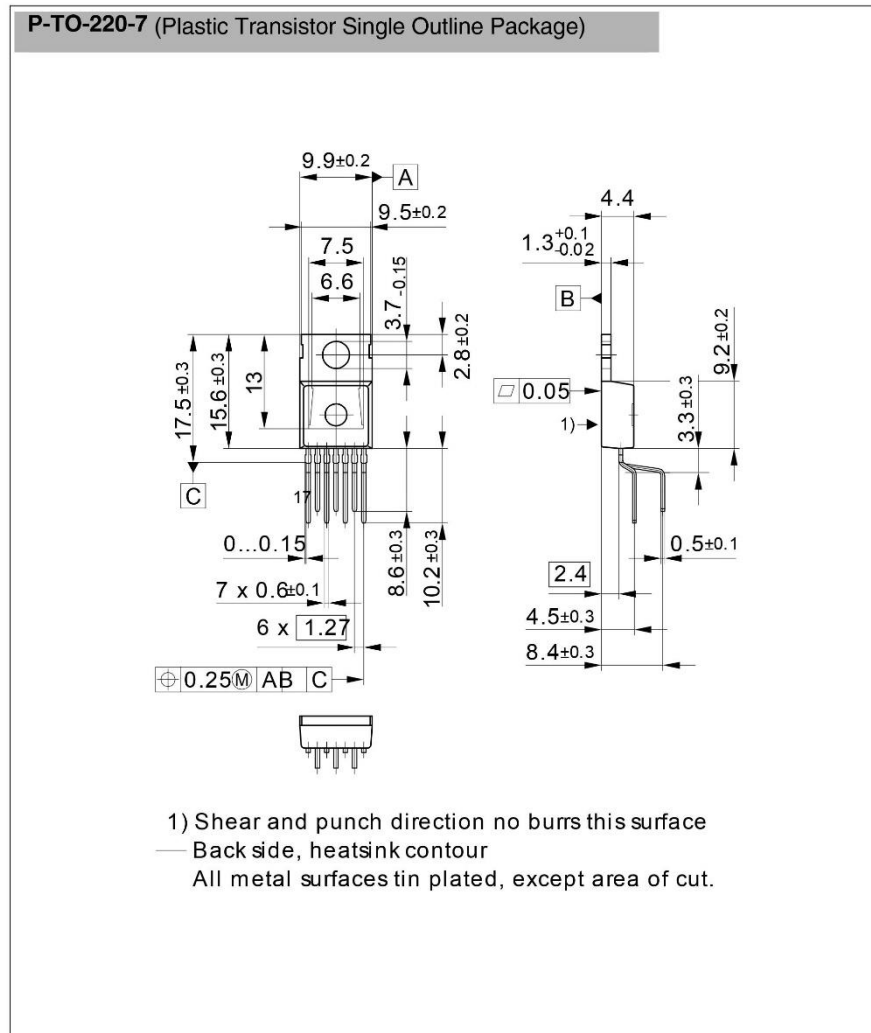
23

Rev. 1.1, 2004-12-07

- Hak Cipta :**
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



8 Package Outlines P-TO-220-7



You can find all of our packages, sorts of packing and others in our Infineon Internet Page "Products": <http://www.infineon.com/products>.

Dimensions in mm

Data Sheet

24

Rev. 1.1, 2004-12-07

- Hak Cipta :**
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



**High Current PN Half Bridge
BTS 7960**

Revision History

9 Revision History

Revision	Date	Changes / Comments
n.a.	2004-03-18	Target Data Sheet
0.9	2004-10-10	Target Data Sheet converted to new layout
1.0	2004-11-30	Preliminary Data Sheet
1.1	2004-12-07	"Preliminary" removed; No other changes

Data Sheet

25

2004-12-07



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



**High Current PN Half Bridge
BTS 7960**

Edition 2004-12-07

Published by Infineon Technologies AG,
St.-Martin-Strasse 53,
D-81541 München, Germany

© Infineon Technologies AG 2004-12-07.
All Rights Reserved.

Attention please!

The information herein is given to describe certain components and shall not be considered as warranted characteristics.

Terms of delivery and rights to technical change reserved.

We hereby disclaim any and all warranties, including but not limited to warranties of non-infringement, regarding circuits, descriptions and charts stated herein.

Infineon Technologies is an approved CECC manufacturer.

Information

For further information on technology, delivery terms and conditions and prices please contact your nearest Infineon Technologies Office in Germany or our Infineon Technologies Representatives worldwide.

Warnings

Due to technical requirements components may contain dangerous substances. For information on the types in question please contact your nearest Infineon Technologies Office.

Infineon Technologies Components may only be used in life-support devices or systems with the express written approval of Infineon Technologies, if a failure of such components can reasonably be expected to cause the failure of that life-support device or system, or to affect the safety or effectiveness of that device or system. Life support devices or systems are intended to be implanted in the human body, or to support and/or maintain and sustain and/or protect human life. If they fail, it is reasonable to assume that the health of the user or other persons may be endangered.

Data Sheet

26

2004-12-07



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

<http://www.infineon.com>

Published by Infineon Technologies AG