

TUGAS AKHIR

ANALISIS PENGUJIAN RANGKAIAN METAL OXYDE SEMIKONDUKTOR (MOSFET) DAN CATHODE RAY OSCILOSCOPE (CRO) TERHADAP HASIL KARAKTERISTIK DARI HASIL PENGUKURAN

*Diajukan Untuk Memenuhi Tugas-Tugas Dan Syarat-Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik (ST) Pada Fakultas Teknik Program Studi
Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Oleh :

GANDA SATRIA
NPM : 1207220013



**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2018**

LEMBARAN PENGESAHAN

SKRIPSI

**ANALISIS PENGUJIAN RANGKAIAN METAL OXYDE
SEMIKONDUKTOR (MOSFET) DAN CATHODE RAY OSCILOSCOPE
(CRO) TERHADAP HASIL KARAKTERISTIK DARI HASIL
PENGUKURAN**

*Diajukan Untuk Memenuhi Tugas-Tugas Dan Syarat-Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik (ST) Pada Fakultas Teknik Program Studi
Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Telah Dinji dan Disidang Pada Tanggal:

5 Maret 2018

Oleh :

GANDA SATRIA
NPM : 1207220013

Disetujui Oleh :

Pembimbing I

Muhammad Adam, ST, MT

Pembimbing II

Partaon Harahap, ST, MT

Penguji I

Indra Rozza, ST, MT

Penguji II

Faisal Irsan Pasaribu, ST, MT

Program Studi Teknik Elektro
Ketua.

Faisal Irsan Pasaribu, ST, MT

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2018**

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah Ini:

Nama : Ganda Satria
NPM : 1207220013
Program Studi : Teknik Elektro
Fakultas : Teknik

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir yang berjudul :

“ANALISIS PENGUJIAN RANGKAIAN METAL OXYDE SEMIKONDUKTOR (MOSFET) DAN CATHODE RAY OSCILOSCOPE (CRO) TERHADAP HASIL KARAKTERISTIK DARI HASIL PENGUKURAN”

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

Medan, 5 Maret 2018

Saya yang menyatakan,



Ganda satria

ABSTRAK

Dalam perancangan sebuah sistem elektronika, ada beberapa alat yang harus diperlukan agar alat tersebut bisa berjalan sesuai yang diinginkan. Salah satu bentuk alat tersebut adalah transistor. Pada pengujian rangkaian ekuivalen MOSFET nilai C_{OX} dan k_n . Untuk MOSFET dengan $W/L = 8 \mu\text{m}/0,8\mu\text{m}$, maka harga V_{GS} dan $V_{DS\text{min}}$ yang diperlukan agar transistor bekerja di daerah jenuh $C_{OX} = 4,32 \text{ fF}/\mu\text{m}^2$, $K_n = 194 \mu\text{A}/\text{V}$, Maka untuk bekerja jenuh $V_{DS\text{min}} = 0,32 \text{ V}$, Maka Mosfet di daerah trioda dengan V_{DS} sangat kecil maka $V_{GS} = 1,22 \text{ V}$. Kemudian pada rangkaian MOSFET pada DC sebesar $R_D = 25 \text{ k}$ dan rangkaian MOSFET bekerja di daerah trioda $R_D = 12,4 \text{ k}$ maka $r_{DS} = 253$. Maka Sinyal tegangan yang akan diperkuat, ditumpangkan pada tegangan dc V_{IQ} . Maka faktor penguatan V_{DSQ} harus lebih kecil dari V_{DD} dan lebih besar dari V sehingga dapat mengakomodasi harga simpangan maksimum dan simpangan minimum dari tegangan keluaran.

Kata kunci : *Transistor Mosfet, Tegangan V_{GS} dan $V_{DS\text{min}}$ dan R_D*

ABSTRACT

In the design of an electronic system, there are several tools that must be required for the device to run as desired. One such tool is a transistor. In testing the equivalent circuit of MOSFET the value of C_{OX} and k_n . For MOSFETs with $W/L = 8 \mu\text{m} / 0.8 \mu\text{m}$, then the V_{GS} and V_{DSmin} prices are required for the transistor to work in saturation region $C_{OX} = 4.32 \text{ fF} / \mu\text{m}^2$, $K_n = 194 \mu\text{A} / \text{V}$, Then to work saturated $V_{ds min} = 0.32 \text{ V}$, Then the Mosfet in the triode region with V_{ds} is very small then $V_{GS} = 1.22 \text{ V}$. Then in the MOSFET circuit at DC equal to $R_D = 25 \text{ k}$ and the MOSFET circuit works in triode region $R_D = 12.4 \text{ k}$ then $r_{ds} = 253$. Then the voltage signal to be amplified, superimposed on the dc voltage of V_{IQ} . Then the V_{DSQ} amplifying factor must be less than V_{DD} and greater than V so it can accommodate the maximum deviation and minimum deviation from the output voltage.

Keywords: Mosfet Transistor, Voltage V_{GS} and V_{DSmin} and R_D

KATA PENGANTAR



Assalamu' Alikum Wr.Wb

Puji syukur kepada Allah Subhanahu Wataalla, atas rahmat, hidayahdan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan Tugas Akhir yang berjudul:

**”ANALISIS PENGUJIAN RANGKAIAN METAL OXYDE
SEMIKONDUKTOR (MOSFET) DAN CATHODE RAY OSCILOSCOPE
(CRO) TERHADAP HASIL KARAKTERISTIK DARI HASIL
PENGUKURAN**

”

Penulisan Tugas Akhir ini dilakukan untuk memenuhi tugas-tugas dan syarat-syarat untuk memperoleh gelar sarjana teknik pada Fakultas Teknik Program Studi Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Pada kesempatan yang berbahagia ini penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya atas motivasi, semangat dan dorongan dari berbagai pihak, baik berupa secara langsung atau tidak langsung maka pada kesempatan ini penulis tidak lupa mengucapkan terima kasih dan rasa hormat kepada :

1. Kepada ayahanda dan Ibunda tercinta beserta keluarga besar yang saya sayangi.
2. Bapak Munawar Al Fansury Siregar, ST.MT selaku Dekan Fakultas Teknik
3. Bapak Dr. Ade Faisal, ST. M.Sc. selaku Wakil Dekan I Fakultas Teknik
4. Bapak Khairul Ummurani, ST.MT selaku Wakil Dekan III Fakultas Teknik
5. Faisal Irsan Pasaribu, ST. MT selaku Ketua Prodi Teknik Elektro
6. Partaonan Harahap, ST.MT selaku Sekretaris Prodi Teknik Elektro

7. Bapak Muhammad Adam, ST.MT selaku Pembimbing I yang banyak memberikan saran dan masukan kepada penulis demi kebaikan tugas akhir ini.
8. Bapak Partaonan Harahap, ST.MT selaku Pembimbing II yang banyak memberikan saran dan masukan kepada penulis demi kebaikan tugas akhir ini.

Serta seluruh Staf Pengajar, Staf Administrasi dan rekan-rekan mahasiswa angkatan 2012 Program Studi Teknik Elektro atas bantuan dan kontribusinya dalam penyelesaian Tugas Akhir ini. Dan tidak melupakan sahabat dan saudara di Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, Medan yang telah memberi banyak dukungan, semangat, bantuan dan pengorbanan waktunya. Semoga Allah Subhanahu Wataalla memberikan kebahagiaan, berkah dan karunia kepada semua pihak yang telah membantu penulis sehingga selesai tugas akhir ini.

Harapan penulis kiranya tugas akhir ini dapat bermanfaat kepada siapa saja yang membaca, semua pengguna atau pemakai alat-alat dan kepada yang berminat dalam meneliti masalah ini saya ucapkan terima kasih.

Medan,2018

Penulis,

Ganda Satria
1207220013

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	viii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Tujuan Penelitian	2
1.4. Batasan Masalah	3
1.5. Metodologi Penelitian	3
1.6. Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1. Tinjauan Pustaka	7
2.2. Teori Dasar Transistor	8
2.2.1 Transistor NPN	10
2.2.2 Transistor PNP	11
2.2.3 Karakteristik Operasi Transistor	12
2.2.4 Pemberian Tegangan Pada Transistor	18
2.2.5 Transistor Sebagai Penguat	19
2.2.6 Dioda Infra Merah	20
2.3 LDR	22
2.4 Photo Transistor	22

2.5 Buzzer.....	23
2.6 Transistor Pengaruh Medan (Field-Effect Transistor).....	24
2.7 Transistor Pengaruh Medan Hubungan (JFET).....	24
2.7.1 JFET Kanal-N	26
2.7.2 JFET Kanal-P	27
2.7.3 Mosfet.....	27
2.7.4 Mosfet tipe N.....	28
2.7.5 Mosfet tipe P	28
BAB III METODE PENELITIAN	38
3.1. Tempat Lokasi Penelitian.....	38
3.2. Alat dan bahan.....	38
3.3. Jalanya Penelitian	39
3.4 Pengujian Rangkaian Mosfet	40
3.4.1 Pengujian rangkaian kerja Mosfet Pengukuran karakteristik input	40
3.4.2 Pengukuran karakteristik input.....	40
3.4.3 Pengukuran karakteristik output	40
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	44
4.1. Analisa dan Perhitungan Rangkaian Ekuivalen Sinyal Besar	44
4.2. Analisa Data Perhitungan Rangkaian Mosfet pada DC	45
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	50
5.1. Kesimpulan.....	50
5.2. Saran.....	51
DAFTAR PUSTAKA	52

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan transistor bipolar dan unipolar	8
--	---

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Simbol Transistor	8
Gambar 2.2 Karakteristik operasi tegangan transistor	12
Gambar 2.3 Transistor NPM	14
Gambar 2.4 Dasar Polaritas Transistor	19
Gambar 2.5 Spektrum Gelombang Elektromagnetik.....	21
Gambar 2.6 Lambang LDR.....	22
Gambar 2.7 Simbol Buzzer	23
Gambar 2.8 Transistor Pengaruh Medan Hubungan (JFET)	25
Gambar 2.9 Struktur Dasar JFET Jenis Kanal-N	26
Gambar 2.10 Struktur dasar JFET Jenis kanal-P	27
Gambar 2.11 Mosfet tipe N.....	28
Gambar 2.12 Mosfet tipe P	29
Gambar 2.13 Struktur Mosfet depletion-mode	30
Gambar 2.14 Penampang D-Mosfet	31
Gambar 2.15 Struktur Mosfet enhancement-mode	31
Gambar 2.16 Mosfet a. Simbol Mosfet b. Karakteristik Mosfet c. Karakteristik ideal Mosfet sebagai saklar	33
Gambar 2.17 Kurva transfer mosfet.....	34
Gambar 3.1 Rangkaian Kerja Mosfet.....	40
Gambar 3.2 Pengukuran karakteristik input dan output	41
Gambar 3.2 Rangkaian Mosfet	42
Gambar 3.4 Untuk mendapatkan arus I_D	42
Gambar 3.3 Diagram Alir Penelitian	43

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Dalam perancangan sebuah sistem elektronika, ada beberapa alat yang harus diperlukan agar alat tersebut bisa berjalan sesuai yang diinginkan. Salah satu bentuk alat tersebut adalah transistor. Alat ini merupakan alat semikonduktor yang dipakai sebagai penguat atau pemilih, dan mempunyai tiga terminal. Dimana tegangan atau arus yang dipasang di satu terminalnya mengatur arus yang lebih besar yang melalui 2 terminal lainnya.

Dalam pembahasan latar belakang ini, akan dibahas tentang bagaimana cara transistor itu bekerja. MOSFET atau Metal Oxide Field Effect Transistor adalah jenis Transistor yang pengoperasiannya tergantung pada efek medan (field effect) yaitu medan listrik pada Input GATE atau Input Gerbangnya. MOSFET terdiri dari 3 kaki terminal yaitu Gate (G), Drain (D) dan Source (S).

Pada umumnya MOSFET digunakan pada rangkaian-rangkaian elektronika sebagai Saklar (Switch), Penguat (Amplifier) dan Pencampur (Mixer). Transistor Medan Efek ini dapat digolongkan menjadi 2 jenis yaitu MOSFET tipe N (NMOSFET) dan MOSFET tipe P (PMOSFET).

Transistor Metal Oxide Semiconductor Field-Effect Transistor atau biasa disebut MOSFET adalah sejenis transistor yang digunakan sebagai penguat, tapi paling sering transistor jenis ini difungsikan sebagai saklar elektronik.

Ada dua jenis MOSFET menurut jenis bahan semikonduktor pembuatnya, yaitu tipe N (nMOS) dan tipe P (pMOS).

Bahan semikonduktor yang digunakan untuk membuat MOSFET adalah silikon, namun beberapa produsen IC, terutama IBM, mulai menggunakan campuran silikon dan germanium (SiGe) sebagai kanal MOSFET. Sayangnya, banyak semikonduktor dengan karakteristik listrik yang lebih baik daripada silikon, seperti galium arsenid (GaAs), tidak membentuk antarmuka semikonduktor-ke-isolator yang baik sehingga tidak cocok untuk MOSFET. Hingga kini terus diadakan penelitian untuk membuat isolator yang dapat diterima dengan baik untuk bahan semikonduktor lainnya.

MOSFET sebagai media karena impedansi masukannya yang tinggi, daya penggerakannya kecil, rangkaian penggerakannya sederhana, dengan sejumlah besar karakteristik konduksi pembawa konduksi, tidak ada pekerjaan konduksi pembawa minor yang dibutuhkan waktu penyimpanan, dan dengan demikian kecepatan switching, Frekuensi operasi bisa sampai 500 kHz, bahkan di atas MHz.

Namun dengan kenaikan tegangan baliknya, resistansi on-state juga meningkat tajam, sehingga membatasi penerapannya pada aplikasi bertekanan tinggi. IGBT memiliki tegangan balik tinggi dan karakteristik arus tinggi, namun persyaratan rangkaian drive sangat ketat, dan tidak sesuai untuk aplikasi frekuensi tinggi, frekuensi operasi IGBT umum 20kHz atau kurang. Untuk mengetahui karakteristik dari hasil pengukuran maka penulis menganalisis pengujian

rangkaian Metal Oxyde Semikonduktor (MOSFET) Dan Cathode Ray Oscilloscope (CRO) terhadap hasil karakteristik dari hasil pengukuran.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian dari latar belakang diatas dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana mengetahui karakter dasar pada bipolar transistor (BJT) dan junction field effect transistor (JFET)
2. Bagaimana menentukan karakteristik dari rangkaian Input pada Mosfet
3. Bagaimana menentukan karakteristik dari rangkaian Output pada Mosfet

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukan penelitian ini adalah untuk :

1. Untuk mengetahui dan memahami dengan baik karakter-karakter MOSFET sebelum menggunakannya dalam pembangunan suatu sistem elektronika.
2. Mengetahui cara kerja/prinsip rangkaian Mosfet
3. Mengamati karakteristik amplitudo dan frekuensi output pada Mosfet dengan menampilkan dan menggambarkan kurva karakteristik MOSFET.

1.4. Batasan Masalah

Dalam penelitian ini, sebagai batasan masalah adalah menganalisis pengujian rangkaian Metal Oxyde Semikonduktor (MOSFET) Dan Cathode Ray Oscilloscope (CRO) terhadap hasil karakteristik dari hasil pengukuran. yang terdiri dari :

1. Menguji coba rangkaian Mosfet dengan Karakteristik input MOSFET dan Karakteristik output MOSFET
2. Menguji coba dengan mengukur Karakteristik input MOSFET dan Karakteristik output MOSFET
3. Mengamati bentuk gelombang dan frekuensi kerja dari rangkaian Karakteristik input MOSFET dan Karakteristik output MOSFET

1.5. Metodologi Penelitian

Metodologi yang digunakan selama melakukan penelitian dan penulisan laporan adalah :

1. Studi literatur

Penulis memperoleh informasi dan pustaka yang berkaitan dengan penelitian ini baik dari literatur, data sheet, internet, buku dan jurnal yang berhubungan, serta penjelasan yang diberikan dosen pembimbing, rekan-rekan mahasiswa, maupun alumni yang kompeten berkaitan dengan penelitian.

2. Studi peralatan

Metode studi peralatan peralatan dilakukan penulis untuk mempelajari karakteristik dan spesifikasi alat yang akan digunakan pada saat penelitian transduser ultrasonik cleaning sehingga penulis mendapatkan informasi yang tepat tentang alat yang akan dipakai tersebut dan memperoleh teori dasar fungsi alat tersebut.

3. Observasi

Observasi dilaksanakan dengan cara melakukan kegiatan perancangan alat pada penelitian ini terdiri dari rangkaian Mosfet yaitu Karakteristik input MOSFET dan Karakteristik output MOSFET. Perancangan dilakukan dengan melakukan beberapa perhitungan untuk mendapatkan nilai-nilai komponen yang sesuai untuk digunakan dalam penelitian ini.

4. Konsultasi Mengadakan konsultasi dengan dosen pembimbing penelitian, serta mahasiswa dan alumni yang kompeten di bidang tertentu yang berkaitan dengan penelitian sehingga dapat terpecahkan masalah saat berlangsungnya penelitian dan pembuatan program.

5. Evaluasi

Melakukan monitoring teruji dengan baik sehingga data yang diperoleh adalah data yang valid. Dengan demikian dapat memperkecil kemungkinan terjadinya kesalahan.

6. Menyusun laporan skripsi

Penyusunan laporan dilakukan untuk memberikan penjelasan berkaitan dengan alat yang telah dibuat dan juga sebagai dokumentasi secara keseluruhan yang merupakan tahap akhir dari penelitian ini diambil setelah pembuatan laporan akhir selesai beserta hasil analisa mengenai semua proses yang telah dilakukan selama penelitian berlangsung.

1.6. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan untuk penelitian ini terdiri dari lima bab yang secara garis besar dapat diuraikan sebagai berikut:

1. BAB 1 Pendahuluan

Bab ini membahas tentang latar belakang dari penelitian, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penulisan, metodologi penelitian dan sistematika penulisan dari penelitian.

2. BAB 2 Tinjauan Pustaka

Bab ini membahas landasan teori sebagai hasil dari studi literatur yang berhubungan dengan perancangan alat dan yang akan dilakukan dalam penelitian.

3. BAB 3 Metodologi penelitian

Bab ini membahas tentang langkah-langkah dari penelitian serta prosedur dalam penelitian.

4. BAB 4 Hasil dan Pembahasan

Bab ini berisi penjelasan mengenai data dari hasil penelitian dan analisa terhadap seluruh proses yang berlangsung selama penelitian.

5. BAB 5 Penutup

Bab ini berisi kesimpulan terhadap proses yang berlangsung selama penelitian dan saran yang mendukung penelitian selanjutnya agar dapat memberikan hasil yang lebih baik.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka

Transistor adalah alat semikonduktor yang dipakai sebagai penguat, pemotong (*switching*), stabilisasi tegangan, modulasi sinyal atau fungsi lainnya. Transistor dapat berfungsi semacam kran listrik, dimana berdasarkan arus inputnya (*BJT*) atau tegangan inputnya (*FET*), memungkinkan pengaliran listrik yang sangat akurat dari sirkuit sumber listriknya. Pada umumnya, transistor memiliki 3 terminal. Tegangan atau arus yang dipasang di satu terminalnya mengatur arus yang lebih besar yang melalui 2 terminal lainnya. Transistor adalah komponen yang sangat penting dalam dunia elektronik modern. Dalam rangkaian analog, transistor digunakan dalam amplifier (*penguat*). Rangkaian analog meliputi penguat suara, sumber listrik stabil, dan penguat sinyal radio. Dalam rangkaian-rangkaian digital, transistor digunakan sebagai saklar berkecepatan tinggi. Beberapa transistor juga dapat dirangkai sedemikian rupa sehingga berfungsi sebagai logic gate, memori, dan komponen-komponen lainnya. Dalam latar belakang ini sebagai tinjauan pustaka yang relevan dari berbagai penelitian yang dilakukan oleh beberapa peneliti terdahulu diantaranya :

- Jimmy Linggarjati dengan judul Penelitian Optimasi Penentuan Jenis Mosfet Pada Pengendali Elektronika Motor Bldc dengan hasil penelitiannya adalah BrushLess DC sudah dikenal dikalangan industri hingga penggemar mainan mobil listrik-tamiya, sebagai salah satu jenis motor penggerak yang ringan dan

efisien dalam disainnya, tetapi memerlukan komutasi elektronik. Artikel ini membahas secara menyeluruh cara pemilihan tipe mosfet yang tepat untuk spesifikasi motor BLDC yang diberikan. Hal ini sangat berguna pada saat implementasi. Bagi pemula tentunya artikel ini akan menarik terutama dari sisi penerapan elektronika yang dibutuhkan untuk memutar motor BLDC ini, sedangkan bagi para profesional, tentunya tetap akan menarik, karena di Indonesia pada umumnya, tidak banyak orang yang menekuni bidang ini, sehingga pengetahuan ini sangat berguna bagi kalangan praktisi.

- Veronica Ernita K dengandengan judulPerancangan Inverter Sebagai Switch MOSPada IC DAChasil penelitiannya adalahSwitch atau inverter berfungsi sebagai saklar pada DAC (Digital to Analog Converter). Switch yang dirancangdengan menghubungkan dua transistor yaitu satu transistor NMOS dan satu transistor PMOS. Kedua transistortersebut dihubungkan menjadi sebuah inverter. Metode ini disebut sebagai MOS Swtich. Switch ini digunakanpada DAC 8-bit sebagai pengontrol input biner yaitu '1' dan '0'.Proses perancangan diawali dengan mencari referensi agar dapat menentukan spesifikasi dari rangkaian yang akan dirancang, setelah skematik selesai dirancangkemudian skematik diintegrasikan menjadi simbol. Penggunaan simbol dimaksudkan agar mudah dan praktis untuk melakukanpengetesan guna mengetahui hasil yang diharapkan. Tahap selanjutnya adalah pembuatan layout, tahapan ini dilakukanagar dapat diaplikasikan ke dalam floorplan. Pada tahapan desain skematik, dari simbol, sampai dengan layout digunakanalat bantu perangkat lunak mentor graphics dengan teknologi AMS 0,35 μm . Setiap teknologi yang digunakan dalamperancangan memiliki parameter yang

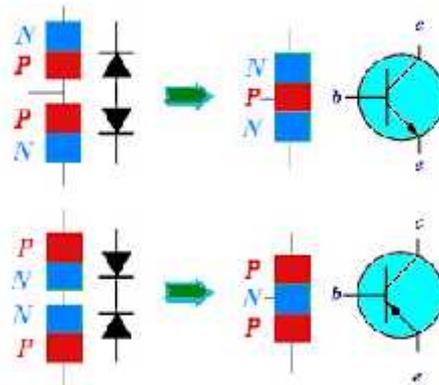
berbeda-beda sebagai dasar melakukan perhitungan untuk mendapatkan hasil yang diharapkan. Untuk teknologi 0.35 μm , standar W (Width) dan L (Large) yang digunakan adalah 0.4 μm untuk W dan 0.35 μm untuk L, dan standar tegangan 3.3 V. Output dari karakteristik MOS Switch menunjukkan kondisi saturasi $V_{DD}/2$ yaitu 1.65 V, dengan V_{DD} 3.3 V.

- Yuliadi Erdani, Rancang Bangun Kendali Sekuen untuk sumbangan jala-jala listrik menggunakan *CYCLOCONVERTER* dengan hasil penelitian Rangkaian *cycloconverter* yang dikembangkan pada penelitian ini mensimulasikan rangkaian koneksi ke jala- jalistrik dua buah *function generator* sebagai pengganti sumber tegangan AC-nya. *Function generator* pertama digunakan sebagai pengganti gelombang masukan pembangkit PLN dengan referensi frekuensi 50Hz. *Function generator* kedua digunakan sebagai pengganti gelombang masukan pembangkit baru dengan referensi frekuensi simulasi dari 10Hz sampai dengan 90Hz. Dengan inialisasi kondisi frekuensi seperti itu, maka dimungkinkan perubahan frekuensi berupa penaikan frekuensi dari 10Hz – 40Hz menjadi 50Hz dan penurunan frekuensi dari 60Hz – 90Hz menjadi 50Hz. Rangkaian *cycloconverter* ini menggunakan rangkaian *trigger* untuk mengaktifkan komponen elektroniknya. Rangkaian *trigger* tersebut meliputi rangkaian *trigger* penyulutan thyristor dan rangkaian *trigger* pengaktifan MOSFET. Semua perangkat keras pada rangkaian ini dikendalikan oleh mikrokontroler AT Mega 8535 yang mengatur kerja dari rangkaian-rangkaian *trigger* yang dibutuhkan oleh *cycloconverter*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa simulasi rangkaian *cycloconverter* ini dapat mengubah frekuensi, dan menyamakan sudut fasa pada jaringan listrik. Hal ini menunjukkan bahwa

cycloconverter yang dikembangkan memungkinkan untuk koneksi ke jala-jala listrik.

2.2 Teori Dasar Transistor

Transistor adalah komponen elektronika yang terbuat dari bahan semikonduktor jenis N dan jenis P. Transistor memiliki 3 kaki yaitu: basis (B), kolektor (C) dan emitor (E). Berdasarkan susunan semikonduktor yang membentuknya, transistor dibedakan menjadi dua tipe, yaitu transistor jenis PNP dan transistor jenis NPN. Untuk membedakan transistor PNP dan NPN dapat dari arah panah pada kaki emitornya. Pada transistor PNP anak panah mengarah ke dalam dan pada transistor NPN arah panahnya mengarah ke luar.



Gambar 2.1 Simbol Transistor

Fungsi Transistor :

1. Penguat Tegangan
2. Penguat Arus
3. Penguat Daya
4. Saklar
5. Sensor Suhu

6. Regulator tegangan
7. Osilator / Pembangkit sinyal
8. Modulator Sinyal

Mengenal tipe transistor buatan jepang:

1. Tipe 2SA... dan 2SC... biasanya digunakan pada frekuensi tinggi
Contoh : 2SA564 dan 2SC838
2. Tipe 2SB... dan 2SD... biasanya digunakan pada frekuensi rendah
Contoh : 2SB507 dan 2SD313

Hal-hal penting mengenai transistor :

1. Transistor yang mempunyai fisik lebih besar biasanya mampu bekerja pada daya yang lebih besar
2. Pada tipe-tipe transistor dikenal adanya persamaan karakteristik, jadi jika sulit mendapatkan sebuah transistor cobalah mencari persamaannya
3. Urutan kaki transistor antara tipe satu dengan yang lain tidak selalu sama.
4. Untuk pemakaian dengan daya yang tinggi sebaiknya tambahkan pendingin pada bodi transistor.
5. Panas yang berlebih pada transistor dapat berakibat kerusakan transistor.
6. Pada transistor dikenal istilah HFE, yaitu menunjukkan besarnya penguatan arus dari transistor tersebut
7. Tegangan antara basis (B) dan emitor (E) besarnya selalu tetap, yaitu berkisar antara 0.6Volt untuk jenis transistor dari bahan silikon.

8. Untuk bisa bekerja, sebuah transistor memerlukan bias sekitar 0.6Volt untuk jenis silikon. Pada transistor PNP basis harus lebih negatif 0.6Volt dan pada transistor NPN basis harus lebih positif 0.6Volt.

Woollard (1993: 70) menyatakan bahwa transistor merupakan alat dengan tiga terminal seperti yang diperlihatkan oleh simbol sirkit pada gambar 1. Setelah bahan semikonduktor dasar diolah, terbentuklah bahan semikonduktor jenis P dan N. Walaupun proses pembuatannya banyak, pada dasarnya transistor merupakan tiga lapis gabungan kedua jenis bahan tadi, yaitu NPN atau PNP. Simbol sirkit kedua jenis transistor itu hampir sama. Perbedaannya terletak pada arah tanda panah di ujung *emitter*, seperti yang telah diketahui, arah tanda panah ini menunjukkan arah aliran arus konvensional yang berlawanan arah dalam kedua jenis tadi tetapi selalu dari jenis P ke jenis N dalam sirkit emitter dasar.

2.2.1 Transistor NPN

Menurut Woollard (1993: 70) Kolektor dan emitter merupakan bahan N dan lapisan diantara mereka merupakan jenis P. Pada mulanya diperkirakan bahwa transistor seharusnya bekerja dalam salah satu arah, ialah dengan saling menghubungkan ujung-ujung kolektor dan emitter karena mereka terbuat dari jenis bahan yang sama. Namun, hal ini tidaklah mungkin karena mereka tidak berukuran sama. Kolektor berukuran lebih besar dan kebanyakan dihubungkan secara langsung ke kotaknya untuk penyerapan panas. Ketika transistor digunakan hampir semua panas yang terbentuk berada pada sambungan basis kolektor yang harus mampu menghilangkan panas ini. Sambungan basis emitter hanya mampu menahan tegangan yang rendah.

Operasi dalam arah balik dapat dijalankan tetapi tidak efisien, sehingga tidak sesuai dengan metode hubungan praktis karena sangat sering merusakkan alat. Pada umumnya transistor dianggap sebagai suatu alat yang beroperasi karena adanya arus. Kalau arus mengalir ke dalam basis dan melewati sambungan basis emitter suatu suplai positif pada kolektor akan menyebabkan arus mengalir diantara kolektor dan emitter. Dua hal yang harus diperhatikan pada arus kolektor adalah :

1. Untuk arus basis nol, arus kolektor turun sampai tingkat arus kebocoran yaitu kurang dari 1 mF dalam kondisi normal (untuk transistor silikon).
2. Untuk arus basis tertentu, arus kolektor yang mengalir akan jauh lebih besar daripada arus basis itu. Arus yang dicapai ini disebut h_{FE} , dengan.

$$H_{FB} = \frac{i_C}{i_B} \dots\dots\dots(2.1)$$

dimana, i_C = perubahan arus kolektor

i_B = perubahan arus basis

h_{FE} = arus yang dicapai

2.2.2 Transistor PNP

Transistor PNP beroperasi dengan cara yang sama dengan piranti NPN. Gambar dibawah ini akan memperlihatkan suatu transistor PNP yang dibias untuk beroperasi dalam mode aktif. Disini tegangan V_{EB} menyebabkan emitter tipe P potensialnya lebih tinggi dari basis tipe -N, sehingga persambungan basis emitter menjadi bias maju. Persambungan kolektor basis dibias balik oleh tegangan V_{BC} yang menjaga basis tipe-N berpotensi lebih tinggi dibandingkan kolektor tipe-P. Tidak seperti transistor NPN, arus dalam piranti PNP terutama disebabkan oleh lubang yang diinjeksikan dari emitter ke dalam basis sebagai tegangan bias

maju V_{EB} . Karena komponen arus emitter yang disebabkan elektron yang diinjeksikan dari basis ke emitter dijaga agar kecil dengan menggunakan basis doping ringan, sebagian besar arus emitter disebabkan oleh lubang. Elektron yang diinjeksi dari basis ke emitter menghasilkan komponen dominan arus basis i_{B1} . Demikian juga lubang yang diinjeksi ke dalam basis akan berkombinasi dengan pembawa mayoritas dalam basis (elektron) dan hilang. Hilangnya elektron basis harus diganti dari rangkaian luar yang menimbulkan komponen kedua arus basis i_{B2} . lubang-lubang yang berhasil mencapai batas daerah pengosongan persambungan basis kolektor akan tarik oleh tegangan negatif pada kolektor. Jadi lubang-lubang ini akan disapu melintasi daerah pengosongan ke dalam kolektor dan timbul sebagai arus kolektor.

2.2.3 Karakteristik Operasi Transistor

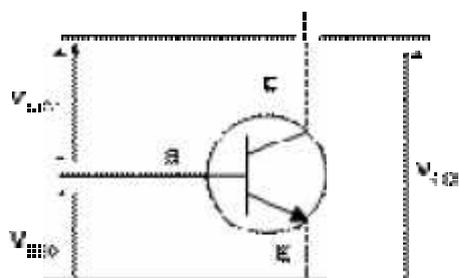
Karakteristik operasi tiap transistor yang menyatakan spesifikasinya tidak boleh dilampaui. Lembaran data memberikan nilai-nilai penting, beberapa diantaranya diberikan dibawah ini dan diperlihatkan pada gambar 2.

V_{CBO} = tegangan basis kolektor maksimum (kolektor +ve)

V_{CEO} = tegangan emitter kolektor maksimum (kolektor + ve)

V_{EBO} = tegangan basis emitter maksimum (emitter + ve)

P_{tot} = total daya yang diperlukan oleh transistor.



Gambar 2.2 Karakteristik operasi tegangan transistor
(Sumber : Woollard, *Elektronika Praktis*, 1993: 73)

2.2.4 Cara Kerja Transistor

Dari banyak tipe-tipe transistor modern, pada awalnya ada dua tipe dasar transistor, bipolar junction transistor (*BJT atau transistor bipolar*) dan field-effect transistor (*FET*), yang masing-masing bekerja secara berbeda. Transistor bipolar dinamakan demikian karena kanal konduksi utamanya menggunakan dua polaritas pembawa muatan: elektron dan lubang, untuk membawa arus listrik. Dalam BJT, arus listrik utama harus melewati satu daerah/lapisan pembatas dinamakan depletion zone, dan ketebalan lapisan ini dapat diatur dengan kecepatan tinggi dengan tujuan untuk mengatur aliran arus utama tersebut. FET (*juga dinamakan transistor unipolar*) hanya menggunakan satu jenis pembawa muatan (*elektron atau hole, tergantung dari tipe FET*). Dalam FET, arus listrik utama mengalir dalam satu kanal konduksi sempit dengan depletion zone di kedua sisinya (*dibandingkan dengan transistor bipolar dimana daerah Basis memotong arah arus listrik utama*). Dan ketebalan dari daerah perbatasan ini dapat dirubah dengan perubahan tegangan yang diberikan, untuk mengubah ketebalan kanal konduksi tersebut. Simbol transistor dari berbagai Tipe

: 1. PNP P-channel

2. NPN N-channel

3. BJT JFET

Transistor adalah komponen elektronika multitermal, biasanya memiliki 3 terminal. Secara harfiah, kata 'Transistor' berarti 'Transfer resistor', yaitu suatu komponen yang nilai resistansi antara terminalnya dapat diatur. Secara umum transistor terbagi dalam 3 jenis :

1. Transistor Bipolar
2. Transistor Unipolar
3. Transistor Unijunction

Transistor bipolar bekerja dengan 2 macam carrier, sedangkan unipolar satu macam saja, hole atau electron. Beberapa perbandingan transistor bipolar dan unipolar terlihat pada Tabel 2.1 sebagai berikut :

Tabel 2.1 Perbandingan transistor bipolar dan unipolar

	Bipolar	Unipolar
Dimensi	Besar	Kecil
Daya	Besar	Kecil
Bandwidth	Besar	Kecil
Respon	Lebar	Sempit
Jenis Input	Tinggi	Sedang
Impedansi Input	Arus	Tegangan
	Sedang	Tinggi

Pada transistor bipolar, arus yang mengalir berupa arus lubang (hole) dan arus electron atau berupa pembawa muatan mayoritas dan minoritas. Transistor dapat berfungsi sebagai penguat tegangan, penguat arus, penguat daya atau sebagai saklar. Ada 2 jenis transistor yaitu PNP dan NPN. Transistor di desain

dari pemanfaatan sifat diode, arus menghantar dari diode dapat dikontrol oleh electron yang ditambahkan pada pertemuan PN diode. Dengan penambahan elektodiode pengontrol ini, maka diode semi-konduktor dapat dianggap dua buah diode yang mempunyai electrode bersama pada pertemuan. Dengan memilih electrode pengontrol dari type P atau type N sebagai electrode persekutuan antara dua diode, maka dihasilkan **transistor jenis PNP dan NPN**. Transistor dapat bekerja apabila diberi tegangan, tujuan pemberian tegangan pada transistor adalah agar transistor tersebut dapat mencapai suatu kondisi menghantar atau menyumbat. **Baik transistor NPN maupun PNP tegangan antara emitor dan basis adalah forward bias, sedangkan antara basis dengan kolektor adalah reverse bias.**Dari cara pemberian tegangan muka didapatkan dua kondisi yaitu **menghantar dan menyumbat** seperti pada gambar transistor NPN dibawah ini.

Gambar 2.3. transistor NPN

A. BJT

BJT (*Bipolar Junction Transistor*) adalah salah satu dari dua jenis transistor. Cara kerja BJT dapat dibayangkan sebagai dua dioda yang terminal positif atau negatifnya berdempet, sehingga ada tiga terminal. Ketiga terminal tersebut adalah emiter (*E*), kolektor (*C*), dan basis (*B*). Perubahan arus listrik dalam jumlah kecil pada terminal basis dapat menghasilkan perubahan arus listrik dalam jumlah besar pada terminal kolektor. Prinsip inilah yang mendasari penggunaan transistor sebagai penguat elektronik. Rasio antara arus pada kolektor dengan arus pada basis biasanya dilambangkan dengan β atau h_{FE} . β biasanya berkisar sekitar 100 untuk transistor-transistor BJT.

B. F E T

FET dibagi menjadi dua keluarga: Junction FET (*JFET*) dan Insulated Gate FET (*IGFET*) atau juga dikenal sebagai Metal Oxide Silicon (*atau Semiconductor*) FET (*MOSFET*). Berbeda dengan IGFET, terminal gate dalam JFET membentuk sebuah dioda dengan kanal (*materi semikonduktor antara Source dan Drain*). Secara fungsinya, ini membuat N-channel JFET menjadi sebuah versi solid-state dari tabung vakum, yang juga membentuk sebuah dioda antara antara grid dan katode. Dan juga, keduanya (*JFET dan tabung vakum*) bekerja di “depletion mode”, keduanya memiliki impedansi input tinggi, dan keduanya menghantarkan arus listrik dibawah kontrol tegangan input. FET lebih jauh lagi dibagi menjadi tipe enhancement mode dan depletion mode. Mode menandakan polaritas dari tegangan gate dibandingkan dengan source saat FET menghantarkan listrik. Jika kita ambil N-channel FET sebagai contoh: dalam depletion mode, gate adalah negatif dibandingkan dengan source, sedangkan

dalam enhancement mode, gate adalah positif. Untuk kedua mode, jika tegangan gate dibuat lebih positif, aliran arus di antara source dan drain akan meningkat. Untuk P-channel FET, polaritas-polaritas semua dibalik. Sebagian besar IGFET adalah tipe enhancement mode, dan hampir semua JFET adalah tipe depletion mode.

C. MOSFET

MOSFET, singkatan dari Metal Oxide Semi Conductor atau Transistor efek medan, adalah jenis transistor yang bekerja dengan adanya modulasi dari medan listrik di dalam bahan semikonduktor. Antara FET dan MOSFET tidak ada perbedaan, hanya yang membedakan:

1. Adanya lapisan SiO₂ yang membatasi gate dan channel.
2. Arus listrik yang masuk sangat kecil sekali.

Jenis-jenis transistor efek medan adalah MOSFET, JFET, MESFET, HEMT, dan TFT.

D. IGBT

Transistor IGBT (*Insulated-Gate Bipolar Transistor*) adalah piranti semikonduktor yang setara dengan gabungan sebuah transistor bipolar (*BJT*) dan sebuah transistor efek medan (*MOSFET*). Input dari IGBT adalah terminal Gate dari MOSFET, sedang terminal Source dari MOSFET terhubung ke terminal Basis dari BJT. Dengan demikian, arus drain keluar dari MOSFET akan menjadi arus basis dari BJT. Karena besarnya tahanan masuk dari MOSFET, maka terminal input IGBT hanya akan menarik arus yang kecil dari sumber. Di

pihak lain, arus drain sebagai arus keluaran dari MOSFET akan cukup besar untuk membuat BJT mencapai keadaan saturasi. Dengan gabungan sifat kedua elemen tersebut, IGBT mempunyai perilaku yang cukup ideal sebagai sebuah sakelar elektronik. Di satu pihak IGBT tidak terlalu membebani sumber, di pihak lain mampu menghasilkan arus yang besar bagi beban listrik yang dikendalikannya.

Komponen utama di dalam aplikasi elektronika daya (*power electronics*) dewasa ini adalah sakelar zat padat (*solid-state switches*) yang diwujudkan dengan peralatan semikonduktor seperti transistor bipolar (*BJT*), transistor efek medan (*MOSFET*), maupun Thyristor. Sebuah sakelar ideal di dalam aplikasi elektronika daya akan mempunyai sifat-sifat sebagai berikut:

Pada saat keadaan tidak menghantar (*OFF*), sakelar mempunyai tahanan yang besar sekali, mendekati nilai tak berhingga. Dengan kata lain, nilai arus bocor struktur sakelar sangat kecil. Sebaliknya, pada saat keadaan menghantar (*ON*), sakelar mempunyai tahanan menghantar (R_{on}) yang sekecil mungkin. Ini akan membuat nilai tegangan jatuh (*voltage drop*) keadaan menghantar juga sekecil mungkin, demikian pula dengan besarnya daya lesapan (*power dissipation*) yang terjadi, dan kecepatan pensakelaran (*switching speed*) yang tinggi. Sifat nomor (1) umumnya dapat dipenuhi dengan baik oleh semua jenis peralatan semikonduktor yang disebutkan di atas, karena peralatan semikonduktor komersial pada umumnya mempunyai nilai arus bocor yang sangat kecil. Untuk sifat nomor (2), BJT lebih unggul dari MOSFET, karena tegangan jatuh pada terminal kolektor-emitter, VCE pada keadaan menghantar (*ON*) dapat dibuat

sekecil mungkin dengan membuat transistor BJT berada dalam keadaan jenuh (*saturasi*). Sebaliknya, untuk unsur kinerja nomor (3) yaitu kecepatan switching, MOSFET lebih unggul dari BJT, karena sebagai divais yang bekerja berdasarkan aliran pembawa muatan mayoritas (*majority carrier*), pada MOSFET tidak dijumpai aruh penyimpanan pembawa muatan minoritas pada saat proses pensakelaran, yang cenderung memperlambat proses pensakelaran tersebut. Sejak tahun 1980-an telah muncul jenis divais baru sebagai komponen sakelar untuk aplikasi elektronika daya yang disebut sebagai Insulated Gate Bipolar Transistor (*IGBT*). Sesuai dengan yang tercermin dari namanya, divais baru ini merupakan divais yang menggabungkan struktur dan sifat-sifat dari kedua jenis transistor tersebut di atas, BJT dan MOSFET. Dengan kata lain, IGBT mempunyai sifat kerja yang menggabungkan keunggulan sifat-sifat kedua jenis transistor tersebut. Terminal gate dari IGBT, sebagai terminal kendali juga mempunyai struktur bahan penyekat (*insulator*) sebagaimana pada MOSFET. Dengan demikian, terminal masukan IGBT mempunyai nilai impedansi yang sangat tinggi, sehingga tidak membebani rangkaian pengendalinya yang umumnya terdiri dari rangkaian logika. Ini akan menyederhanakan rancangan rangkaian pengendali (*controller*) dan penggerak (*driver*) dari IGBT. Di samping itu, kecepatan pensakelaran IGBT juga lebih tinggi dibandingkan divais BJT, meskipun lebih rendah dari divais MOSFET yang setara. Di lain pihak, terminal keluaran IGBT mempunyai sifat yang menyerupai terminal keluaran (*kolektor-emitter*) BJT. Dengan kata lain, pada saat keadaan menghantar, nilai tahanan menghantar (R_{on}) dari IGBT sangat kecil, menyerupai R_{on} pada BJT. Dengan demikian bila tegangan jatuh serta resapan dayanya pada saat keadaan menghantar

juga kecil. Dengan sifat-sifat seperti ini, IGBT akan sesuai untuk dioperasikan pada arus yang besar, hingga ratusan amper, tanpa terjadi kerugian daya yang cukup berarti. IGBT sesuai untuk aplikasi pada perangkat Inverter maupun Kendali Motor Listrik (*Drive*).

2.1.2 Pemberian tegangan pada transistor

Tegangan pada V_{cc} jauh lebih besar dari tegangan pada V_{eb} . Diode basis-emitor mendapat forward bias, akibatnya electron mengalir dari emitor ke basis, aliran electron ini disebut arus emitor (I_E). Elektron electron ini tidak mengalir dari kolektor ke basis, tetapi sebaliknya sebagian besar electron-electron yang berada pada emitor tertarik ke kolektor, karena tegangan V_{cc} jauh lebih besar dari pada tegangan V_{eb} dan mengakibatkan aliran electron dari emitor menuju kolektor melewati basis. Electron-electron ini tidak semuanya tertarik ke kolektor tetapi sebagian kecil menjadi arus basis (I_B).

Penguatan Transistor

$dc = I_C / I_E$ (perbandingan antara arus kolektor dengan arus emitter)

Berdasarkan hukum kirchoff :

$$I_E = I_B + I_C : I_C$$

$$I_E/I_C = I_B / I_C + I_C / I_C$$

$$1/ dc = 1/ dc + 1$$

$$1/ dc = 1/ dc + dc/ dc$$

$$1/ dc = 1 + dc/ dc$$

$$dc = dc / 1 + dc$$

$dc = I_C / I_B$ (perbandingan antara arus kolektor dengan arus basis)

$$I_E = I_B + I_C$$

$$I_E / I_C = I_B / I_C + I_C / I_C$$

$$1 / \beta_{dc} = 1 / \beta_{dc} + 1$$

$$1 / \beta_{dc} = 1 / \beta_{dc} - 1$$

$$1 / \beta_{dc} = 1 / \beta_{dc} - \beta_{dc} / \beta_{dc}$$

$$1 / \beta_{dc} = 1 - \beta_{dc} / \beta_{dc}$$

$$\beta_{dc} = \beta_{dc} / 1 - \beta_{dc}$$

2.1.3 Transistor Sebagai Penguat

Transistor adalah suatu monokristal semikonduktor dimana terjadi pertemuan P-N, dari sini dapat dibuat dua rangkaian yaitu P-N-P dan N-P-N.

Dalam keadaan kerja normal, transistor harus diberi polaritas sebagai berikut :

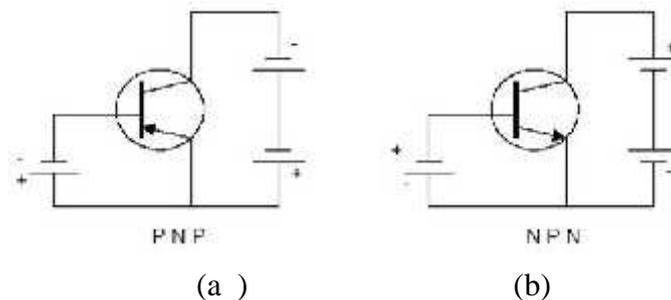
1. Pertemuan Emitter-

Basis diberi polaritas dari arah maju seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.2

(a).

2. Pertemuan Basis-kolektor diberi polaritas dalam arah mundur seperti

ditunjukkan pada gambar 2.2 (b).



Gambar 2.4 Dasar Polaritas Transistor

Transistor

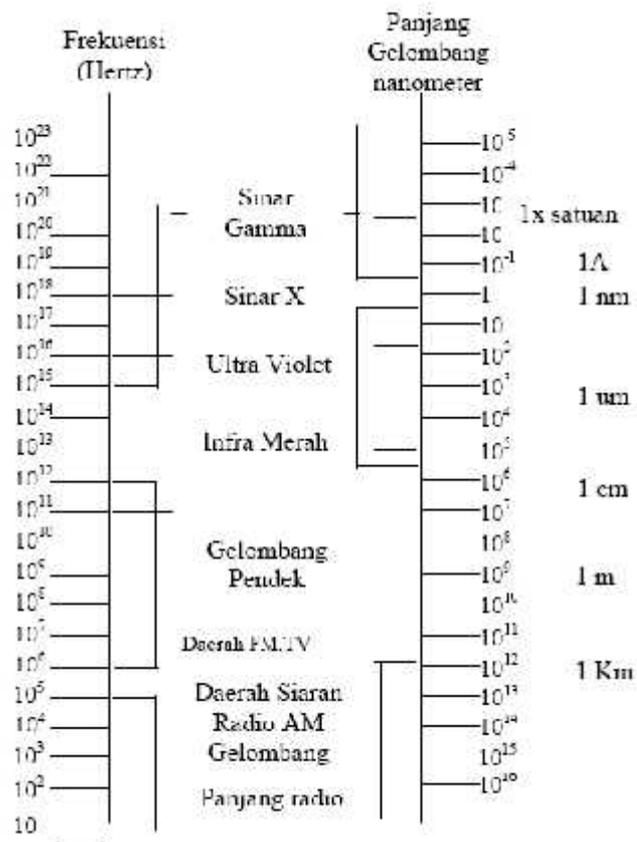
adalah suatu komponen yang dapat memperbesar level sinyal keluaran

sampai beberapa kali sinyal masukan. Sinyal masuk di sini dapat berupa sinyal AC ataupun DC. Prinsip dasar transistor sebagai penguat adalah arus kecil pada basis mengontrol arus yang lebih besar dari kolektor melewati transistor. Transistor berfungsi sebagai penguat ketika arus basis berubah. Perubahan kecil arus basis mengontrol perubahan besar pada arus yang mengalir dari kolektor ke emitter. Pada saat ini transistor berfungsi sebagai penguat. Dan dalam pemakaiannya transistor juga bisa berfungsi sebagai saklar dengan memanfaatkan daerah penjuhan (saturasi) dan daerah penyumbatan (cut-off). Pada daerah penjuhan nilai resistansi penyambungan kolektor emitter secara ideal sama dengan nol atau kolektor terhubung langsung (short). Ini menyebabkan tegangan kolektor emitter $V_{ce} = 0$ pada keadaan ideal. Dan pada daerah cutoff, nilai resistansi persambungan kolektor emitter secara ideal sama dengan tak terhingga atau terminal kolektor dan emitter terbuka yang menyebabkan tegangan V_{ce} sama dengan sumber tegangan V_{cc} .

2.1.4 Dioda Infra Merah

Biasanya sebuah LED adalah sebuah dioda P-N, yang biasanya dibuat dari bahan semikonduktor seperti Aluminium-Galium-Arsinide (AlGaAs) atau Galium-Arsinide-Phospide (GaAsP). Dioda Infra merah memancarkan cahaya oleh emisi spontan dimana cahaya dipancarkan sebagai hasil dari pengkombinasi dari elektron-elektron dan hole-hole. Untuk memperoleh jarak yang cukup jauh, Dioda infra merah memerlukan sinyal dengan frekuensi 30 hingga 50 kHz. Berbeda

dengan Dioda LED yang hanya memerlukan level tegangan DC saja untuk mengaktifkan LED, Dioda Infra merah memerlukan sinyal AC dengan frekuensi 30 hingga 50 kHz untuk mengaktifkannya. Cahaya infra merah tersebut tidak dapat ditangkap oleh mata manusia, sehingga diperlukan phototransistor untuk mendeteksinya. Transmisi data dilakukan dengan menggunakan prinsip aktif dan non aktifnya LED infra merah sebagai kondisi logika 0 dan logika 1. Seperti telah dijelaskan sebelumnya bahwa untuk mengaktifkan LED Infra merah diperlukan frekuensi sebesar 30 hingga 40 kHz, maka dalam hal ini logika 0 berarti sinyal berfrekuensi 30 KHz mengalir ke LED Infra merah dan logika 1 berarti tidak ada sinyal yang mengalir ke LED Infra merah.



Gambar 2.5 Spektrum Gelombang Elektromagnetik

Spektrum sinar inframerah terdapat pada spektrum gelombang elektromagnetik.

Gambar 2.3 menunjukkan spektrum

gelombang inframerah yang terdapat pada salah satu diantara spektrum gelombang elektromagnetik. Ciri-ciri gelombang infra merah meliputi :

- a. Sinar infra merah meliputi daerah frekuensi antara 10^{11} sampai 10^{14} Hertz dan mempunyai daerah panjang gelombang 10^{-4} sampai 10^{-1} cm.
- b. Gelombang inframerah ini dihasilkan oleh elektron-elektron dalam molekul yang bergetar karena benda yang dipanaskan.
- c. Sinar Infra Merah dapat menembus kabut dan awan tebal.

Gelombang infra merah tidak dapat diamati secara langsung karena spektrum

gelombang inframerah di atas gelombang cahaya yang tampak oleh panca indera kita. Radiasi sinar inframerah dapat dihasilkan oleh getaran-getaran atom-atom pada suatu molekul.

Getaran atom

pada suatu molekul dapat memancarkan gelombang elektromagnetik pada

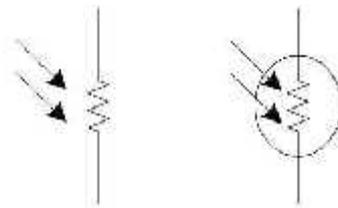
frekuensi yang khas pada inframerah sehingga

spektroskopi inframerah dapat merupakan salah satu alat penting untuk mempelajari struktur molekul.

2.3 LDR (Light Dependent Resistor)

LDR (light dependent resistor) adalah merupakan sejenis resistor, LDR termasuk jenis resistor variable karena jumlah tahanannya dapat berubah-ubah, perubahan tahanannya pada LDR ditentukan oleh besarnya cahaya yang

mengenai penampang pada LDR. Apabila cahaya mengenai penampang LDR itu semakin kecil maka nilai tahanan pada LDR semakin kecil sebaliknya semakin kecil cahaya mengenai penampang LDR maka nilai tahanan pada LDR akan semakin besar. Pada proyek ini LDR akan diletakkan di dalam lemari dan jika lemari dibuka maka cahaya akan masuk dari luar ke dalam dan hal itu akan berpengaruh pada LDR. Di bawah ini adalah lambang dari sebuah LDR.



Gambar 2.6 Lambang LDR

2.4 Photo Transistor

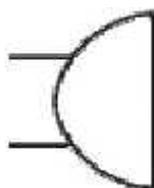
Sebuah photo transistor sama dengan transistor bipolar biasa, bedanya tidak terdapat terminal basis. Sebagai pengganti arus, input transistor diberikan dalam bentuk cahaya. Arus basis (I_{CBO}) bertindak sebagai arus basis. Karena $I_C = \beta_{dc} I_B + (\beta_{dc} + 1) I_{CBO}$ dalam hal ini $I_c = I_{c0}$, arus bocor kolektor emitordengan basis terbuka. Hal yang sama I_{CBO} dalam photo transistor naik bila hubungan basis kolektor diterangi. Bila I_{CBO} dinaikkan arus kolektor $(\beta + 1) I_{CBO}$ juga naik, maka untuk sejumlah penyinaran yang sangat sempit, photo transistor lebih peka dari photo dioda. Beberapa photo transistor yang lain memiliki basis dan

sin yang datang untuk membangkitkan arus basis, beberapa transistor yang lain memiliki terminal basis sehingga dapat diberikan tegangan yang luar biasa.

Komponen ini biasanya dikemas dalam logam, inilah yang digunakan dalam proyek ini. Susunan beberapa photo transistor dan photo dioda sering digunakan sebagai photo detector. Untuk kuat penyinaran tertentu terdapat arus output yang lebih besar pada photo transistor dari pada photo dioda. Tetapi photo dioda mempunyai respon yang lebih cepat dalam *switching* kurang dari nano detik, sedangkan photo transistor dalam micro detik.

2.5BUZZER

Buzzer merupakan suatu komponen yang dapat menghasilkan suara yang mana apabila diberi tegangan pada input komponen, maka akan bekerja sesuai dengan karakteristik dari alarm yang digunakan. Dalam pembuatan proyek tugas akhir ini, penulis menggunakan “Buzzer” sebagai informasi suara. Hal ini dikarenakan karakteristik dari komponen yang mudah untuk diaplikasikan dan suara yang dihasilkan relatif kuat. Buzzer merupakan sebuah komponen elektronik yang dapat mengkonversikan energi listrik menjadi suara yang di dalamnya terkandung sebuah osilator internal untuk menghasilkan suara dan pada buzzer osilator yang digunakan biasanya diset pada frekuensi kerja sebesar 400 Hz. Dalam penggunaannya dalam rangkaian, buzzer dapat digunakan pada tegangan sebesar antara 6V sampai 12V dan dengan typical arus sebesar 25 mA. Pada gambar 2.5 dapat dilihat simbol dari komponen buzzer.



Gambar 2.7 Simbol Buzzer

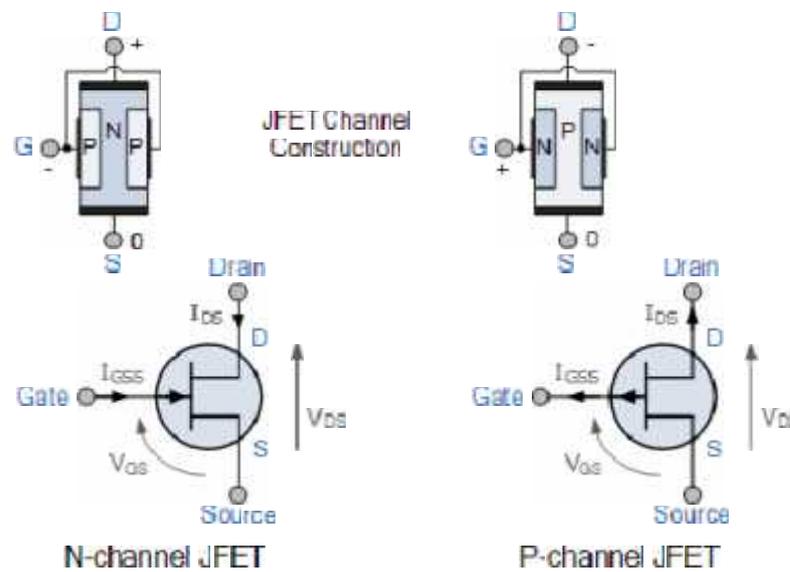
2.6 Transistor Pengaruh Medan (Field-Effect Transistor)

Transistor pengaruh medan (disingkat FET) merupakan alat semikonduktor dimana arus keluaran dikendalikan oleh medan listrik. Karena pembawanya hanya satu jenis, terutama membawa mayoritas, yang ikut serta dalam kerja FET, maka dinamakan transistor satu kutub (unipolar). Ada dua kelas utama dari transistor pengaruh medan: (1) transistor pengaruh medan hubungan (junctionfield-effect transistor, disingkat JFET atau hanya FET saja), dan (ii) transistor pengaruh medan gerbang terisolasi (insulated gate field effect transistor (IGFET)). Kelas terakhir ini lebih dikenal sebagai transistor pengaruh medan semikonduktor logam oksida (metal oxide semiconductor field-effect transistor–MOSFET). Dibawah ini akan diuraikan JFET kemudian MOSFET.

2.7 Transistor Pengaruh Medan Hubungan (JFET)

Gambar 2.6 menunjukkan transistor pengaruh medan hubungan. Transistor ini terdiri dari batang semikonduktor disuntik rata (juga dinamakan kanal*) dengan kontak ohm dikedua ujungnya dan dengan hubungan semi konduktor dikedua sisi batang. Batang semikonduktor dapat terdiri dari bahan jenis n atau bahan jenis p. Dalam peristiwa terdahulu, FET dinamakan FET kanal-n, sedangkan untuk batang jenis -p dinamakan FET kanal p.

Hubungan – hubungan pada kedua sisi batang dengan pencampur yang berlawanan dengan kanal, yakni pencampur jenis n untuk kanal jenis –p dan sebaliknya. Arus dapat mengalir sepanjang batang ini dengan menerapkan tegangan antara terminal-terminal ujung batang. Arus dibawa oleh pembawa mayoritas yang teromabng-ambing lewat kanal. Silikon dan kadang-kadang gallium biasanya diambil sebagai semikonduktor dasar untuk FET. Berbagai notasi yang ditunjukkan dalam gambar adalah:



Gambar 2.8 Transistor Pengaruh Medan Hubungan (JFET)

Sumber (S): Terminal yang dilewati pembawa mayoritas memasuki daerah kanal dinamakan sumber (source). Drain (D): Terminal yang dilewati pembawa mayoritas meninggalkan kanal dinamakan drain. Gerbang (G): pada kedua sisi batang semi konduktor yang terbentuk daerah yang disuntik berat dengan penyampuran (alloy), difusi atau teknik lain dengan menggunakan pencampur yang berlawanan dengan pencampur dari kanal. Daerah ini dinamakan gerbang (gate). Jadi, kalau kanalnya dari jenis n. Gerbangnya dari jenis p dan sebaliknya. Dalam operasi normal, hubungan gerbang sumber dicatu balik. Suatu

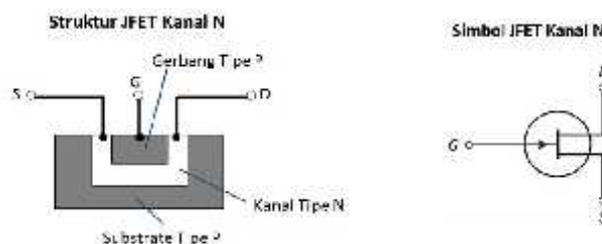
FET kanal-n dengan terminal-terminalnya yang disambungkan dengan baik kesumber tegangan.

Cara Kerja JFET pada prinsipnya seperti kran air yang mengatur aliran air pada pipa. Elektron atau Hole akan mengalir dari Terminal Source (S) ke Terminal Drain (D). Arus pada Outputnya yaitu Arus Drain (I_D) akan sama dengan Arus Inputnya yaitu Arus Source (I_S).

Prinsip kerja tersebut sama dengan prinsip kerja sebuah pipa air di rumah kita dengan asumsi tidak ada kebocoran pada pipa air kita. Besarnya arus listrik tergantung pada tinggi rendahnya Tegangan yang diberikan pada Terminal Gerbangnya (GATE (G)). Fluktuasi Tegangan pada Terminal Gate (V_G) akan menyebabkan perubahan pada arus listrik yang melalui saluran I_S atau I_D . Fluktuasi yang kecil dapat menyebabkan variasi yang cukup besar pada arus aliran pembawa muatan yang melalui JFET tersebut. Dengan demikian terjadi penguatan Tegangan pada sebuah rangkaian Elektronika. Junction FET atau sering disingkat dengan JFET memiliki 2 tipe berdasarkan tipe bahan semikonduktor yang digunakan pada saluran atau kanalnya. JFET tipe N-Channel (Kanal N) terbuat dari bahan Semikonduktor tipe N dan P-Channel (Kanal P) yang terbuat dari Semikonduktor tipe P.

2.7.1. JFET Kanal-N

Berikut dibawah ini adalah gambar struktur dasar JFET jenis Kanal-N.



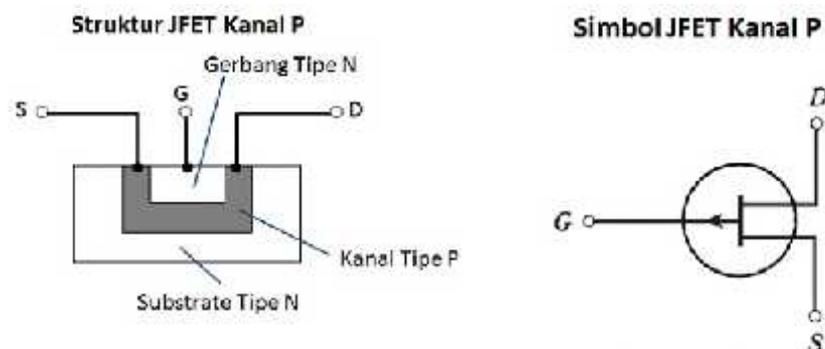
Gambar 2.9 Struktur dasar JFET jenis Kanal-N.

Saluran atau Kanal pada jenis ini terbentuk dari bahan semikonduktor tipe N dengan satu ujungnya adalah Source (S) dan satunya lagi adalah Drain (D). Mayoritas pembawa muatan atau Carriers pada JFET jenis Kanal-N ini adalah Elektron. Gate atau Gerbang pada JFET jenis Kanal-N ini terdiri dari bahan semikonduktor tipe P. Bagian lain yang terbuat dari Semikonduktor tipe P pada JFET Kanal-N ini adalah bagian yang disebut dengan *Substrate* yaitu bagian yang membentuk batas di sisi saluran berlawanan Gerbang (G).

Tegangan pada Terminal Gerbang (G) menghasilkan medan listrik yang mempengaruhi aliran pada pembawa muatan yang melalui saluran tersebut. Semakin Negatifnya V_G , semakin sempit pula salurannya yang akhirnya mengakibatkan semakin kecil arus pada outputnya (I_D).

2.7.2. JFET Kanal-P

Berikut dibawah ini adalah gambar struktur dasar JFET jenis Kanal-P.



Gambar 2.10 Struktur dasar JFET jenis Kanal-P.

Saluran pada JFET jenis Kanal-P terbuat dari Semikonduktor tipe P. Mayoritas pembawa muatannya adalah Hole. Bagian Gate atau Gerbang (G) dan Substrate-nya terbuat dari bahan Semikonduktor tipe N. Di JFET Kanal-P, semakin Positifnya V_G , semakin sempit pula salurannya yang akhirnya mengakibatkan semakin kecilnya arus pada Output JFET (I_D). Dari Simbolnya, kita dapat mengetahui mana yang JFET Kanal-N dan JFET Kanal-P. Anak Panah pada simbol JFET Kanal-N adalah menghadap ke dalam sedangkan anak panah pada simbol JFET Kanal-P menghadap keluar.

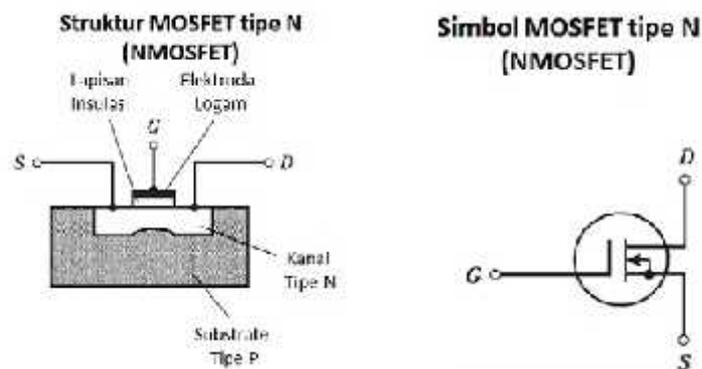
2.7.3 Metal Oxide Semiconduction Field Effect Transistor (MOSFET)

Seperti halnya JFET, Saluran pada MOSFET juga dapat berupa semikonduktor tipe-N ataupun tipe-P. Terminal atau Elektroda Gerbangnya adalah sepotong logam yang permukaannya dioksidasi. Lapisan Oksidasi ini berfungsi untuk menghambat hubungan listrik antara Terminal Gerbang dengan Salurannya. Oleh karena itu, MOSFET sering juga disebut dengan nama Insulated-Gate FET (IGFET). Karena lapisan Oksidasi ini bertindak sebagai dielektrik, maka pada dasarnya tidak akan terjadi aliran arus antara Gerbang dan Saluran. Dengan demikian, Impedansi Input pada MOSFET menjadi sangat tinggi dan jauh melebihi Impedansi Input pada JFET. Pada beberapa jenis MOSFET Impedansi dapat mencapai Triliunan Ohm (10^{12} Ohm). Dalam bahasa Indonesia, MOSFET disebut juga dengan Transistor Efek Medan Semikonduktor Logam-Oksida. Salah kelemahan pada MOSFET adalah tipisnya lapisan Oksidasi sehingga sangat rentan rusak karena adanya pembuangan elektrostatik (Electrostatic

Discharge).Seperti yang disebut sebelumnya, bahwa MOSFET pada dasarnya terdiri dari 2 tipe yaitu MOSFET tipe N dan MOSFET tipe P.

2.7.4 MOSFET tipe N

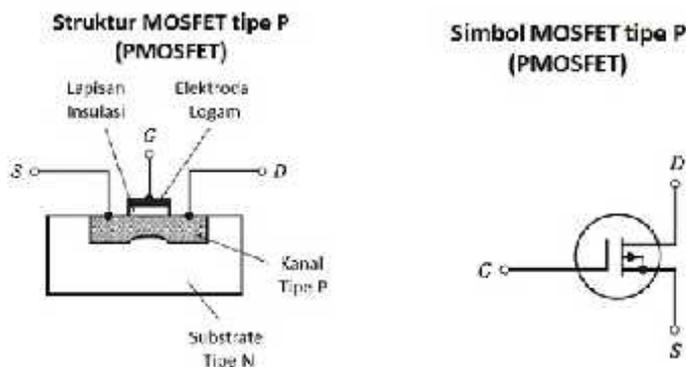
MOSFET tipe N biasanya disebut dengan NMOSFET atau nMOS. Berikut dibawah ini adalah bentuk struktur dan Simbol MOSFET tipe N.



Gambar 2.11 MOSFET tipe N

2.7.5 MOSFET tipe P

MOSFET tipe P biasanya disebut dengan PMOSFET atau pMOS. Dibawah ini adalah bentuk struktur dan Simbol MOSFET tipe P.



Gambar 2.12 MOSFET tipe P

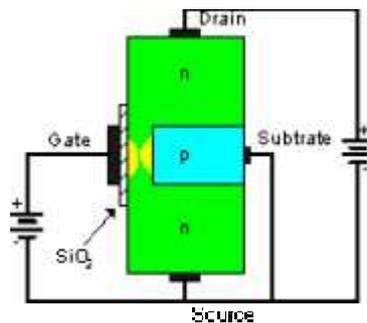
Jika dibandingkan dengan Transistor Bipolar, FET memiliki beberapa kelebihan dan kelemahan. Salah satu kelebihan FET adalah dapat bekerja dengan baik di rangkaian elektronika yang bersinyal rendah seperti pada perangkat komunikasi dan alat-alat penerima (receiver). FET juga sering digunakan pada rangkaian-rangkaian elektronika yang memerlukan Impedansi yang tinggi. Namun pada umumnya, FET tidak dapat digunakan pada perangkat atau rangkaian Elektronika yang bekerja untuk penguatan daya tinggi seperti pada perangkat Komunikasi berdaya tinggi dan alat-alat Pemancar (Transmitter).

Transistor MOSFET (*Metal oxide FET*) memiliki drain, source dan gate. Namun perbedaannya gate terisolasi oleh suatu bahan oksida. Gate sendiri terbuat dari bahan metal seperti aluminium. Oleh karena itulah transistor ini dinamakan *metal-oxide*. Karena gate yang terisolasi, sering jenis transistor ini disebut juga IGFET yaitu *insulated-gate FET*. Ada dua jenis MOSFET, yang pertama jenis *depletion-mode* dan yang kedua jenis *enhancement-mode*. Jenis MOSFET yang kedua adalah komponen utama dari gerbang logika dalam bentuk IC (*integrated*

circuit), uC (*micro controller*) dan uP (*micro processor*) yang tidak lain adalah komponen utama dari komputer modern saat ini.

1. MOSFET Depletion-mode

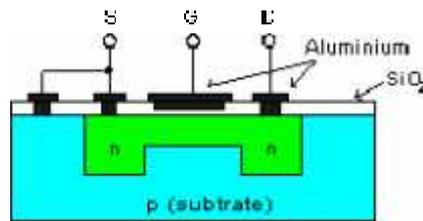
Gambar berikut menunjukkan struktur dari transistor jenis ini. Pada sebuah kanal semikonduktor tipe n terdapat semikonduktor tipe p dengan menyisakan sedikit celah. Dengan demikian diharapkan elektron akan mengalir dari source menuju drain melalui celah sempit ini. Gate terbuat dari metal (seperti aluminium) dan terisolasi oleh bahan oksida tipis SiO_2 yang tidak lain adalah kaca.



Gambar 2.13 Struktur MOSFET depletion-mode

Semikonduktor tipe p di sini disebut substrat p dan biasanya dihubungkan dengan source. Ingat seperti pada transistor JFET lapisan deplesi mulai membuka jika $V_{GS} = 0$. Dengan menghubungkan singkat substrat p dengan source diharapkan ketebalan lapisan deplesi yang terbentuk antara substrat dengan kanal adalah maksimum. Sehingga ketebalan lapisan deplesi selanjutnya hanya akan ditentukan oleh tegangan gate terhadap source. Pada gambar, lapisan deplesi yang dimaksud ditunjukkan pada daerah yang berwarna kuning.

Semakin negatif tegangan gate terhadap source, akan semakin kecil arus drain yang bisa lewat atau bahkan menjadi 0 pada tegangan negatif tertentu. Karena lapisan deplesi telah menutup kanal. Selanjutnya jika tegangan gate dinaikkan sama dengan tegangan source, arus akan mengalir. Karena lapisan deplesi mulai membuka. Sampai di sini prinsip kerja transistor MOSFET *depletion-mode* tidak berbeda dengan transistor JFET. Karena gate yang terisolasi, tegangan kerja V_{GS} boleh positif. Jika V_{GS} semakin positif, arus elektron yang mengalir dapat semakin besar. Di sini letak perbedaannya dengan JFET, transistor MOSFET *depletion-mode* bisa bekerja sampai tegangan gate positif.



Gambar 2.14 Penampang D-MOSFET (depletion-mode)

Struktur ini adalah penampang MOSFET *depletion-mode* yang dibuat di atas sebuah lempengan semikonduktor tipe p. Implant semikonduktor tipe n dibuat sedemikian rupa sehingga terdapat celah kanal tipe n. Kanal ini menghubungkan drain dengan source dan tepat berada di bawah gate. Gate terbuat dari metal aluminium yang diisolasi dengan lapisan SiO_2 (kaca). Dalam beberapa buku, transistor MOSFET *depletion-mode* disebut juga dengan nama D-MOSFET.

2. MOSFET Enhancement-mode

Jenis transistor MOSFET yang kedua adalah MOSFET *enhancement-mode*. Transistor ini adalah evolusi jenius berikutnya setelah penemuan MOSFET

depletion-mode. Gate terbuat dari metal aluminium dan terisolasi oleh lapisan SiO_2 sama seperti transistor MOSFET *depletion-mode*. Perbedaan struktur yang mendasar adalah, subtrat pada transistor MOSFET *enhancement-mode* sekarang dibuat sampai menyentuh gate, seperti terlihat pada gambar beritu ini.

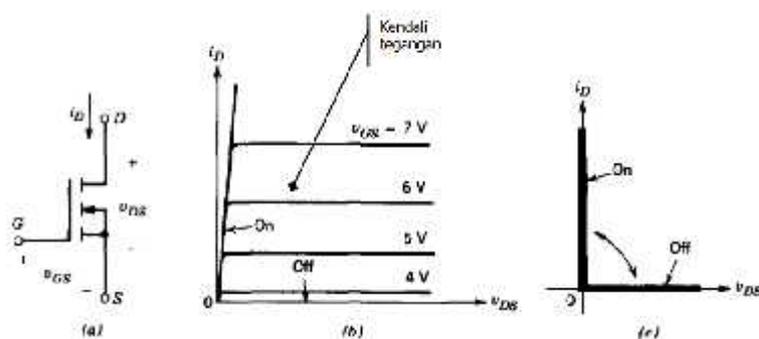
Gambar 2.15 Struktur MOSFET *enhancement-mode*

Gambar atas ini adalah transistor MOSFET *enhancement mode* kanal n. Jika tegangan gate V_{GS} dibuat negatif, tentu saja arus elektron tidak dapat mengalir. Juga ketika $V_{GS}=0$ ternyata arus belum juga bisa mengalir, karena tidak ada lapisan deplesi maupun celah yang bisa dialiri elektron. Satu-satunya jalan adalah dengan memberi tegangan V_{GS} positif. Karena subtrat terhubung dengan source, maka jika tegangan gate positif berarti tegangan gate terhadap subtrat juga positif. Tegangan positif ini akan menyebabkan elektron tertarik ke arah subtrat p. Elektron-elektron akan bergabung dengan hole yang ada pada subtrat p. Karena potensial gate lebih positif, maka elektron terlebih dahulu tertarik dan menumpuk di sisi subtrat yang berbatasan dengan gate. Elektron akan terus menumpuk dan tidak dapat mengalir menuju gate karena terisolasi oleh bahan insulator SiO_2 (kaca).

Jika tegangan gate cukup positif, maka tumpukan elektron akan menyebabkan terbentuknya semacam lapisan n yang negatif dan seketika itulah arus drain dan

source dapat mengalir. Lapisan yang terbentuk ini disebut dengan istilah *inversion layer*. Kira-kira terjemahannya adalah lapisan dengan tipe yang berbalikan. Di sini karena substratnya tipe p, maka lapisan *inversion* yang terbentuk adalah bermuatan negatif atau tipe n. Tentu ada tegangan minimum dimana lapisan *inversion* n mulai terbentuk. Tegangan minimum ini disebut tegangan *threshold* $V_{GS(th)}$. Tegangan $V_{GS(th)}$ oleh pabrik pembuat tertera di dalam datasheet. Di sini letak perbedaan utama prinsip kerja transistor MOSFET *enhancement-mode* dibandingkan dengan JFET. Jika pada tegangan $V_{GS} = 0$, transistor JFET sudah bekerja atau ON, maka transistor MOSFET *enhancement-mode* masih OFF. Dikatakan bahwa JFET adalah komponen normally ON dan MOSFET adalah komponen normally OFF.

MOSFET MOSFET merupakan komponen semikonduktor daya yang memiliki tiga terminal, yaitu: gerbang, sumber (source), dan pengalir (drain). MOSFET bekerja atas dasar prinsip kendali-tegangan (voltage-driven). Gambar 1.5 (a), (b), dan (c) masing-masing ditunjukkan simbol. MOSFET, karakteristik MOSFET, dan karakteristik ideal MOSFET sebagai sakelar. Rangkaian pengaturan ON dan OFF dengan piranti MOSFET lebih mudah dibandingkan piranti transistor. Jika pada terminal gerbang-sumber dicatu tegangan yang cukup besar maka piranti akan ON, sehingga menghasilkan tegangan yang kecil antara terminal pengalir-sumber. Dalam kondisi ON, perubahan tegangan pada terminal pengalir-sumber berbanding lurus dengan arus pada terminal pengalirnya. Jadi, terminal pengalir-sumber memiliki resistansi sangat kecil pada saat kondisi ON.



Gambar 2.16 MOSFET:(a) simbol MOSFET, (b) karakteristik MOSFET, (c) karakteristik ideal MOSFET sebagai sakelar

Jika MOSFET dalam kondisi ideal, ketika MOSFET dalam kondisi ON memiliki karakteristik tegangan pada terminal pengalir dan sumber (V_{DS}) sama dengan nol dan arus yang mengalir sama dengan arus bebannya. Sebaliknya, ketika MOSFET dalam kondisi OFF memiliki karakteristik tegangan pada MOSFET sama dengan tegangan sumbernya (V_{DD}) dan arus yang mengalir sama dengan nol. Dalam kondisi MOSFET ON dan OFF ini dapat dinyatakan tidak terjadi kerugian daya pada MOSFET sebagai sakelar.

Dengan karakteristik seperti dapat dilihat dalam kurva drain diatas, maka dapat lihat bahwa muncul beberapa daerah kerja dari MOSFET. Daerah-daerah tersebut adalah sebagai berikut:

A. Daerah Ohmic

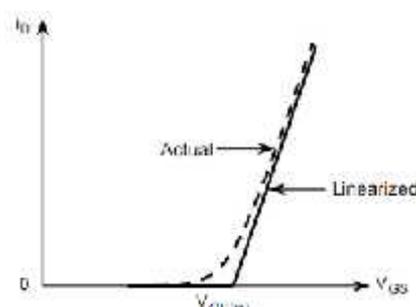
Daerah ini disebut juga daerah resistansi konstan. Daerah ini berada di sebelah kiri garis batas (threshold) $V_{GS} - V_{GS(th)} = V_{DS}$.

B. Daerah Saturasi (jenuh)

Daerah ini juga disebut dengan daerah arus konstan. Daerah ini berada di sebelah kanan garis batas (threshold) $V_{GS} - V_{GS(th)} = V_{DS}$ dan diatas daerah aktif.

C. Daerah Cut-off (putus)

Daerah ini terletak dibawah V_{GS1} . Disebut daerah cut-off, karena pada daerah ini nilai tegangan gate-source lebih kecil tegangan gate-source batas/threshold ($V_{GS} < V_{GS(th)}$).Dibawah ini disajikan gambar kurva karatersistik transfer MOSFET yang menampilkan karakteristik arus drain (I_D) terhadap tegangan gate-source (V_{GS}) pada daerah aktif.



Gambar 2.17 Kurva transfer MOSFET

Persamaan nilai ID terhadap VGS adalah sebagai berikut :

$$I_D = k \cdot [V_{GS} - V_{GS}]^2 \dots\dots\dots(2.1)$$

Dengan nilai konstanta k MOSFET adalah menurut persamaan:

$$K = \mu_n \cdot C_{ox} \cdot \frac{W}{2L} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana:

μ_n = Pembawa mobilitas

W = Lebar kanal

L = Panjang kanal

C_{ox} = Kapasitansi oksida gate per unit area

$$C_{OX} = \frac{\epsilon_{OX}}{t_{OX}} \dots\dots\dots(2.3)$$

ϵ_{OX} = Konstanta dielektrik SiO₂

t_{OX} = Ketebalan oksida gate

MOSFET sebagai media karena impedansi masukannya yang tinggi, daya penggerakannya kecil, rangkaian penggerakannya sederhana, dengan sejumlah besar karakteristik konduksi pembawa konduksi, tidak ada pekerjaan konduksi

pembawa minor yang dibutuhkan waktu penyimpanan, dan dengan demikian kecepatan switching, Frekuensi operasi bisa sampai 500 kHz, bahkan di atas MHz. Namun dengan kenaikan tegangan baliknya, resistansi on-state juga meningkat tajam, sehingga membatasi penerapannya pada aplikasi bertekanan tinggi. IGBT memiliki tegangan balik tinggi dan karakteristik arus tinggi, namun persyaratan rangkaian drive sangat ketat, dan tidak sesuai untuk aplikasi frekuensi tinggi, frekuensi operasi IGBT umum 20kHz atau kurang.

SiC sebagai pelarangan yang luas pada perangkat semikonduktor, dengan kecepatan drift elektron jenuh, kekuatan perincian medan yang tinggi, konstanta dielektrik rendah dan karakteristik konduktivitas termal yang tinggi. Tabung MOSFET dengan SiC sebagai substrat memiliki karakteristik tegangan pemblokiran tinggi, frekuensi kerja tinggi dan ketahanan suhu tinggi, dan resistansi rendah dan kehilangan switching rendah. Ini adalah aplikasi daya tinggi dan kepadatan tenaga tinggi dan peningkatan efisiensi. kecenderungan.

1. Parameter utama dari MOSFET dan Si Mosfet

Resistansi rendah pada RDS (ON) rendah, menghasilkan penurunan voltase maju yang luar biasa dan kerugian konduksi, lebih mampu beradaptasi dengan lingkungan dengan suhu tinggi;

2. SiC Tabung MOSFET memiliki karakteristik masukan tabung Si Mosfet, yaitu muatan gerbang yang sangat rendah, menghasilkan tingkat perpindahan yang sangat baik

3. Wide band gap material dengan arus bocor yang sangat rendah, lebih cocok untuk aplikasi tegangan tinggi

Persyaratan rangkaian drive Sic Mosfet memiliki karakteristik pengalihan yang sangat mirip dengan tabung Si Mosfet, dan rangkaian penggeraknya memiliki karakteristik yang sama dengan mempelajari sifat-sifat Si Mosfet:

1. Untuk rangkaian drive, parameter yang paling penting adalah biaya gerbang, masukan gerbang tabung MOSFET sama dengan jaringan kapasitif, sehingga perangkat pada waktu konduksi stabil atau matikan waktu cut-off tidak perlu digerakkan saat ini, Namun, pada proses peralihan perangkat, gerbang kapasitor input perlu diisi dan dilepas, maka sirkuit penggerak gerbang harus menyediakan muatan arus dan debit pulsa yang cukup besar. Jika frekuensi operasi perangkat lebih cepat, biaya kapasitor dan persyaratan waktu pengatur gerbang lebih pendek, kapasitansi masukan yang dibutuhkan lebih kecil, semakin besar pulsa drive saat ini untuk memenuhi persyaratan drive;
2. Sirkuit penggerak gerbang harus menjadi pilihan yang wajar dari tegangan drive tertentu, tegangan penggerak gerbang lebih tinggi, maka saluran konduksi induksi MOSFET lebih besar, semakin kecil resistansi; Tapi tegangan penggerak gerbang terlalu besar, mudah Isolasi antara gerbang dan drainase, menyebabkan kegagalan permanen tabung MOSFET;
3. Untuk meningkatkan kecepatan tabung saklar, perlu mengurangi waktu saklar saklar. Dalam rangka meningkatkan keandalan kerja tabung MOSFET di dalam keadaan off, sirkuit penggerak dirancang berada dalam tegangan bias off-Extremially reverse untuk melepaskan muatan kapasitor masukan gerbang dengan cepat mengurangi waktu turn-off, membuat Sirkuit drive lebih andal mematikan MOSFET; Tapi tegangan penggerak

balik meningkatkan kerugian rangkaian, bias balik Tegangan paling baik tidak melebihi -6V;

4. Bila objek drive penuh-jembatan atau setengah jembatan, MOSFET sirkuit, atau untuk meningkatkan kemampuan anti jamming sirkuit kontrol, kali ini rangkaian drive dirancang untuk mengisolasi rangkaian drive; Untuk mencapai isolasi listrik melalui transformator kopling magnetik dan perangkat penggandeng optik, namun terlepas dari penggunaan transformator coupling magnetik atau perangkat penggandengan optik, harus memastikan bahwa waktu penjalaran alat kopling dan kopling kapasitansi terdistribusi; Penggunaan catu daya terisolasi juga harus memiliki isolasi yang tinggi, waktu respon yang cepat dan karakteristik kapasitansi kopling yang rendah.

Karakteristik catu daya isolasi dari karakteristik rangkaian penggerak, diperlukan power supply drive yang memiliki karakteristik sebagai berikut:

1. Untuk memenuhi frekuensi penggunaan persyaratan yang tinggi, yang membutuhkan daya dorong dengan karakteristik daya tinggi yang menggerakkan daya tinggi, yang membutuhkan kapasitas beban kapasitif yang besar;
2. Untuk memenuhi persyaratan aplikasi tegangan tinggi, yang membutuhkan daya dorong dengan tegangan tahan tinggi dan memiliki kapasitor isolasi ultra-rendah untuk mengurangi bagian bus tegangan tinggi dari sisi kontrol tegangan rendah dari interferensi;
3. Daya penggerak terisolasi harus memiliki voltase penggerak yang sesuai, yang membutuhkan catu daya memiliki voltase keluaran positif dan

negatif, dan tegangan keluaran positif dan negatif bukan karakteristik keluaran simetris.

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini akan dijelaskan tentang perancangan perangkat keras (*hardware*) dari rangkaian Metal Oxyde Semikonduktor (MOSFET) Dan Cathode Ray Oscilloscope (CRO) terhadap hasil karakteristik dari hasil pengukuran.

3.1 Tempat dan lokasi penelitian

Kegiatan penelitian ini bertempat di laboratorium fakultas teknik prodi teknik elektro UMSU.

3.2 Alat dan Bahan

Ada pun peralatan dan bahan yang digunakan sebagai berikut:

1. Peralatan :

- Power Supply Variabel

Untuk mendapatkan sumber tegangan DC dari AC dibutuhkan power supply. Power supply yang digunakan, yaitu power supply variabel DC untuk memberikan tegangan ± 25 V dengan arus sebesar 1 A. Adapun jenis power supply variabel DC yang digunakan adalah merk Leader.

Berikut adalah spesifikasi dari power supply variabel DC ini:

- a. Interval tegangan : 0 – 6 V, 0 hingga +25 V dan 0 sampai -25 V
- b. Arus 5 A pada tegangan 0 – 6 V dan arus 1 A pada tegangan 0 hingga +/- 25 V
- c. Semua output tegangan dan arus dapat diatur
- d. Ripple : $< 3\text{mVpp}$

- Function Generator

Pada pengukuran ini digunakan sebuah function generator yang digunakan sebagai input gelombang untuk rangkaian. Penggunaan sebuah function generator ini dimaksudkan agar frekuensi yang dihasilkan sesuai dengan transduser ultrasonik. Function generator yang digunakan adalah Escort ECG 2218. Escort ECG 2218 adalah function generator produk Escort Electronic Instrument dari Taiwan. Function generator ini mengeluarkan gelombang kotak yang digunakan sebagai input amplifier. Berikut adalah spesifikasi dari generator fungsi ini:

- a. Interval frekuensi : 0.2 Hz – 2 MHz
- b. Tegangan Output : < 10 Vpp
- c. Impedansi Output : 50 \pm 10%
- d. Level Offset : \pm 10 V (dapat diatur)
- e. Sweep Time : 10 ms – 5 s
- f. Akurasi : 5 % (amplitude max., 1 kHz, untuk sinus dan segitiga)
- g. Bentuk gelombang output : Sinus, kotak, segitiga, sinyal TTL / CMOS

- **Osiloskop 1 Unit**
- **Multitester**
- **Tang kombinasi**
- **Papan Break board**
- **Catu daya**
- **Kawat penghubung**
- **Trafo daya 0-15Volt AC Lembar Job sheet**

Bahan:

- Modul MOS-FET 1 buah

- Tahanan 100 3 buah
- Potensio meter 1 k 1 buah
- Dioda 1N4007 1 buah

3.3. Jalannya Penelitian

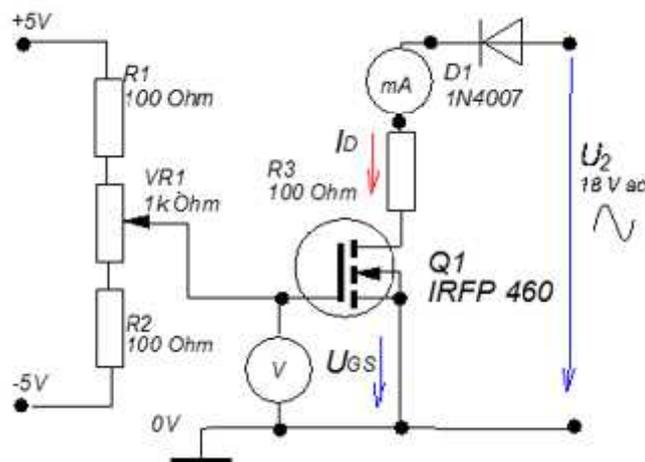
Metode yang akan dilakukan dalam penelitian ini adalah :

- Menguji coba rangkaian Mosfet dengan Karakteristik input MOSFET dan Karakteristik output MOSFET
- Mengukur Karakteristik input MOSFET dan Karakteristik output MOSFET
- Analisis perhitungan kelayakan perancangan rangkaian

3.4 Pengujian Rangkaian Mosfet

3.4.1 Pengujian rankaian kerja Mosfet Pengukuran karakteristik input:

- Masa (ground) pada basis transistor
- Voltmeter pada U_{GS}
- Mili Amperemeter pada I_D
- Input U₁ berupa tegangan ganda +5V, 0V dan -5V.



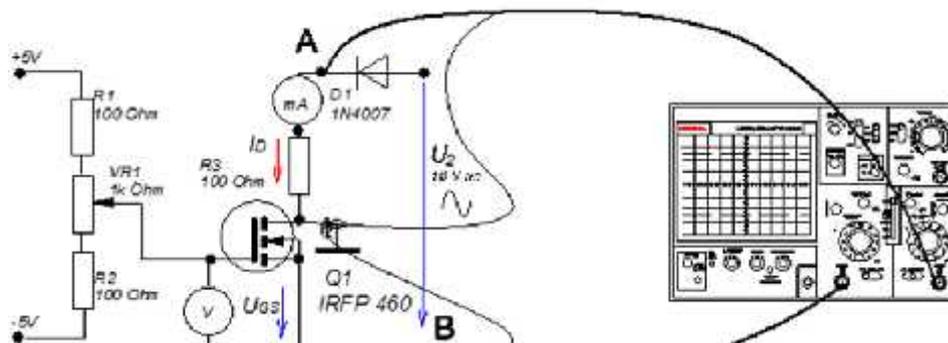
Gambar 3.1 Rangkaian Kerja MOSFET

3.4.2 Pengukuran karakteristik input:

1. Masa (ground) pada basis transistor
2. Voltmeter pada UGS
3. Mili Amperemeter pada ID
4. Input U1 berupa tegangan ganda +5V, 0V dan -5V
5. Atur tegangan masukan UGS sesuai dengan tabel I (dengan dipantau oleh Voltmeter)

3.4.3 Pengukuran karakteristik output $ID = f(U_{GS})$:

1. Masa (ground) pada Drain
2. CH1 pada titik B (Volt/div = 5V/cm)
3. CH2 pada titik A (Volt/div = 5V/cm)
4. Posisi CRO pada (x-y)
5. Input tegangan U1 berupa tegangan dual DC +5V, 0V, -5V
6. Atur input x dan y (CH1 dan CH2) pada posisi ground, dan tepatkan bintik layar CRO pada posisi T (lihat kolom CRO).
7. Atur posisi input x dan y (CH1 dan CH2) pada posisi DC
8. Gambarkan masing – masing bentuk karakteristik yang ditampilkan oleh layar CRO.



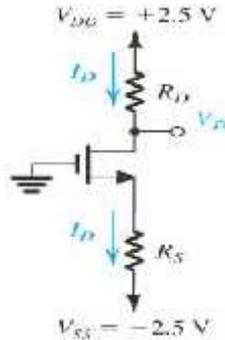
Gambar 3.2 Pengukuran karakteristik Input dan output

Pertama atur tegangan Gate-Source (V_{GS}) dengan mengatur tegangan input DC melalui pengaturan potensiometer VR1 agar penunjukan Voltmeter pada 0 Volt. Gambar bentuk kurva yang ditampilkan oleh layar CRO. Naikkan tegangan masukan DC agar penunjukan Voltmeter menjadi 1 Volt. Gambar bentuk kurva yang ditampilkan CRO, demikian juga untuk tegangan Gate-Source (V_{GS}) 2V, 3V, 3,1V, 3,3V, 3,4V dan 3,45V. Penunjukan div/cm pada sumbu x CRO (V_{CE}) adalah 1 kolom = 5 Volt ; sedangkan sumbu y CRO (I_C) adalah 1 kolom = 0,05 mA berasal dari perhitungan $(\text{Volt/div}) : R_2 = (5V) : 100 = 1 \text{ kolom} = 0,05 \text{ mA}$.

Diasumsikan dalam perhitungan Sebuah MOSFET mempunyai $L_{min} = 0,4 \mu\text{m}$, $t_{OX} = 8 \text{ nm}$, $\mu_n = 450 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ dan $V_t = 0,7 \text{ V}$. Carilah C_{OX} dan k'_n . Untuk MOSFET dengan $W/L = 8 \mu\text{m}/0,8 \mu\text{m}$, hitunglah harga V_{GS} dan V_{DSmin} yang diperlukan agar transistor bekerja di daerah jenuh dengan arus dc $I_D = 100 \mu\text{A}$. Untuk MOSFET pada (b), carilah harga V_{GS} yang diperlukan agar MOSFET bekerja sebagai resistor 1000 untuk v_{DS} yang sangat kecil.

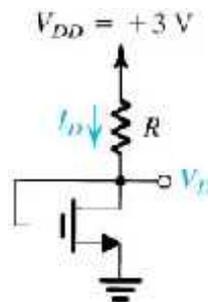
Kemudian rangkaian seperti pada gambar di bawah ini sehingga transistor bekerja pada $I_D = 0,4 \text{ mA}$ dan $V_D = +0,5 \text{ V}$. Transistor NMOS mempunyai $V_t = 0,7$

$V_t, \mu_n C_{OX} = 100 \mu A/V^2, L = 1 \mu m$ dan $W = 32 \mu m$. Abaikan pengaruh channel-length modulation ($\lambda = 0$)



Gambar 3.3 Rangkaian MOSFET pada DC

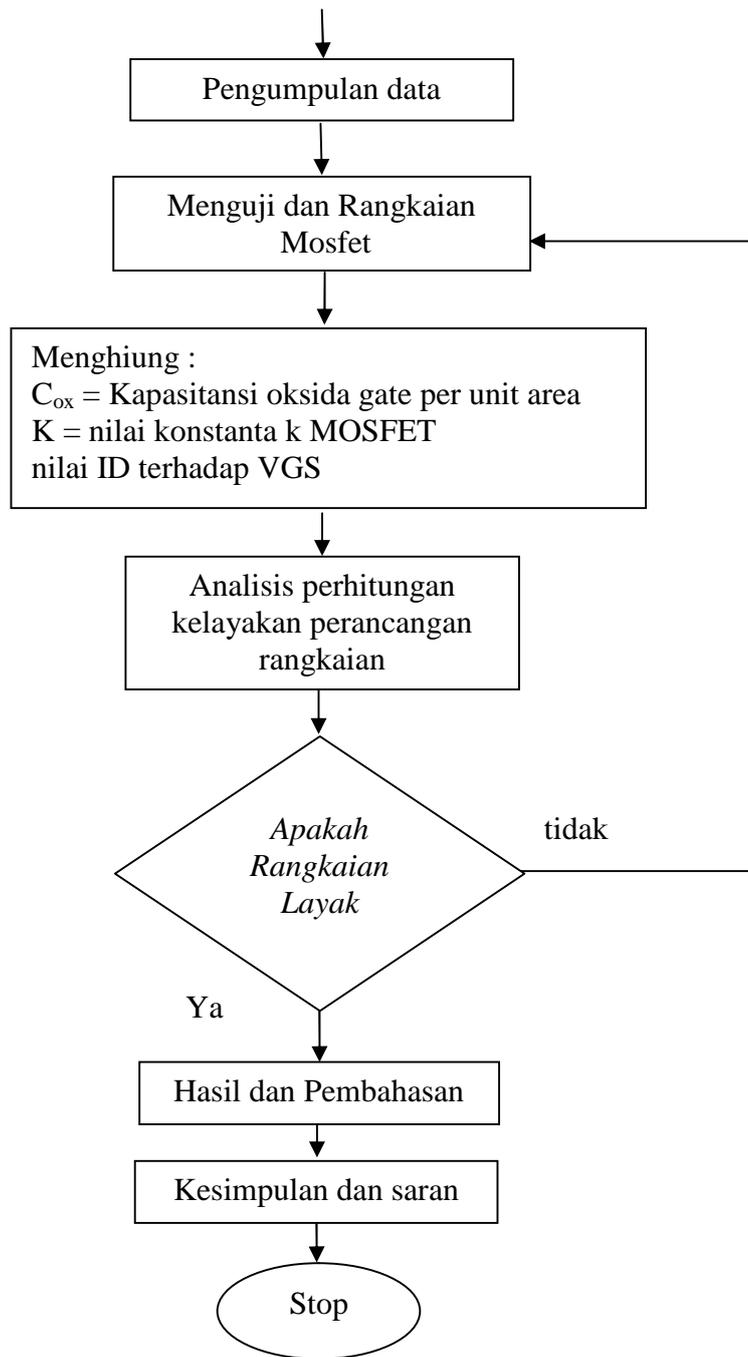
Rangkaian seperti gambar 3.4 untuk mendapatkan arus $I_D = 80 \mu A$. Cari harga R dan tegangan DC V_D . Transistor NMOS mempunyai $V_t = 0,6 V, \mu_n C_{OX} = 200 \mu A/V^2, L = 0,8 \mu m$ dan $W = 4 \mu m$. (asumsikan $\lambda = 0$)



Gambar 3.4 untuk mendapatkan arus I_D

Pada diagram di bawah ini menunjukkan beberapa langkah langkah-langkah penting yang dilakukan dalam kajian perencanaan ini, yaitu ada Mengukur tegangan dan arus dan mengamati hasil bentuk gelombang keluaran rangkaian. Pelaksanaan penelitian dapat digambarkan secara diagram alir pada Gambar 3.5:

Mulai



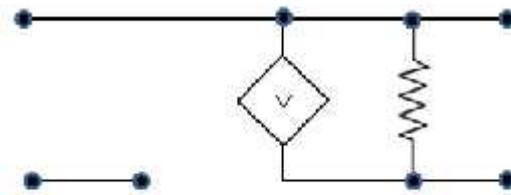
Gambar 3.3 Diagram Alir Penelitian

BAB 4

HASIL PEMBAHASAN

4.1 Analisa Data Perhitungan Rangkaian Ekivalen Sinyal Besar

Dari hasil pengukuran Sebuah MOSFET mempunyai $L_{min} = 0,4 \mu\text{m}$, $t_{OX} = 8 \text{ nm}$, $\mu_n = 450 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ dan $V_t = 0,7 \text{ V}$. Hitung C_{OX} dan k_n . Untuk MOSFET dengan $W/L = 8 \mu\text{m}/0,8 \mu\text{m}$, hitunglah harga V_{GS} dan V_{DSmin} yang diperlukan agar transistor bekerja di daerah jenuh dengan arus dc $I_D = 100 \mu\text{A}$ Untuk MOSFET dan harga V_{GS} yang diperlukan agar MOSFET bekerja sebagai resistor 1000 untuk v_{DS} yang sangat kecil.



Gamabr 4.1 Rangkaian ekivalen sinyal besar

Penyelesaian :

$$C_{ox} = \frac{\epsilon}{o} = \frac{3,4 \times 10^{-1}}{8 \times 10^{-9}} = 4,32 \times 10^{-3} \text{ F/m}^2 = 4,32 \text{ fF}/\mu\text{m}^2$$

$$\begin{aligned} K_n &= \mu_n \cdot C_{ox} = 450 \text{ (cm}^2 / \text{V}\cdot\text{s)} \times 4,32 \text{ (fF}/\mu\text{m}^2) \\ &= 194 \times 10^{-6} \text{ (F/V}\cdot\text{s)} \\ &= 194 \mu\text{A/V} \end{aligned}$$

Maka untuk bekerja jenuh :

$$I_D = \frac{1}{2} K_n \frac{W}{L} (V_{GS} - V_t)^2$$

$$100 = \frac{1}{2} \times 194 \times \frac{8}{0,8} (V_{GS} - 0,7)^2$$

$$V_{GS} = 1,02 \text{ V}$$

$$V_{DS \text{ min}} = (V_{GS} - V_t) = 0,32 \text{ V}$$

Maka Mosfet di daerah trioda dengan V_{DS} sangat kecil maka :

$$I_D = K_n \frac{W}{L} (V_{GS} - V_t) V_{DS}$$

$$r_{DS} = \frac{V_{DS}}{I_D} \quad V_{DS \text{ Kecil}}$$

$$= 1 / \left[K_n \frac{W}{L} (V_{GS} - V_t) \right]$$

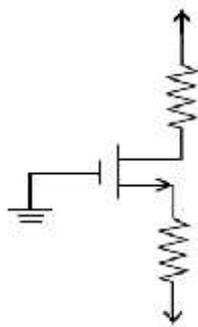
$$1000 = \frac{1}{1 \times 10^{-6} \times 1 \times (V - 0,7)}$$

$$V_{GS} - 0,7 = 0,52 \text{ V}$$

$$V_{GS} = 1,22 \text{ V}$$

4.2 Analisa Data Perhitungan Rangkaian MOSFET pada DC

Kemudian pada rangkaian seperti pada gambar di bawah ini sehingga transistor bekerja pada $I_D = 0,4 \text{ mA}$ dan $V_D = +0,5 \text{ V}$. Transistor NMOS mempunyai $V_t = 0,7 \text{ V}$, $\mu_n C_{OX} = 100 \mu\text{A/V}^2$, $L = 1 \mu\text{m}$ dan $W = 32 \mu\text{m}$. Abaikan pengaruh channel-length modulation ($\lambda = 0$)



Gambar 4.2 Rangkaian MOSFET pada DC

Penyelesaian :

$V_D = 0,5 \text{ V} > V_G$ Nmos bekerja pada daerah jenuh.

$$I_D = \frac{1}{2} \mu_n \frac{W}{L} (V_{GS} - V_t)^2$$

$$V_{GS} - V_t = V_{OV} \cdot I_D = 0,4 \text{ mA} = 400 \mu\text{A}$$

$$\mu_n C_{OX} = 100 \mu\text{A} / \text{V}^2 \text{ dan } W/L = 32/1$$

$$400 = \frac{1}{2} \times 100 \times 32/1 \cdot V_{OV}^2$$

$$V_{OV} = 0,5 \text{ V}$$

$$V_{GS} = V_t + V_{OV} = 0,7 + 0,5 = 1,2 \text{ V}$$

$$V_G = 0 - V_s = -1,2 \text{ V}$$

$$R_s = \frac{V - V_s}{I_D}$$

$$= \frac{-1,2 - (-2,5)}{0,4} = 3,25 \text{ k}$$

Maka untuk mendapatkan $V_D = +0,5 \text{ V}$:

$$R_D = \frac{V - V_D}{I_D}$$

$$= \frac{2,5 - 0,5}{0,4} = 5 \text{ k}$$

Sedangkan pada rangkaian seperti gambar 3.4 BAB. 3 untuk mendapatkan arus $I_D = 80 \mu\text{A}$. Maka harga R dan tegangan DC V_D . Transistor NMOS mempunyai $V_t = 0,6 \text{ V}$, $\mu_n C_{OX} = 200 \mu\text{A}/\text{V}^2$, $L = 0,8 \mu\text{m}$ dan $W = 4 \mu\text{m}$. (asumsikan $V_s = 0$) Maka :

$V_{DG} = 0$ menuju V_D dan FET bekerja di daerah jenuh

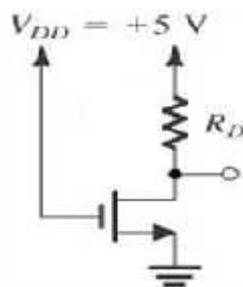
$$\begin{aligned}
 I_D &= \frac{1}{2} \mu_n \cdot C_{OX} \frac{W}{L} (V_{GS} - V_t)^2 \\
 &= \frac{1}{2} \mu_n \cdot C_{OX} \frac{W}{L} V_{OV}^2 \\
 V_{OV} &= \sqrt{\frac{2 \cdot I_D}{\mu_n C_{OX} \left(\frac{W}{L}\right)}} \\
 &= \sqrt{\frac{2 \cdot 8}{2 \times \left(\frac{4}{0,8}\right)}} = 0,4 \text{ V}
 \end{aligned}$$

$$V_{GS} = V_t + V_{OV} = 0,6 + 0,4 = 1 \text{ V}$$

$$V_D = V_G = 1 \text{ V}$$

$$\begin{aligned}
 R_D &= \frac{V - V_D}{I_D} \\
 &= \frac{3 - 1}{0,0} = 25 \text{ k}
 \end{aligned}$$

Agar tegangan drain = 0,1V. Berapakah resistansi antara drain dan source pada titik kerja ini ? $V = 1 \text{ V}$ dan $kn'(W/L) = 1 \text{ mA/V}^2$.



Gambar 4.3 Rangkaian MOSFET bekerja di daerah trioda

Maka :

$V_D = V_G - 4,9$ dan $V_t = 1$ V MOSFET bekerja di daerah trioda. Jadi arus yang mengalir :

$$I_D = K_n \frac{W}{L} (V_{GS} - V_t) V_{DS} - \frac{1}{2} V_{GS}^2$$

$$I_D = 1 \times [(5-1) \times 0,1 - \frac{1}{2} \times 0,01]$$

$$R_D = \frac{V - V}{I_D}$$

$$= \frac{5 - 0,1}{0,0} = 12,4k$$

$$\text{Maka } r_{DS} = \frac{V_D}{I_D} = \frac{0,1}{0,0} = 253$$

Penurunan karakteristik pada rangkaian MOSFET bekerja di daerah trioda di hubungkan ke catu daya V_{DD} melalui R_D sehingga di peroleh hubungan I_D dan V_{DS} sebagai berikut :

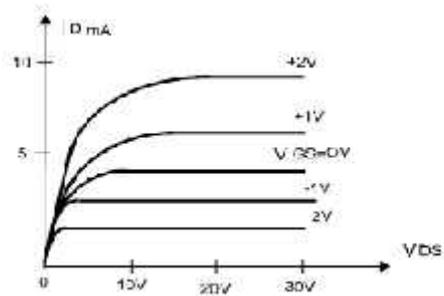
$$V_{DS} = V_{DD} - R_D \cdot I_D$$

$$I_{DS} = \frac{V_D}{R_D} - \frac{1}{R_D} V_{DS}$$

Secara kuantitatif, rangkaian bekerja sebagai berikut :

$$V_I = V_{GS}$$

Untuk $V_I < V_t$ transistor 'cutoff', $I_D = 0$, $V_O = V_{DS} = V_{DD}$ Transistor bekerja pada titik A. $V_I > V_t$ transistor 'on', I_D meningkat, V_O menurun. Karena V_O bermuladengan harga yang tinggi, transistor bekerja dalam keadaan jenuh. Keadaan ini ditunjukkan oleh garis beban antara titik A dan B. Untuk titik Q tertentu $V_{IQ} = V_{GS}$ dan $V_{OQ} = V_{DSQ}$ serta arus = I_D



Gambar 4.3 Kurva Titik Jenuh

MOSFET sebagai penguat bekerja di daerah jenuh. MOSFET diberi bias dc pada titik di tengah-tengah kurva. Titik ini disebut titik kerja atau quiescent point. Sinyal tegangan yang akan diperkuat, ditumpangkan pada tegangan dc V_{IQ} . Maka faktor penguatan V_{DSQ} harus lebih kecil dari V_{DD} dan lebih besar dari V sehingga dapat mengakomodasi harga simpangan maksimum dan simpangan minimum dari tegangan keluaran.

Jika V_{DSQ} terlalu dekat dengan V_{DD} harga simpangan maksimum sinyal keluaran akan 'terpotong' (clipped off). Pada keadaan ini dikatakan penguat tidak mempunyai cukup 'headroom'. Dan jika V_{DSQ} terlalu dekat dengan batas trioda, harga simpangan minimum sinyal keluaran akan terdistorsi. Pada keadaan ini dikatakan penguat tidak mempunyai cukup 'legroom'.

BAB 5

PENUTUP

1.1. Kesimpulan

Dalam pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan sistem apakah telah berfungsi seperti apa yang diharapkan serta menganalisa apabila terjadi kegagalan. Terlihat

1. Pada pengujian rangkaian ekivalen MOSFET nilai COX dan kn . Untuk MOSFET dengan $W/L = 8 \mu\text{m}/0,8\mu\text{m}$, maka harga V_{GS} dan $V_{DS\text{min}}$ yang diperlukan agar transistor bekerja di daerah jenuh $COX = 4,32 \text{ fF}/\mu\text{m}^2$, $Kn = 194 \mu\text{A}/\text{V}$, Maka untuk bekerja jenuh $V_{DS\text{min}} = 0,32 \text{ V}$, Maka Mosfet di daerah trioda dengan V_{DS} sangat kecil maka $V_{GS} = 1,22 \text{ V}$.
2. Kemudian pada rangkaian MOSFET pada DC sebesar $R_D = 25\text{k}$ dan rangkaian MOSFET bekerja di daerah trioda $R_D = 12,4\text{k}$ maka $I_{DS} = 253$. maka Sinyal tegangan yang akan diperkuat, ditumpangkan pada tegangan dc V_{IQ} . Maka faktor penguatan V_{DSQ} harus lebih kecil dari V_{DD} dan lebih besar dari V sehingga dapat mengakomodasi harga simpangan maksimum dan simpangan minimum dari tegangan keluaran.

5.2 Saran

Disusunnya Tugas Akhir ini tentu tidak lepas dari kekurangan dan ketidaksempurnaan, maka untuk kedepannya jika ada yang ingin melanjutkan tugas akhir ini ada beberapa saran yang dapat dilakukan untuk seterusnya, antara lain:

1. Dalam melakukan pengujian harus dilakukan dengan teliti dan penggambaran sementara agar mendapatkan hasil desain yang maksimal.
2. Pada penelitian selanjutnya, tugas akhir ini dapat menjadi bahan referensi untuk peneliti yang lebih baik lagi.

DAFTAR PUSTAKA

- Brown, Ward. (2011). Brushless DC Motor Control Made Easy Microchip Application Note AN857. Diakses dari <http://ww1.microchip.com/downloads/cn/AppNotes/cn012037.pdf>
- Jimmy Linggarjati , (2011) Optimasi Penentuan Jenis Mosfet Computer Engineering Department, Faculty of Engineering, Binus University Jl. K.H. Syahdan No. 9, Palmerah, Jakarta Barat .
- Jianwen Shao. (2005). An Improved Microcontroller-based Sensorless Brushless DC (BLDC) Motor Drive for Automotive Applications. Industry Applications Conference. Fourtieth IAS Annual Meeting. Conference Record of the 2005
- Lestari, S. I. 2006. Sintesis dan optimalisasi gel kitosan-gom guar [skripsi]. Bogor: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor.
- Malvino , A .P.2003.Prinsip -Prinsip Elektronika.Jakarta:Salemba Teknika.
- Veronica Ernita K (2014) Perancangan Inverter Sebagai Switch Mos Pada Ic Dac Jurusan Teknik Elektro Universitas Gunadarma Jl. Margonda Raya No. 100, Depok – 16424, Jawa Barat, Indonesia
- Toole , Mike.2003. Rangkaian Elektronik Prinsip dan Aplikasi. Jakarta : Erlangga .
- Widodo , T .S. 2002. Elektronika Dasar. Jakarta: Salemba Teknika