TUGAS AKHIR – EE 184801

DESAIN DAN IMPLEMENTASI PROTOTIPE SOLID-STATE ON-LOAD TAP CHANGER PADA TRANSFORMATOR SATU FASA

Dony Kurniawan
NRP 07111640000030

Dosen Pembimbing
Dedet Chandra Riawan, S.T., M.Eng., Ph.D.
Ir. Sjamsjul Anam., M.T.

DEPATERMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

TUGAS AKHIR – EE 184801

DESAIN DAN IMPLEMENTASI PROTOTIPE *SOLID-STATE ON-LOAD TAP CHANGER* PADA TRANSFORMATOR SATU FASA

Dony Kurniawan
NRP 07111640000030

Dosen Pembimbing
Dedet Candra Riawan, S.T., M.Eng, Ph.D.
Ir. Sjamsjul Anam., M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

FINAL PROJECT – EE 184801

DESIGN AND IMPLEMENTATION PROTOTYPE OF SOLID-STATE ON-LOAD TAP CHANGER FOR SINGLE PHASE TRANSFORMER

Dony Kurniawan
NRP 07111640000030

Supervisor(s)
Dedet Chandra Riawan, S.T., M.Eng., Ph.D.
Ir. Sjamsjul Anam., M.T.

ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Intelligent Electrical and Informatics Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

PERNYATAAN KEASLIAAN
TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul "**Desain dan Implementasi Prototipe *Solid-State On-Load Tap Changer* pada Transformator satu Fasa**" adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Juni 2020

Dony Kurniawan

NRP. 0711 16 4000 0030

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DESAIN DAN IMPLEMENTASI PROTOTIPE *SOLID-STATE ON-LOAD TAP-CHANGER* PADA TRANSFORMATOR 1 FASA

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Pada

Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Departemen Teknik Elektro
Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Menyetujui:

Dosen Pembimbing I

16/07/2020

Dedet Chandra Riawan, ST., MT., Ph.D.
NIP. 197311192000031001

SURABAYA

JUNI, 2020

(*Halaman ini sengaja dikosongkan*)

DESAIN DAN IMPLEMENTASI PROTOTIPE *SOLID-STATE ON-LOAD TAP-CHANGER* PADA TRANSFORMATOR 1 FASA

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Pada

Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Departemen Teknik Elektro
Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Menyetujui:

Dosen Pembimbing II

Ir. Sjamsjul Anam, M.T.
NIP. 196307251990031002

SURABAYA

JUNI, 2020

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DESAIN DAN IMPLEMENTASI *SOLID-STATE ON-LOAD TAP-CHANGER* PADA TRANSFORMATOR SATU FASA

Nama : Dony Kurniawan
NRP : 07111640000030
Pembimbing I : Dedet Chandra Riawan, S.T., M.T., Ph.D.
Pembimbing II : Ir. Sjamsjul Anam, M.T.

ABSTRAK

Pada sistem IT medik untuk lokasi medik kelompok 2, transformator fase tunggal harus digunakan untuk membentuk sistem IT medik untuk perlengkapan portable dan magun dan keluaran nominalnya tidak boleh kurang dari 0.5kVA dan tidak boleh melebihi 10kVA. Tegangan nominal pada sisi sekunder transformator tidak boleh lebih dari 250V. Untuk menjaga nilai tegangan

agar tidak melebihi standard, maka didesain alat berupa *Solid-State On-Load Tap-Changer* (OLTC) yang berfungsi untuk memindahkan tegangan baik menaikan atau menurunkan tegangan beban sehingga tegangan beban tetap pada range sesuai standar. *Solid-State* OLTC ini menggunakan switch elektronik berupa IGBT dan sensor tegangan pada tegangan beban sehingga dapat memindahkan tap melalui transformator kompensasi untuk menambahkan atau menurunkan tegangan dengan cepat dan otomatis. Sehingga, diharapkan alat ini dapat membantu untuk menjaga range tegangan pada sistem kelistrikan rumah sakit, khususnya lokasi medik kelompok 2. Kesimpulan yang didapatkan pada penelitian ini adalah terdapat selisih 5V-7V antara selisih perubahan tegangan dengan tegangan kompensasi dan hasil simulasi lebih baik daripada hasil implementasi alat. Pada hasil uji alat juga terdapat perbedaan sudut fasa sekitar 7.2° untuk kompensasi naik dan 5.9° untuk kompenasi turun.

Kata Kunci : IGBT, *On-Load Tap-Changer* (OLTC), *Solid-State*.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DESIGN AND IMPLEMENTATION PROTOTYPE OF SOLID-STATE ON-LOAD TAP CHANGER FOR SINGLE PHASE TRANSFORMER

Name : Dony Kurniawan
NRP : 07111640000030
1st Advisor : Dedet Chandra Riawan, S.T., M.T., Ph.D.
2nd Advisor : Ir. Sjamsjul Anam, M.T.

ABSTRACT

For medical IT system in group two medical location, single phase transformer is needed to make IT system for portable and fix devices and the nominal output not less than 0.5 kVA and not more than 10 kVA. The nominal voltage for the transformer is not more than 250V. To keep the voltage in range, a device called Solid-State On-Load Tap-Changer (OLTC) is designed. It is used for adjusting the load voltage, so the load voltage is still in range based on the standard. Solid-State OLTC is using electronic switch, called IGBT and voltage sensor at the load voltage so the tap can be adjusted by switching the tap from the transformer to the serial compensation transformer. By this method, keeping the voltage still in range for the hospital medical IT system, especially group two medical location. As the result of this experiment, there are differences around 5V-7V between voltage changes and compensation voltage. There are differences in phase angles between compensation voltages and the load voltages around 7.2° for increasing compensation and 5.9° for decreasing compensation.

Keyword : IGBT, *On-Load Tap-Changer* (OLTC), *Solid-State*.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, berkat rahmat dan karunianya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul "Desain dan Implementasi Prototipe *Solid-State On-Load Tap-Changer* pada Transformator Satu Fasa" sebagai syarat guna memperoleh gelar Sarjana pada Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Selanjutnya, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih kepada semua pihak yang membantu dalam penulisan tugas akhir ini, baik berupa dorongan secara moril ataupun secara materiil. Karena penulis yakin tanpa bantuan dan dukungan tersebut, rasanya tidak mungkin penulis untuk menyelesaikan tugas akhir ini.

Disamping itu, izinkan penulis untuk menyampaikan ucapan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada:

1. Kepada kedua keluarga tercinta, dan juga kepada teman-teman seperjuangan yang sama-sama mengerjakan tugas akhir. Berkat dukungan mereka, saya dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Bapak Dedet Candra Riawan, S.T., M.T., Ph.D dan Ir. Sjamsjul Anam, M.T. selaku dosen pembimbing I dan II, yang telah memberikan banyak ilmu, arahan, dan juga motivasi dalam pengerjaan tugas akhir ini.
3. Seluruh dosen dosen Departemen Teknik Elektro
4. Teman-teman, adik- adik asisten Laboratorium Konversi Energi Listrik yang senantiasa bekerja sama dan memberikan bantuan dan juga dukungan kepada penulis
5. Dan Semua pihak yang telah membantu penulis dan tidak bisa disebutkan satu persatu.

Penulis sadar bahwa tugas akhir ini msih belum sempurna dan masih banyak hal yang harus diperbaiki. Saran, kritik dan msukan baik dari seluruh pihak sangatlah membantu penulis terutama untuk berbagai kemungkinan pengembangan lebih lanjut.

Surabaya, Juni 2020

Penulis

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAAN TUGAS AKHIR vii
ABSTRAK xiii
ABSTRACT xv
KATA PENGANTAR xvii
DAFTAR ISI xix
DAFTAR GAMBAR xxi
DAFTAR TABEL xxiii
BAB 1 PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Permasalahan 2
1.3 Tujuan 2
1.4 Batasan Masalah 2
1.5 Metodologi 3
1.6 Sistematika Penulisan 3
1.7 Relevansi/Manfaat 4
BAB 2 ON-LOAD TAP CHANGER 5
2.1 Konstruksi dan Cara Kerja On-Load Tap Changer 5
2.2 Solid-State OLTC 6
2.2 Implementasi *Switch* 9
2.3 Kontrol *Switching* 10
BAB 3 *SOLID-STATE* OLTC 15
3.1 Simulasi 16
3.2 Desain Alat 24
3.3 Implementasi Alat 29

BAB 4 HASIL PERCOBAAN SOLID-STATE OLTC 31
4.1 Kondisi awal 31
4.2 Kondisi Kompensasi Menaikan Tegangan 32
4.3 Kondisi Kompensasi Menurunkan Tegangan 35
4.4 Perbandingan Hasil Pengujian dan Simulasi 37
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN 41
5.1 KESIMPULAN 41
5.2 SARAN 41
DAFTAR PUSTAKA 43
LAMPIRAN 45
BIODATA PENULIS 51

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Skema OLTC mekanik [3]..... 5
Gambar 2.2 Topologi *solid-state OLTC* 7
Gambar 2.3 Kondisi ketika menambahkan tegangan 8
Gambar 2.4 Kondisi ketika mengurangi tegangan..... 8
Gambar 2.5 Implementasi switch elektronik 9
Gambar 2.6 Blok diagram permodelan kontrol *switching* 10
Gambar 2.7 Grafik permodelan perubahan tegangan 11
Gambar 2.8 Grafik permodelan perubahan *switch* 12
Gambar 2.9 Blok diagram kontroler *switch*..... 13
Gambar 3.1 Skema *solid-state* OLTC 15
Gambar 3.2 Topologi *solid-state* OLTC..... 16
Gambar 3.3 Permodelan transformator utama pada simualasi 16
Gambar 3.4 Permodelan transformator kompensasi pada simulasi 18
Gambar 3.5 *Flowchart* kontrol switch..... 19
Gambar 3.6 Rangkaian *Peak Detector* 20
Gambar 3.7 Perubahan tegangan terhadap perubahan beban 21
Gambar 3.8 Hasil simulasi beban paralel 21
Gambar 3.9 Grafik respon arus beban terhadap perubahan tegangan.. 22
Gambar 3.10 Respon Tegangan terhadap perubahan tegangan 22
Gambar 3.11 Grafik respon arus beban terhadap perubahan tegangan 23
Gambar 3.12 Hasil simulasi perubahan pada tegangan sumber..... 23
Gambar 3.13 Transformator dengan tap pada bagian sekunder..... 25
Gambar 3.14 Transformator kompensasi 26
Gambar 3.15 Implementasi rangkaian switching *solid-state* OLTC.... 27

Gambar 3.16 Rangkaian *drive* menggunakan IC TLP250 27

Gambar 3.17 Kontroler Arduino Uno 28

Gambar 3.18 Sensor tegangan ZMPT101B 28

Gambar 3.19 Implementasi alat *solid-state* OLTC 29

Gambar 4.1 Skema pengujian alat 31

Gambar 4.2 Hasil pengujian alat Ketika switch belum aktif. 32

Gambar 4.3 Hasil pengukuran tegangan ketika tap menaikan tegangan aktif 33

Gambar 4.4 Hasil penjumlahan gelombang antara tegangan beban dan tegangan kompensasi 33

Gambar 4.5 Hasil analisa perbedaan fasa antara tegangan beban dan tegangan kompensasi 34

Gambar 4.6 Hasil pengukuran tegangan ketika tap menurunkan tegangan 35

Gambar 4.7 Hasil pengurangan gelombang tegangan beban dengan tegangan kompensasi 36

Gambar 4.8 Hasil analisa perbedaan sudut fasa antara tegangan beban dan tegangan kompensasi 37

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Hasil uji rangkaian terbuka dan uji hubung singkat transformator utama 17

Tabel 4.1 Hasil kompensasi tegangan antara simulasi dan uji alat..... 38

Tabel 4.2 Hasil kompensasi tegangan antara simulasi dan uji alat..... 38

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 1
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dengan semakin berkembangnya teknologi kesehatan yang berhubungan dengan elektrikal, dituntut adanya pengelolaan dan pengawasan yang baik terhadap prasarana elektrikal rumah sakit, dimulai dari perencanaan, pemasangan, pengujian, pengoperasian, sampai pemeliharaan, sehingga listrik yang digunakan pada peralatan kesehatan tersebut aman dan efisien [1].

Lokasi medik kelompok 2 adalah lokasi medik dimana terdapat bagian terapan yang dimaksudkan untuk digunakan dalam penerapan seperti prosedur intrakardiak, ruang operasi/bedah, dan perawatan vital jika diskontinuitas (kegagalan) suplai dapat menyebabkan kematian. Pada sistem IT medik untuk lokasi medik kelompok 2, transformator fase tunggal harus digunakan untuk membentuk sistem IT medik untuk perlengkapan portable dan magun dan luaran pengenalnya tidak boleh kurang dari 0.5kVA dan tidak boleh melebihi 10kVA. Tegangan pengenal pada sisi sekunder transformator tidak boleh lebih dari 250V [1].

Salah satu solusi dari masalah diatas adalah penggunaan transformator 1 fasa yang dilengkapi oleh *On-Load Tap-Changer* (OLTC). OLTC adalah komponen tambahan pada transformator yang dapat merubah rasio antara kumparan primer dan sekunder dimana luaran tegangan dari transformator dapat stabil meskipun baik tegangan masukan dari transformator dan/atau dinamika beban yang berubah-ubah [2].

Masalah yang dimiliki oleh OLTC mekanik yaitu pada OLTC mekanik membutuhkan perawatan berkala, biaya perawatan, dan respon yang lama. Dengan menggunakan *solid-state on-load tap-changer*, yaitu dengan menambah rangkaiaan pengatur dan menggunakan komponen semikonduktor berdaya tinggi, seperti IGBT yang dapat memberikan respon *switching* cepat sehingga penggatian tap dapat dilakukan tanpa menimbulkan busur listrik [2] [3].

1.2 Permasalahan

OLTC dipasang pada sisi tegangan tinggi karena pada sisi tegangan tinggi memiliki arus yang kecil sehingga tidak menimbulkan busur listrik pada saat pergantigan tap dan proses komutasi akan lebih aman. Tugas akhir ini mendesain sebuah *solid-state* OLTC. *Solid-state* OLTC ini menggunakan *switch* elektronik yang terletak pada sisi sekunder transformator. Hal ini dikarenakan penggunaan sensor pada tegangan beban. Jika peletakan tap pada sisi tegangan tinggi dan sensor pada tegangan beban, hal ini akan menyebabkan pergantian tap tidak akurat dikarenakan perbedaan sudut fasa antara sisi tegangan tinggi dan sisi tegangan beban.

Pada sistem IT medik untuk lokasi medik kelompok 2 digunakan transformator satu fasa dengan rasio 1:1 dan tidak terhubung ke sistem pertanahan untuk menghindari arus bocor ke tanah pada sistem IT medik. Dikarenakan sistem kelistrikan pada beberapa daerah memiliki tegangan yang tidak stabil sehingga memengaruhi akurasi dari alat ukur pada lokasi medik. *Solid-state* OLTC dapat menjadi solusi untuk meregulasi tegangan agar tetap pada range tertentu sehingga tegangan pada lokasi medik khususnya lokasi medik kelompok 2 dapat stabil.

1.3 Tujuan

Tujuan dari Tugas Akhir ini diharapkan sebagai berikut:

Mendesain dan mengimplementasikan prototipe *solid-state on-load tap-changer* untuk meregulasi nilai tegangan pada transformator satu fasa dengan rasio 1:1.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah pada tugas akhir ini hanya mempertimbangkan nilai tegangan dengan mengkompensasi tegangan menggunakan saklar elektronik untuk mengubah tap dengan rentang ±2.5%-5% pada transformator satu fasa dengan rasio tegangan 1:1 dan dengan beban resistif.

1.5 Metodologi

Penelitian ini dilakukan dengan cara mencari referensi terkait topologi dari *solid-state* OLTC, lalu disimulasikan menggunakan *software* PSIM dan diimplementasikan ke dalam bentuk alat. Dari referensi, didapatkan sebuah topologi dengan menggunakan transformator kompensasi yang dipasang secara seri dengan transformator utama sehingga dapat mengubah tegangan beban dengan mengubah tap untuk menambahkan atau mengurangi tegangan sesuai kondisi. Dengan menggunakan transformator kompensasi, perubahan tap hanya menggunakan sebagian tegangan dari bagian sekunder transformator sehingga tegangan yang digunakan pada tap menjadi lebih kecil. Topologi tersebut disimulasikan menggunakan *software* PSIM untuk menentukan parameter yang nantinya akan diimplementasikan kedalam bentuk alat. Setelah diimplementasikan, alat diuji coba menggunakan sumber listrik satu fasa dan osiloskop untuk menganalisis perubahan pada nilai tegangan dengan cara mengamati amplitudo dari gelombang tegangan. Evaluasi dilakukan dengan cara membandingkan hasil pengujian alat dengan hasil simulasi yang sudah dilakukan, dari evaluasi tersebut dapat ditarik kesimpulan dari cara kerja alat tersebut. Penelitian dilaksanakan di laboratorium Konversi Energi B101 Departemen Teknik Elektro ITS.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika dalam penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

Bab 1 : Pendahuluan

Pada bab ini, akan dibahas mengenai latar belakang masalah, batasan masalah, permasalahan, tujuan, metode penelitian, sistematika penulisan dan pembahasan, dan relevansi

Bab 2 : *On-Load* Tap *Changer*

Pada bab ini, akan dibahas mengenai *On-load Tap-changer, i*mplementasi *switch,* dan kontrol *switch* serta topologi yang akan digunakan pada tugas akhir ini.

Bab 3 : *Solid-State* OLTC

Pada bab ini, akan dibahas mengenai topologi alat dan disimulasikan dengan software PSIM, lalu diimplementasikan ke dalam bentuk alat untuk diuji kesesuaiannya dengan desain yang sudah dibuat sebelumnya.

Bab 4 : Hasil Percobaan *Solid-State* OLTC

Bab ini akan menjelaskan hasil dari pengujian alat dan analisis dari data hasil pengujian alat untuk dinilai apakah dapat menjawab permasalahan.

Bab 5 : Kesimpulan dan Saran

Bab ini berisi tentang kesimpulan dan saran dari hasil pembahasan yang telah dilakukan.

1.7 Relevansi/Manfaat

Tugas akhir ini diharapkan dapat memberikan manfaat, berupa:

1. Menjadi referensi yang dapat menunjang pengembagan teknologi selanjutnya terutama pada bidang kualitas daya listrik.
2. Menjadi referensi untuk mahasiswa yang mengerjakan tugas akhir di bidang serupa sesuai teknologi yang ada pada masanya.

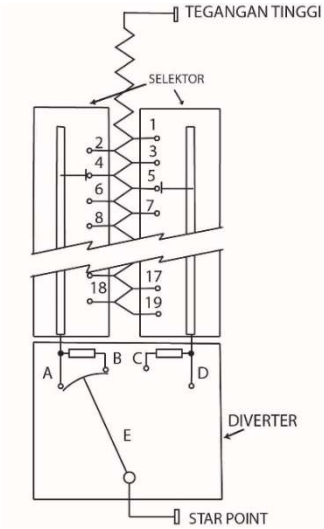
BAB 2
ON-LOAD TAP CHANGER

2.1 Konstruksi dan Cara Kerja On-Load Tap Changer

On-Load Tap-changer (OLTC) merupakan komponen dalam transformator distribusi yang berfungsi untuk mengatur tegangan luaran dengan mengatur rasio antara belitan primer dan sekunder. OLTC merupakan *tap-changer* yang dioperasikan dalam keadaan berbeban.

Pada aplikasinya, OLTC dipasang pada sisi tegangan tinggi. Hal ini dikarenakan pada sisi tegangan tinggi memiliki arus yang rendah. Sehingga tidak menimbulkan busur listrik pada saat melakukan proses komutasi. Alasan lain OLTC dipasang pada sisi tegangan tinggi karena pada sisi tegangan tinggi memiliki belitan yang lebih banyak sehingga variasi tegangan menjadi lebih luas [4].

OLTC bekerja dengan cara mendeteksi tegangan sekunder pada transformator lalu memilih *tap* mana yang harus terhubung sehingga kontrol tegangan pada sisi sekunder transformator dapat terpenuhi. Pada OLTC mekanik, agar pergantian *tap* berhasil, arus beban pada transformator tidak boleh terputus. Skema OLTC mekanik ditunjukan oleh gambar 2.1.



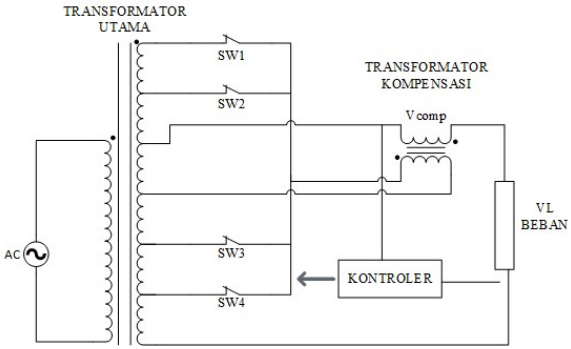
Gambar 2.1 Skema OLTC mekanik [3]

Gambar 2.1 menunjukan skema OLTC secara mekanis. Mekanisme yang digunakan untuk mengatasi hal tersebut yaitu dengan cara menghubungkan transformator dengan impedansi sementara sementara *tap* berganti. Bagian selector merupakan *switch* yang saling berhubungan yang dirancang untuk membawa namun tidak menghubungkan atau memutuskan arus beban, diposisikan dalam kondisi terendam minyak. Bagian diverter merupakan *switch* yang dirancang untuk menghubungkan dan/atau memutus arus beban, diposisikan dalam kondisi terendam minyak dan terpisah dari bagian selektor. Bagian selektor memiliki 2 rangkaian, namun arus beban hanya dapat mengalir ke salah satu rangkaian, sedangkan yang rangkaian yang lain berganti tap. Pada operasinya, ketika akan mengganti tap, tap yang akan dipilih tersambung terlebih dahulu sebelum bagian diverter memutus tap yang sebelumnya dan menyambungkan ke rangkaian dimana tap akan dipindah. Ketika diverter sudah berpindah kedudukan, maka mekanisme pergantian tap dianggap selesai. Mekanisme yang sama terulang untuk tap yang lain [3].

2.2 Solid-State OLTC

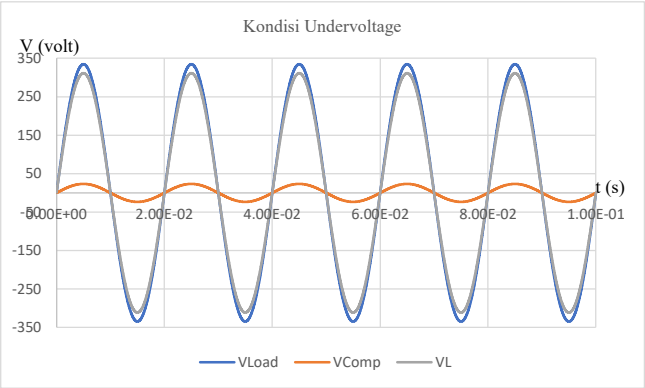
Solid-state OLTC dikembangkan untuk mengatasi masalah yang ada pada OLTC mekanik. *Solid-state* OLTC menggunakan *switch* semikonduktor dan rangkaian tambahan untuk mengatur *switch* tersebut sehingga waktu respon pada *solid-state* OLTC menjadi singkat [2]. *Solid-State* OLTC versi sebelumnya memiliki beberapa masalah seperti respon yang lebih lambat 100ms sampai beberapa detik, tergantung dari tipenya. Contoh OLTC sebelumnya yaitu OLTC mekanik, regulator *ferroresonant,* dan *solid-state* OLTC menggunakan triac [5].

Solid-state OLTC menggunakan transformator kompensasi yang dipasang secara seri yang menghubungkan tap dengan tegangan nominal pada transformator utama. Sehingga, tap pada transformator utama berperan sebagai penambah atau pengurang tegangan dari tegangan beban. Skema *solid-state* OLTC ditunjukan oleh gambar 2.2.

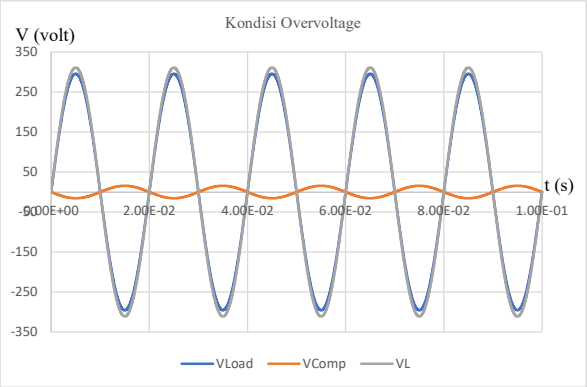


Gambar 2.2 Topologi *solid-state OLTC*

Gambar 2.2 menunjukan konstruksi dari *solid-state* OLTC. *Solid-state* OLTC terdiri dari *switch* elektronik, kontroler dan transformator kompensasi. Cara kerja dari *solid-state* OLTC ini dengan menggunakan tegangan beban (V_L) sebagai input dari kontroler untuk menentukan tap mana yang akan aktif. Kontroler akan memberikan *output* berupa tegangan 0V atau 5V untuk mengaktifkan saklar elektronik, yang nantinya akan menghubungkan tap. Tap pada transformator utama dihubungkan melalui transformator kompensasi yang dipasang secara seri. Fungsi dari transformator kompensasi ini adalah untuk menyalurkan tegangan dari tap ke beban. Tegangan dari beban (V_L) merupakan tegangan nominal transformator utama ditambah dengan tegangan kompensasi (V_{comp}). Cara kerja dari *solid-state* OLTC dapat dimodelkan seperti pada gambar 2.3 dan 2.4 dibawah ini [5].



Gambar 2.3 Kondisi ketika menambahkan tegangan

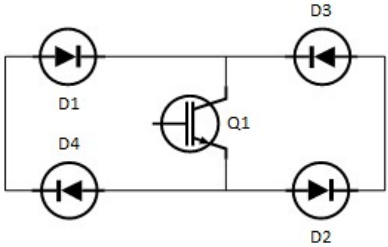


Gambar 2.4 Kondisi ketika mengurangi tegangan

Gambar 2.3 diatas menunjukan gelombang permodelan dari *solid-state* OLTC. Dalam kondisi *undervoltage,* kontroler akan mengatur tap agar aktif dan V_{comp} menghasilkan gelombang yang memiliki polaritas yang sama dengan gelombang tegangan sehingga tegangan bertambah dan terjadi peningkatan pada nilai tegangan. Berlaku hal sedemikian pada kondisi sebaliknya, Gambar 2.4 menunjukan permodelan gelombang dari *solid-state* OLTC apda kondisi *overvoltage.* Pada kondisi *overvoltage* gelombang V_{comp} akan mengeluarkan polaritas yang berkebalikan dari gelombang tegangan beban sehingga akan mengurangi tegangan.

2.2 Implementasi *Switch*

Switch yang digunakan pada solid-state OLTC ini menggunakan *switch* elektronik yang terdiri dari *Insulated Gate Bipolar Transistor* (IGBT) dan empat buah dioda yang dirangkai seperti pada gambar 2.5.

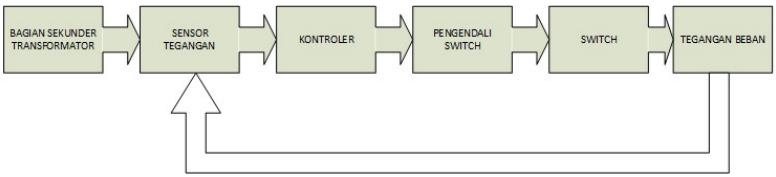


Gambar 2.5 Implementasi switch elektronik

Gambar 2.5 menunjukan konfigurasi switch yang teridiri dari IGBT dan dioda sehingga mampu bekerja secara *bidirectional*. Konfigurasi ini memiliki prinsip kerja yaitu IGBT akan aktif jika bagian *gate* pada IGBT diberi tegangan masukan (dapat berupa logika 1 atau 0). Pada saat gelombang positif, arus akan mengalir melalui D1 dan D4 (*forward bias*). ketika gelombang negatif, arus akan mengalir melalui D2 dan D3. Dengan begitu dapat dikatakan bahwa *switch* ini sudah *bidirectional* dan dapat digunakan untuk *switching* arus AC. Keuntungan dari konfigurasi ini yaitu hanya menggunakan 1 *unidirectional switch* yang membuat lebih mudah dikontrol. Namun, konfigurasi *switch* seperti ini memiliki kekurangan yaitu rugi-rugi konduksi yang lebih tinggi karena pengoperasian tiga buah komponen secara seri, dan konfigurasi seperti ini tidak memungkinkan untuk mengendalikan aliran arus dua arah secara terpisah [6].

2.3 Kontrol *Switching*

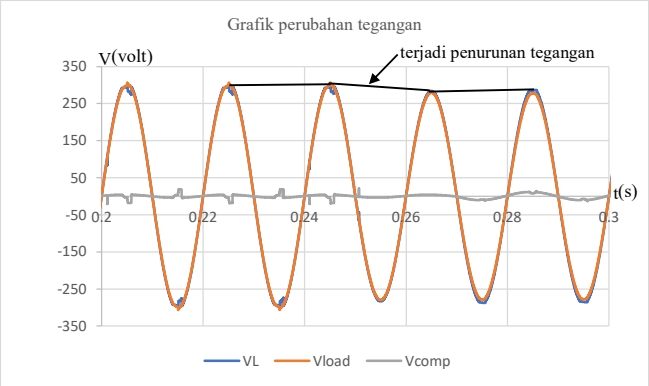
Kontrol *switching* pada *solid-state* OLTC ini menggunakan sebuah kontroler. Dimana kontroler berfungsi untuk memproses sinyal *input* menjadi sinyal *output* tertentu sesuai dengan program yang diunggah ke dalam kontoler tersebut. Sinyal akan digunakan sebagai *trigger* untuk *switch* pada OLTC [2]. Skema komutasi dapat dimodelkan menjadi blok diagram pada gambar 2.6.



Gambar 2.6 Blok diagram permodelan kontrol *switching*

Gambar 2.6 menjelaskan tentang cara kerja kontrol switch yang dimodelkan kedalam blok diagram. Cara kerja dari kontrol switch ini yaitu dengan merekam tegangan pada bagian sekunder tegangan dengan menggunakan sensor tegangan yang hasilnya akan dikirimkan ke kontroler. Pada kontroler, diberikan sebuah algoritma tertentu untuk menentukan luaran pada kontroler berupa impuls yang digunakan pada rangkaian pengendali switch untuk mengaktifkan switch. Switch akan aktif dan mengubah kondisi dari tegangan beban yang nantinya akan direkam kembali dengan sensor tegangan sehingga tegangan akan terus menyesuaikan [2].

Switch akan aktif apabila diberi sebuah *trigger* dari kontroler. Kontroler yang diprogram akan mengaktifkan *switch* tertentu tergantung dari tegangan *input* yang didapatkan. Cara kerja dari kontrol *switching* ini dapat dimodelkan ke dalam grafik pada gambar 2.7 dan 2.8.

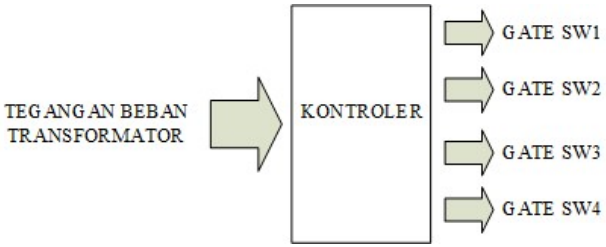


Gambar 2.7 Grafik permodelan perubahan tegangan

Gambar 2.8 Grafik permodelan perubahan *switch*

Gambar 2.7 menunjukan skema perubahan tegangan pada *solid-state* OLTC. V_L merupakan tegangan sesudah dikompensasi, V_{load} merupakan tegangan beban sebelum di kompensasi, dan V_{comp} merupakan tegangan kompensasi. Pada t=0.25 terjadi penurunan tegangan sehingga dapat terlihat pada grafik tegangan diatas mengalami penurunan. Gambar 2.8 menunjukan respon dari *switch* terhadap menurunnya tegangan. Semula *switch* berada pada posisi *switch* 2 kini berubah menjadi *switch* 1. Sehingga, tegangan beban mengalami penyesuaian yang diakibatkan dari kompensasi tegangan yang diberikan oleh transformator kompensasi.

Kontroler yang digunakan pada Tugas Akhir ini adalah Arduino. Arduino dipilih karena pengaplikasian yang sederhana. Sinyal tegangan pada sisi tegangan sekunder transformator utama yang direkam oleh sensor dan menjadi *input* pada Arduino. Lalu Arduino memproses jika input berada pada rentang tegangan tertentu dan memberikan sinyal *output* untuk rangkaian pengendali switch yang akan mengaktifkan *switch* pada tap yang digunakan untuk mengkompensasi tegangan. Kontrol yang digunakan dapat dimodelkan seperti pada gambar 2.9.



Gambar 2.9 Blok diagram kontroler *switch*

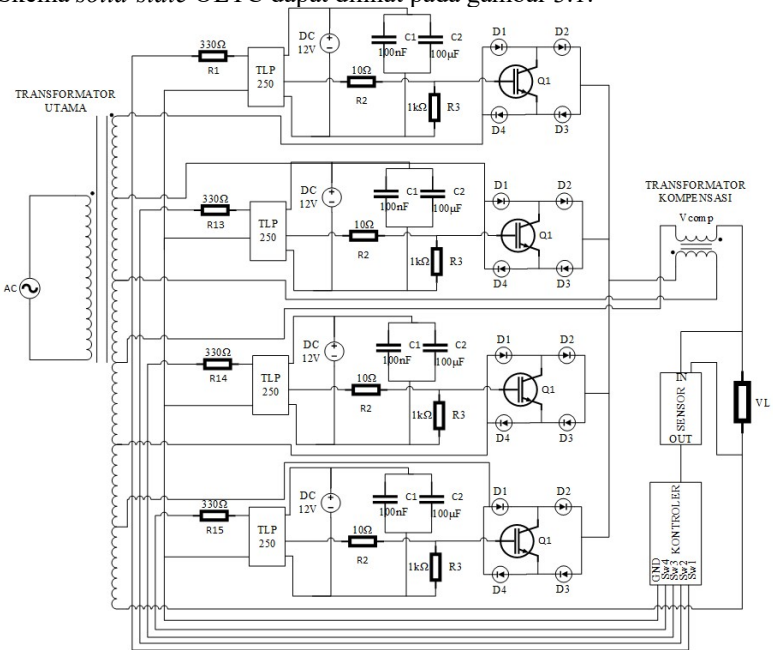
Gambar 2.9 diatas menunjukan blok diagram dari kontroler yang digunakan pada tugas akhir ini. Pada kontroler diatas, yang menjadi input pada kontroler tersebut merupakan tegangan beban pada transformator utama. Lalu input diolah dengan algoritma yang diprogram pada kontroler sehingga memeberikan luaran berupa *solid-state* yang diwakili oleh tegangan 5V untuk menunjukan *state* 1 dan tegangan 0V untuk menunjukan *state* 0.

Proses komutasi terjadi ketika tegangan beban mengalami perubahan sehingga keluar dari rentang tegangan tersebut, sensor akan mengirimkan tegangan dan kontroler akan merubah kedudukan dari *switch*. Pada saat kontroler mengirimkan sinyal *output* ke rangkaian pengendali *switch,* rangkaian akan memberikan arus pada bagian *gate* pada IGBT. IGBT akan aktif dan mengalirkan arus sehingga *tap* yang sesuai dengan tegangan pada transformator utama aktif, dan *tap* sebelumnya menjadi tidak aktif. Pada saat itu, *tap* berubah kedudukan dan proses komutasi selesai. Dengan menggunakan sebagian tegangan pada transformator utama untuk ditambahkan atau dikurangi, maka tegangan yang dihasilkan pada tap lebih kecil. Dengan mekanisme seperti ini, pergantian tap dapat dilakukan dengan cara yang aman [2] [7].

(*Halaman ini sengaja dikosongkan*)

BAB 3
SOLID-STATE OLTC

Bab ini menjelaskan tentang *solid-state* OLTC dan langkah penelitiannya. Mulai dari mencari topologi sampai implementasi alat. Skema *solid-state* OLTC dapat dilihat pada gambar 3.1.

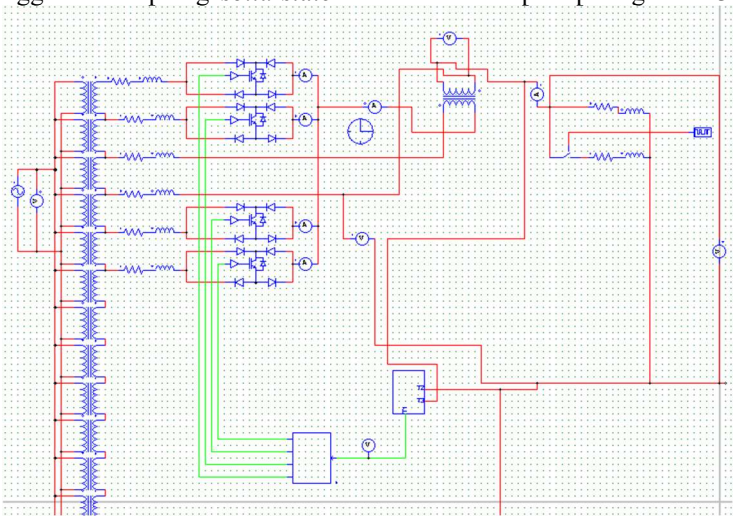


Gambar 3.1 Skema *solid-state* OLTC

Gambar 3.1 menunjukan skema *solid-state* OLTC yang didapatkan dari beberapa refrensi. Berdasar pada skema tersebut, dibuat simulasi menggunakan *software* PSIM, yang nantinya akan diimplementasikan kedalam bentuk alat.

3.1 Simulasi

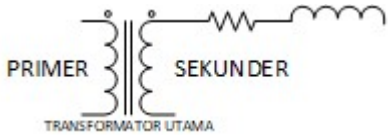
Subbab ini akan menjelaskan simulasi dari *solid-state* OLTC menggunakan *software* PSIM. *Software* PSIM digunakan karena fitur pada PSIM dapat mencangkup semua hal yang dibutuhkan untuk menyimulasikan *solid-state* OLTC ini, dan PSIM cukup sederhana dalam penggunaan. Topologi *solid-state* OLTC disusun seperti pada gambar 3.2.



Gambar 3.2 Topologi *solid-state* OLTC

Gambar 3.2 menunjukan skema *solid-state* OLTC yang sudah dimodelkan ke dalam rangkaian simulasi *software* PSIM.

Transformator utama dimodelkan dengan menggunakan transformator ideal dengan rasio tegangan 1:0.025. Seperti gambar 3.3.



Gambar 3.3 Permodelan transformator utama pada simualasi

Gambar 3.3 menunjukan permodelan transformator utama pada simulasi *software* menggunakan PSIM. hal ini dikarenakan karena range tap pada transformator utama sebesar 2.5%. Dengan menyusun tegangan sekunder pada transformator secara seri dan tegangan primer transformator secara paralel, sehingga didapatkan permodelan dari tap transformator pada transformator utama jumlah transformator utama dapat dihitung dari jumlah tegangan yang diinginkan. Dalam kasus ini, transformator utama dimodelkan dengan jumlah 43 buah. Tambahan *leakage impedance* pada tap transformator yang didapatkan dari hasil uji rangkaian terbuka dan arus pendek pada transformator dipasang secara seri pada bagian sekunder transformator, sehingga transformator utama lengkap dengan tapnya berhasil dimodelkan. Hasil uji rangkaian terbuka dan uji hubung singkat pada transformator dapat dilihat pada tabel 3.1.

Tabel 3.1 Hasil uji rangkaian terbuka dan uji hubung singkat transformator utama

Transformator utama			
UJI RANGKAIAN TERBUKA		UJI HUBUNG SINGKAT	
Voc	220V	Vsc	3.1V
Ioc	0.1A	Isc	0.45A
Poc	16W	Psc	1.4W

Tabel 3.1 diatas merupakan hasil uji rangkaian terbuka dan uji hubung singkat pada transformator utama. Berdasarkan hasil pengujian diatas dapat digunakan rumus dibawah ini untuk mengetahui nilai *leakage impedance* pada transformator utama [8].

$$Z_{SE} = \frac{V_{SC}}{I_{SC}} \angle COS^{-1} PF \qquad (1)$$

Dan PF dapat dihitung menggunakan persamaan dibawah ini.

$$PF = cos\theta = \frac{P_{SC}}{V_{SC} I_{SC}} \qquad (2)$$

Sehingga didapatkan nilai *leakage impedance* sebesar 6.78 + j0.00181Ω.

Transformator tersebut dirangkai dengan menghubungkan bagian primer secara paralel dan bagian sekunder secara seri. Sehingga, dapat menghasilkan tegangan yang sama pada bagian primer dan tap yang diinginkan pada bagian sekunder.

Transformator kompensasi dimodelkan dengan menggunakan transformator ideal dengan belitan sekunder dan primer memiliki beterbalikan arah seperti pada gambar 3.4.

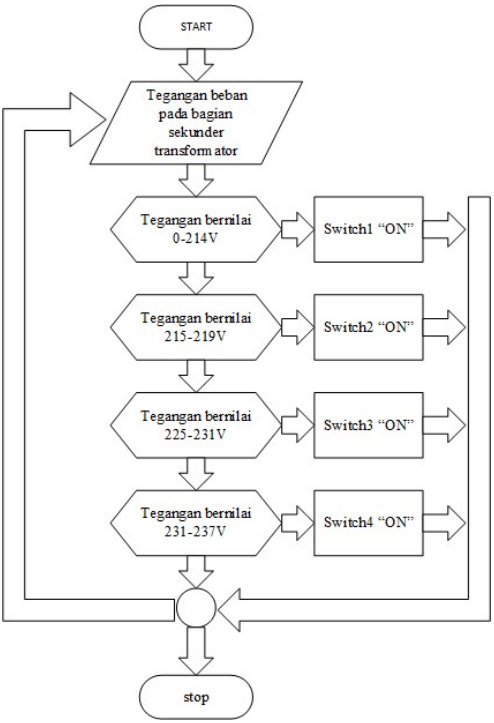
Gambar 3.4 Permodelan transformator kompensasi pada simulasi

Gambar 3.4 menunjukan permodelan dari transformator kompensasi. Transformator kompensasi dimodelkan menjadi sebuah transformator ideal karena transformator kompensasi memiliki nilai *leakage impedance* yang sangat kecil sehingga pada simualasi kali ini dimodelkan menjadi transformator ideal.

Switch elektronik dimodelkan menggunakan *switch* IGBT dan dioda ideal yang sudah tersedia pada *library* PSIM, disusun secara *bridge* agar mampu bekerja dalam kondisi *bidirectional*.

Beban dimodelkan ke dalam bentuk resistor dan induktor dengan mempertimbangkan pada pengaplikasiannya beban merupakan beban induktif. Sehingga beban dibuat induktif dengan menggunakan resistor dan induktor yang disusun secara seri.

Kontroler menggunakan blok *simplified C* untuk menjalankan program regulasi tegangan. Algoritma untuk kontroler dapat dilihat pada gambar 3.5.

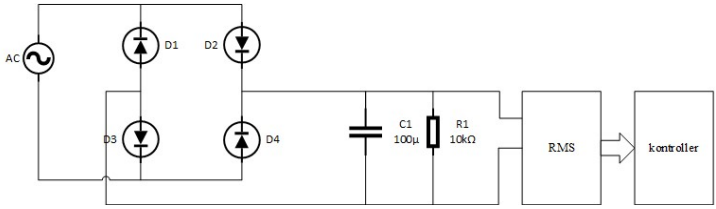


Gambar 3.5 *Flowchart* kontrol switch

Gambar 3.5 diatas menunjukan algoritma dari kontroler. Kontroler ini bekerja dengan cara mengambil tegangan beban sebagai input. Lalu, tegangan diklasifikasikan pada range tertentu. Jika tegangan berada pada nilai antara 0-214V, maka switch +5% akan aktif. Ketika tegangan berada pada nilai 215-219V, maka switch +2.5% akan aktif. Switch tidak bekerja jika tegangan beban berada pada range 220-224V untuk menghindari *hunting*. *Switch* pada tap -5% akan bekerja ketika tegangan berada pada range 225-231V dan -7.5% akan bekerja pada tegangan 231-237V. Hal ini dikarenakan tap nilai nominal digunakan untuk menjadi nilai refrensi pertama pada tegangan beban dan terhubung langsung dengan transformator kompensasi. Sedangkan tap pada nilai -2.5% digunakan sebagai refrensi untuk menentukan apakah tap tersebut menambahkan atau mengurangi tegangan.

Pengendali switch menggunakan komponen *on-off switch controller* pada PSIM yang disambungkan dari output kontroler ke bagian *gate* pada IGBT agar pada saat kontroler menghasilkan output, maka *gate* pada IGBT mendapat arus dari kontroler dan IGBT pun aktif.

Untuk sensor tegangan dimodelkan dengan rangkaian *peak detector* yang terdiri dari rangkaian *full-wave rectifier* yang dihubungkan dengan blok *simplified C* agar didapatkan tegangan RMS. Rangkaian peak detector dapat dilihat pada gambar 3.6.

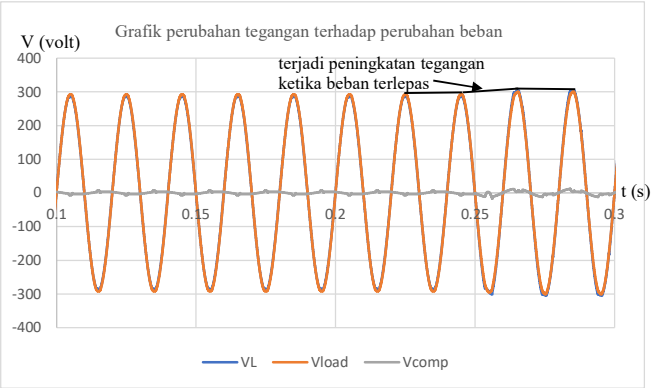


Gambar 3.6 Rangkaian *Peak Detector*

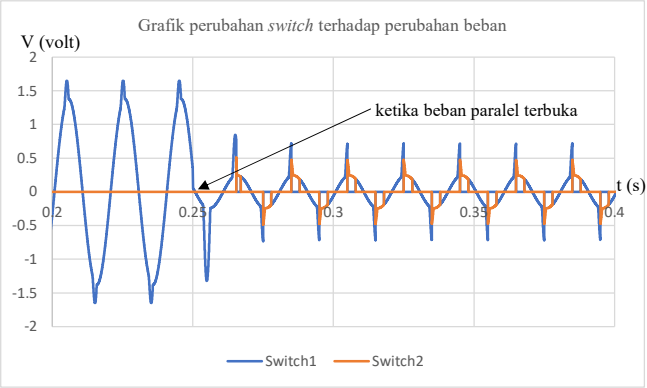
Gambar 3.6 diatas menunjukan rangkaian *peak* detector untuk menjadi sensor dan mengetahui tegangan input untuk kontroler. Rangkaian ini dihubungkan ke tegangan beban sebagai *input* dan *output* dari *peak detector* dihubungkan ke input dari kontroler.

Simulasi *solid-state* OLTC ini terdiri dari dua kasus, yaitu: perubahan pada beban dan perubahan pada sumber. Yang akan ditinjau pada simulasi ini adalah *trigger* pada switch, nilai tegangan pada beban, dan arus pada beban untuk menunjukan perubahan yang dilihat ketika terjadi perubahan pada tegangan maupun beban.

Pada kasus pertama, beban disusun secara paralel dan dihubungkan ke switch yang nanti akan mati pada waktu yang sudah ditentukan. Respon sistem akan ditinjau dengan permodelan menggunakan sebuah grafik yang diukur pada tegangan beban dan arus beban, serta arus *switch* untuk melihat *switch* manakah yang aktif. Hasil dari simulasi dapat dilihat pada gambar 3.7, 3.8, dan 3.9.



Gambar 3.7 Perubahan tegangan terhadap perubahan beban

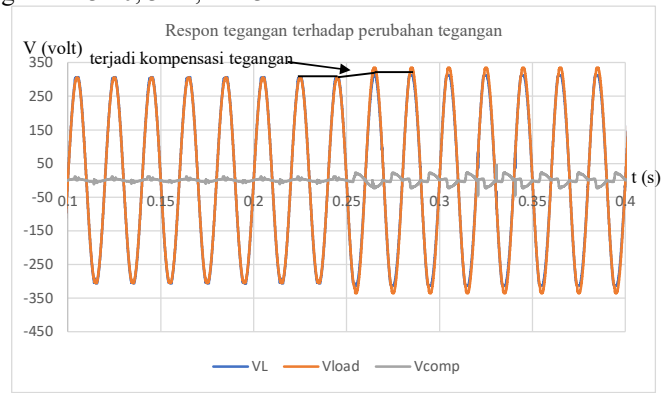


Gambar 3.8 Hasil simulasi beban paralel

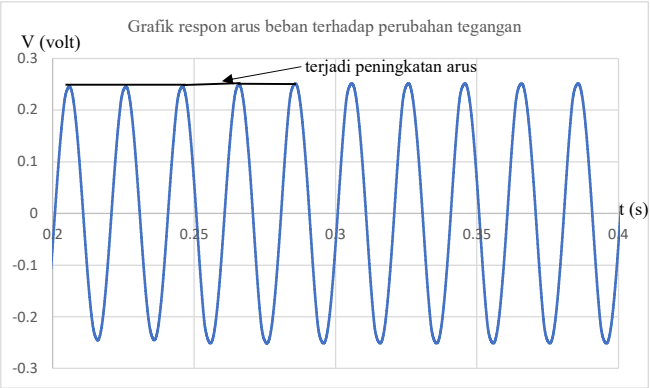
Gambar 3.9 Grafik respon arus beban terhadap perubahan tegangan

Gambar 3.7 menunjukan hasil simulasi yang menunjukan bahwa ketika beban paralel terbuka, maka tegangan akan meningkat. Hal ini didukung oleh grafik respon *switch* pada gambar 3.8 yang menunjukan ketika beban paralel dibuka, *switch* mengalami perpindahan dari *switch* 1 ke *switch* 2. Hal yang sama juga ditunjukan oleh grafik pada gambar 3.9 Arus akan mengecil ketika beban paralel dibuka.

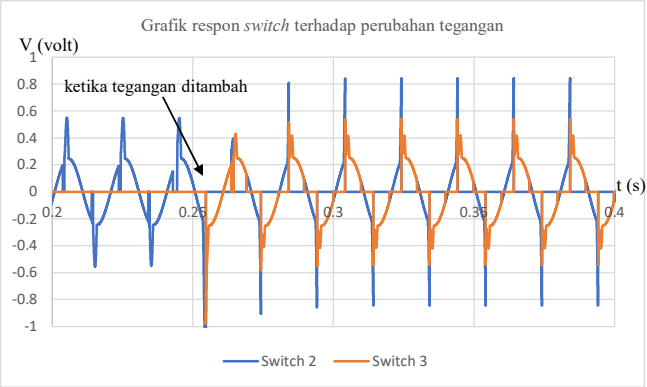
Pada kasus kedua, ditambahkan sumber yang nantinya akan menambahkan tegangan pada sistem di t=0.25. Sehingga tegangan akan bertambah dan akan merubah posisi dari tap yang semula berada pada posisi tap 2 (+2.5%) menjadi tap 3 (-5%). Hasil dari simulasi dapat dilihat pada gambar 3.10, 3.11, dan 3.12.



Gambar 3.10 Respon Tegangan terhadap perubahan tegangan



Gambar 3.11 Grafik respon arus beban terhadap perubahan tegangan



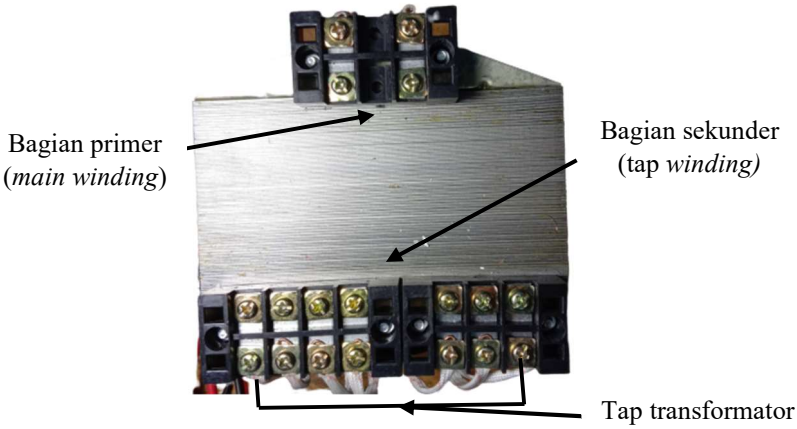
Gambar 3.12 Hasil simulasi perubahan pada tegangan sumber

Gambar 3.10 diatas menunjukan respon tegangan pada perubahan beban. Grafik tersebut menunjukan adanya perubahan tegangan yang disebabkan oleh sumber, dan dapat dikompensasikan dengan perubahan pada *switch*. Gambar 3.11 menunjukan perubahan dari arus beban ketika terjadi penambahan tegangan pada sumber. Dari grafik tersebut dapat diamati bahwa terjadi peningkatan pada arus ketika tegangan bertambah. Hal ini dikarenakan pada simulasi ini beban dibuat tetap dan tegangan sumber yang ditambah, sehingga arus akan meningkat seiring meningkatnya tegangan. Gambar 3.12 menunjukan grafik pergantian *switch.* Berdasarkan grafik pada gambar 3.12, *switch* berpindah dari posisi awal *switch* 2 menjadi *switch* 3. Sehingga dapat dibuktikan bahwa terjadi kompensasi nilai tegangan sebesar 2.5%.

Dari hasil simulasi diatas, dapat diketahui bahwa perubahan pada beban dan perubahan pada sumber dapat memengaruhi nilai tegangan. Dan ketika tegangan melewati rentang yang sudah diprogram sebelumnya pada kontroler, maka switch akan berpindah mengikuti tegangan beban sehingga nilai tegangan dapat terkompensasi sesuai dengan kedudukan *switch* yang didapat dari nilai tegangan beban yang dibaca oleh sensor.

3.2 Desain Alat

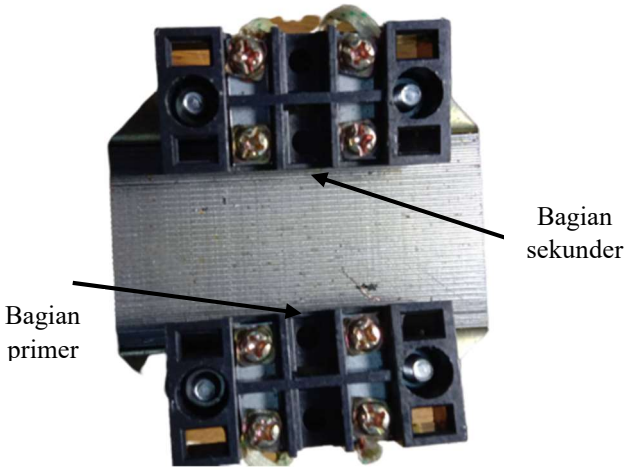
Untuk megimplementasikan topologi yang sudah disimulasikan sebelumnya, maka dirancang alat agar menghasilkan *output* yang sesuai dari apa yang disimulasikan. Untuk transformatornya, dapat ditunjukan pada gambar 3.13.



Gambar 3.13 Transformator dengan tap pada bagian sekunder

Gambar 3.13 menunjukan gambar dari transformator satu fasa dengan rasio tegangan 1:1 yang berkapasitas 360VA dengan tegangan input 220Vrms dan tegangan output mencapai 237Vrms yang dibagi menjadi 6 tap dengan rincian tegangan 209, 215, 220, 225, 231, 237. Kapasitas 360VA dipilih agar kapasitas dari transformator tidak terlalu kecil untuk pengujian dengan beban paralel, dan tidak terlalu mahal jika menggunakan kapasitas yang terlalu besar.

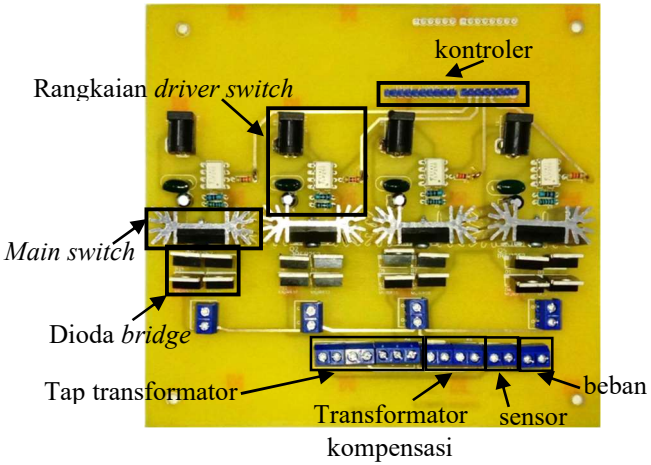
Untuk transformator kompensasi, digunakan transformator satu fasa dengan rasio 1:1 dengan nilai tegangan luaran yang rendah sehingga meminimalisir rugi-rugi dan tidak terlalu berdampak pada proses tapping. Transformator kompensasi dapat dilihat pada gambar 3.14.



Gambar 3.14 Transformator kompensasi

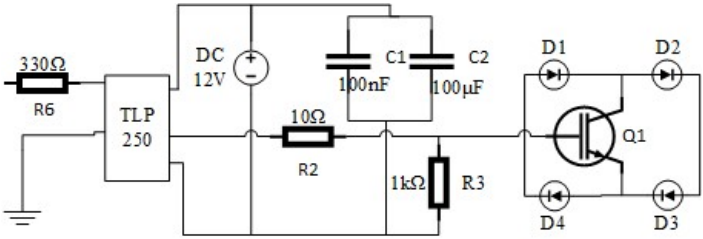
Gambar 3.14 menunjukan transformator kompensasi yang digunakan pada penelitian ini. Transformator diatas memiliki tegangan nominal 16.5V dengan kapasitas 30VA yang disesuaikan dengan arus pada beban. Transformator tersebut memiliki rasio 1:1 dan dihubungkan secara seri dengan transformator utama untuk menghasilkan tegangan tambahan atau mengurangi tegangan sesuai dengan tap yang aktif.

Untuk pengaplikasian *switching* dirangkai kedalam sebuah PCB seperti gambar 3.15.



Gambar 3.15 Implementasi rangkaian switching *solid-state* OLTC

Gambar 3.15 diatas merupakan implementasi dari topologi yang sudah disimulasikan sebelumnya. *Main switch* yang terdiri dari IGBT dan 4 buah dioda digunakan karena memiliki kecepatan *switching* yang sangat cepat dan dapat bekerja pada arus tinggi. Untuk membuat IGBT dapat beroperasi secara *bidirectional*, maka digunakan diode dengan kecepatan tinggi yang disusun secara *bridge* dengan IGBT. Dioda jenis MUR1560 dipilih karena dapat beroperasi pada suhu tinggi dan pada tegangan tinggi mencapai 600V. Rangkaian pengendali *switch* untuk IGBT ini menggunakan IC TLP 250 yang dirangkai sedemikian rupa sehingga seperti pada gambar 3.16.



Gambar 3.16 Rangkaian *drive* menggunakan IC TLP250

Pada gambar 3.16 diatas merupakan IC TLP250. IC TLP 250 ini merupakan IC untuk mengendalikan IGBT. Sehingga dengan menggunakan IC TLP 250 dan rangkaian tambahan, akan menghasilkan output tertentu sehingga pada saat kontroller memberikan impuls, maka IGBT akan aktif dan tap akan aktif.

Kontroler menggunakan arduino uno seperti pada gambar 3.17.

Gambar 3.17 Kontroler Arduino Uno

Pada gambar 3.17 diatas merupakan sebuah Arduino Uno. Arduino Uno digunakan karena pengaplikasianya yang sederhana dan memiliki fitur yang cukup mumpuni untuk mengatur pemilihan tap pada *solid-state* OLTC tersebut.

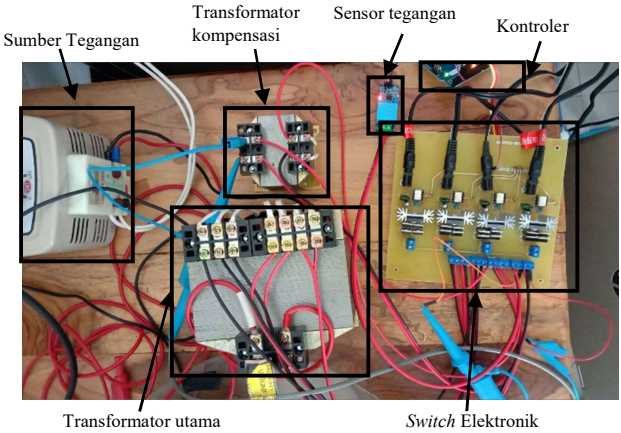
Sensor tegangan pada rangkaian ini menggunakan ZMPT101B seperti pada gambar 3.18.

Gambar 3.18 Sensor tegangan ZMPT101B

Pada gambar 3.18 diatas merupakan bentuk dari ZMPT101B. Sensor ini mampu mengukur tegangan AC dan disampling ke dalam bentuk DC untuk dijadikan *input* pada Arduino dalam menentukan *switch* mana yang akan aktif.

3.3 Implementasi Alat

Pada subbab ini dijelaskan bagaimana alat tersebut diuji dengan menggunakan sumber tegangan satu fasa senilai 220V dan sebuah osiloskop 2 kanal. Pada pegujian ini yang ditinjau adalah nilai penambahan tegangan RMS, perbedaan sudut fasa, dan penjumlahan gelombang. Sehingga *solid-state* OLTC akan dirangkai seperti pada gambar 3.19.



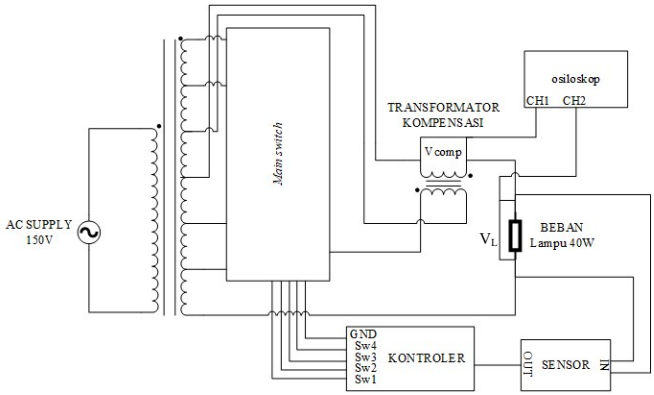
Gambar 3.19 Implementasi alat *solid-state* OLTC

Pada gambar 3.19 menunjukan bagaimana *solid-state* OLTC dipasang. *Probe* osiloskop dipasang pada bagian beban dan pada transformator kompensasi, hal ini dilakukan agar osiloskop dapat mengukur nilai tegangan beban dan nilai tegangan yang dikompensasikan dan menampilkan bentuk gelombangnya. Apakah pengaktifan tap sesuai dengan bentuk gelombang ketika kondisi kompensasi untuk menaikan ataupun menurunkan tegangan.

(*Halaman ini sengaja dikosongkan*)

BAB 4
HASIL PERCOBAAN SOLID-STATE OLTC

Bab ini menjelaskan hasil dari pengujian implementasi *solid-state* OLTC. Pengujian akan dilakukan seperti pada skema pada gambar 4.1.

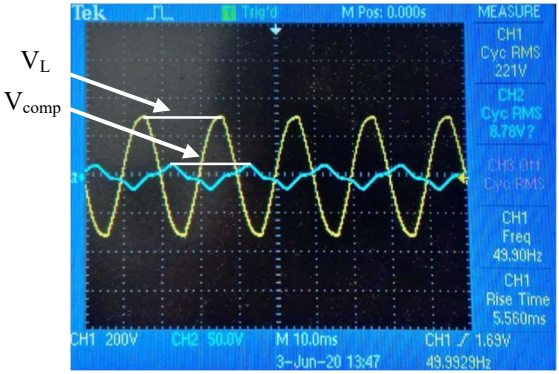


Gambar 4.1 Skema pengujian alat

Gambar 4.1 menunjukan skema cara pengujian pada *solid-state* OLTC. Pengujian ini memiliki tiga buah parameter yang akan ditinjau. Yaitu: perubahan nilai tegangan, perbedaan sudut fasa, dan perbandingan dengan hasil simulasi. Pengujian ini membandingkan pada tiga buah kondisi, yaitu: sebelum dikompensasi, ketika kompensasi untuk meningkatkan tegangan dan kompensasi untuk menurunkan tegangan. Pada pengujian ini digunakan sumber 220V dan sebuah osiloskop yang dihubungkan pada V_L dan V_{comp} untuk mengamati perubahan pada nilai tegangan dan perbedaan sudut fasa dalam bentuk gelombang tegangan. Sehingga layar osiloskop akan menampilkan dua buah gelombang yang merupakan gelombang tegangan beban dan gelombang tegangan kompensasi.

4.1 Kondisi awal

Kondisi awal adalah kondisi dimana transformator belum mengalami kompensasi atau dengan kata lain belum ada tap atau *switch* yang aktif. Untuk hasil dari pengujian dapat dilihat pada gambar 4.2.

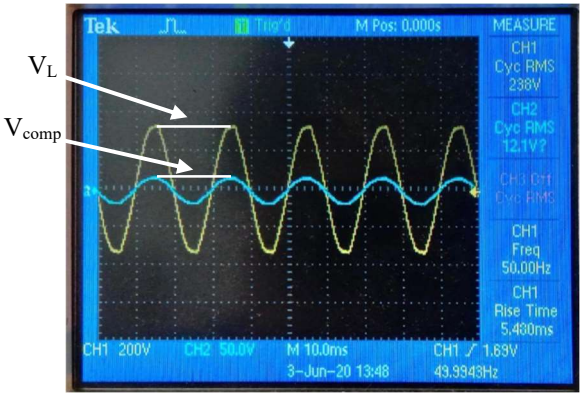


Gambar 4.2 Hasil pengujian alat Ketika switch belum aktif.

Gambar 4.2 menunjukan bentuk gelombang pada saat switch belum aktif. Tegangan uji yang digunakan adalah 220 Vrms dari sumber 1 fasa. Jika diamati, terdapat *noise* kecil pada grafik gelombang tegangan kompensasi yang bernilai sekitar 8V, dan terjadi perbedaan sudut fasa antara tegangan beban dan tegangan sumber. Hal ini disebabkan karena terdapat elemen induktif pada belitan transformator kompensasi sehingga terjadi *lagging* antara tegangan beban dan tegangan kompensasi.

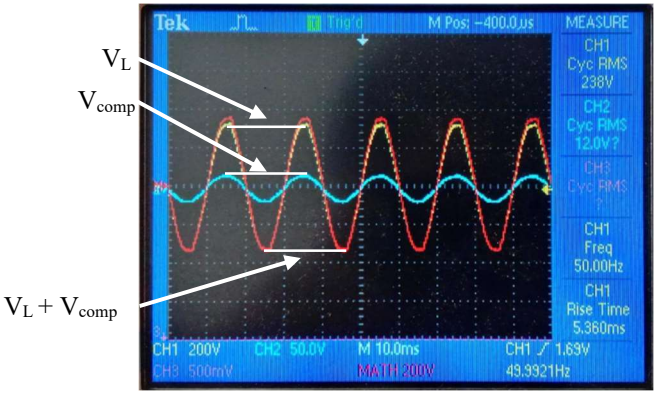
4.2 Kondisi Kompensasi Menaikan Tegangan

Pada subbab ini akan membahas tentang kondisi Ketika *switch* pada tap untuk menaikan tegangan aktif. Sehingga pada kondisi ini tegangan pada beban meningkat. Tegangan sumber dibuat tetap pada nilai 220Vrms dan tap pada transformator diaktifkan. Sehingga dapat terlihat perbedaan tegangan antara sebelum tap aktif dan sesudah tap aktif. Hasil pengujian Ketika switch yang menambahkan tegangan aktif dapat dilihat pada gambar 4.3.



Gambar 4.3 Hasil pengukuran tegangan ketika tap menaikan tegangan aktif

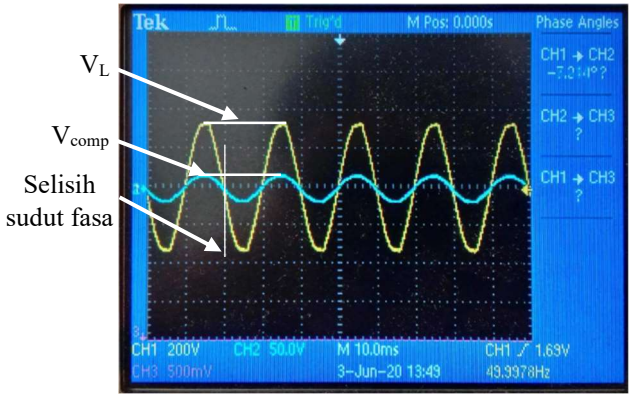
Gambar 4.3 memperlihatkan grafik tegangan beban dan grafik tegangan kompensasi ketika terjadi pengkompensasian tegangan untuk menambahkan tegangan. Layar osiloskop menunjukan bahwa pada saat *switch* aktif maka tegangan akan bertambah. Namun, terjadi perbedaan sekitar 5V antara selisih tegangan sebelum dan sesudah dikompenasi dengan nilai tegangan kompensasi. Untuk memperjelas terjadinya penjumlahan tegangan dapat dilihat pada gambar 4.4.



Gambar 4.4 Hasil penjumlahan gelombang antara tegangan beban dan tegangan kompensasi

Gambar 4.4 menunjukan permodelan dari penjumlahan gelombang untuk mengkompensasi tegangan menggunakan osiloskop. Permodelan ini menggunakan fitur penjumlahan tegangan pada osiloskop sehingga dapat dianalisis melalui bentuk grafik hasil penjumlahannya. Warna kuning pada layar osiloskop menunjukan hasil pengukuran pada tegangan beban dan warna biru pada layar osiloskop menunjukan hasil pengukuran tegangan kompensasi. Sedangkan warna merah menunjukan hasil dari penjumlahan kedua gelombang tersebut. Dapat dilihat bahwa gelombang warna merah memiliki amplitudo lebih tinggi daripada gelombang warna kuning yang mengindikasikan bahwa terjadi peningkatan tegangan ketika tap diaktifkan atau dengan kata lain diberi tegangan kompensasi.

Untuk hasil analisa perbedaan sudut fasa dapat dilihat pada gambar 4.5.

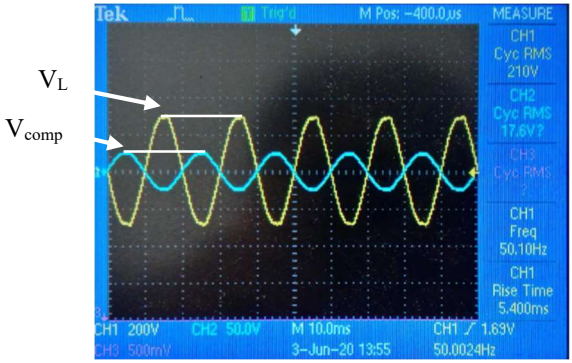


Gambar 4.5 Hasil analisa perbedaan fasa antara tegangan beban dan tegangan kompensasi

Gambar 4.5 diatas menunjukan adanya perbedaan fasa antara gelombang tegangan beban dan gelombang tegangan kompensasi. Pada layar osiloskop pada gambar diatas jika diamati dapat terlihat bahwa terdapat perbedaan fasa antara gelombang tegangan beban dan gelombang tegangan kompensasi senilai 7.2°. Hal ini menyebabkan peningkatan tegangan jika dibandingkan dengan hasil simulasi dan perhitungan teori tidak sesuai dikarenakan terdapat perbedaan sudut fasa antara tegangan beban dan tegangan kompenasi yang memperngaruhi penjumlahan tegangan sehingga tidak ideal seperti yang ada pada simulasi.

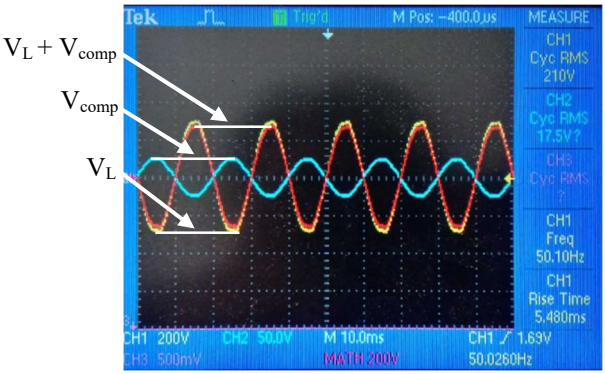
4.3 Kondisi Kompensasi Menurunkan Tegangan

Pada subbab ini akan membahas ketika kondisi tap yang aktif memberikan kompensasi untuk menurunkan tegangan. Dalam hal ini, switch pada tap akan aktif dan menghasilkan tegangan yang memiliki kutub yang berkebalikan dengan tegangan beban sehingga gelombang hasilnya akan menurun karena terjadi pengurangan antara gelombang tegangan beban dengan gelombang tegangan kompensasi. Pada kondisi ini tegangan sumber dibuat tetap senilai 220Vrms untuk melihat hasil perbedaan dari kompensasi. Untuk hasil pengujian alat Ketika *switch* mengurangi tegangan dapat dilihat pada gambar 4.6.



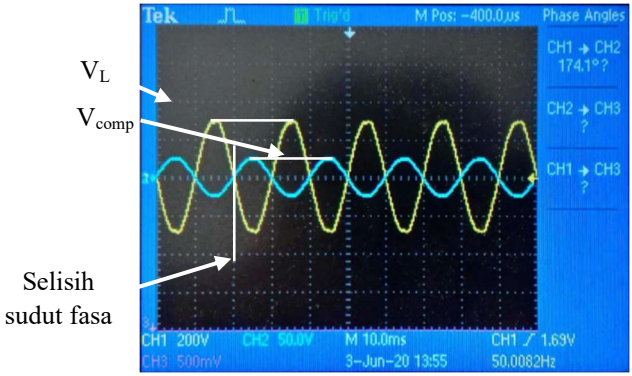
Gambar 4.6 Hasil pengukuran tegangan ketika tap menurunkan tegangan

Gambar 4.6 menunjukan grafik tegangan beban dan tegangan kompensasi ketika dilakukan kompensasi mengurangi tegangan agar tegangan beban mengalami penurunan. Hal ini disebabkan karena gelombang tegangan kompensasi memiliki kutub yang berkebalikan dengan gelombang tegangan beban. Sehingga, pada saat penjumlahan gelombang, gelombang tegangan beban dan gelombang tegangan kompensasi akan saling mengurangi. Analisis pengurangan tegangan dapat dilihat pada gambar 4.7.



Gambar 4.7 Hasil pengurangan gelombang tegangan beban dengan tegangan kompensasi

Gambar 4.7 menunjukan permodelan pengurangan tegangan dengan menggunakan fitur penjumlahan gelombang pada osiloskop. Layar osiloskop diatas memperlihatkan bahwa gelombang berwarna merah yang merupakan hasil dari penjumlahan kedua gelombang memiliki amplitudo lebih rendah dibanding dengan gelombang berwarna kuning yang merupakan gelombang tegangan beban. Hal ini mengindikasikan bahwa terjadi penurunan nilai tegangan yang diakibat dari pengurangan bentuk gelombang pada saat tap aktif. Kasus ini dapat digunakan ketika tegangan beban mengalami kelebihan atau *overvoltage* dan perlu adanya kompensasi untuk menurunkan tegangan. Pada kondisi ini tegangan kompenasi menurunkan tegangan beban. Sama seperti ketika menambahkan tegangan, pada pengujian kompensasi menurunkan tegangan terdapat perbedaan sudut fasa antara gelombang tegangan beban dan gelombang tegangan kompensasi yang memengaruhi kompensasi penurunan tegangan. Untuk hasil analisa sudut fasa, dapat dilihat pada gambar 4.8.



Gambar 4.8 Hasil analisa perbedaan sudut fasa antara tegangan beban dan tegangan kompensasi

Gambar 4.8 menunjukan grafik perbedaan sudut fasa antara gelombang tegangan beban dan gelombang tegangan kompensasi ketika tegangan beban dikompensasi untuk menurunkan tegangan. Gelombang tersebut memperlihatkan jika terjadi perbedaan fasa sebesar 5.9°. Hal ini menyebabkan hasil pengurangan tidak tepat jika dibandingkan dengan hasil simulasi. Sama seperti ketika kompensasi untuk menambahkan tegangan, perbedaan sudut fasa yang terdapat pada gelombang tegangan beban dan gelombang tegangan kompensasi memengaruhi pengurangan gelombang tegangan pada saat kompensasi yang menyebabkan hasil dari implementasi alat ini tidak sesuai dengan hasil pada simulasi.

4.4 Perbandingan Hasil Pengujian dan Simulasi

Subbab ini akan memaparkan perbandingan antara hasil uji implementasi alat dengan hasil simulasi yang sudah dilakukan. Sehingga, perbedaannya dapat terpapar dengan jelas dan lebih mudah dalam proses membandingkan penarikan kesimpulan.

Parameter yang dibandingkan adalah nilai tegangan sebelum dilakukan kompensasi dan setelah dilakukan kompenasi, baik pada simulasi maupun pada hasil uji alat. Untuk parameter tegangan kompensasi menaikan tegangan dapat dilihat pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil kompensasi tegangan antara simulasi dan uji alat

Hasil tegangan kompensasi naik		
	Simulasi	Alat
Vsebelum	213	221
VL	222	238
Vcomp	8.67	12.1

Tabel 4.1 menunjukan hasil perbandingan antara hasil simulasi dan hasil uji alat untuk nilai tegangan sebelum dan sesudah kompenasasi tegangan pada kondisi menambahkan tegangan. Tabel diatas menunjukan bahwa hasil simulasi lebih ideal dibandingkan dengan hasil uji alat. Hal ini disebabkan terdapat beberapa komponen yang dimodelkan dalam simulasi merupakan komponen ideal sedangkan pada implementasi alat tidak ada komponen yang ideal meskipun bernilai kecil. Sehingga, ada beberapa faktor yang memengaruhi hasil dari kompensasi tegangan beban pada implementasi alat jika dibandingakan dengan simulasi.

Perbandingan hasil simulasi dan hasil uji dari implementasi alat pada kondisi kompensasi untuk menurunkan tegangan dapat dilihat pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 Hasil kompensasi tegangan antara simulasi dan uji alat

Hasil tegangan kompensasi turun		
	Simulasi	Alat
Vsebelum	223	221
VL	209	210
Vcomp	13	17.6

Tabel 4.2 menunjukan perbandingan nilai tegangan antara simulasi dan pengujian alat pada saat kondisi kompensasi nilai tegangan beban untuk menurunkan tegangan. Tabel tersebut memperlihatkan bahwa hasil simulasi lebih ideal dibandingkan dengan hasil uji alat. Hal ini dikarenakan beberapa komponen pada simulasi merupakan komponen ideal. Sehingga, hasil dari simulasi untuk kompensasi tegangan beban untuk menurunkan tegangan memiliki hasil yang lebih ideal dibandingkan dengan hasil dari uji implementasi alat.

(*Halaman ini sengaja dikosongkan*)

BAB 5
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi dan pengujian dari implementasi alat, maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada hasil pengujian alat terdapat perbedaan sebesar 5-7V antara selisih tegangan antara tegangan sebelum dan sesudah kompensasi dengan tegangan kompensasi.
2. Hasil simulasi lebih baik daripada hasil pengujian alat dikarenakan terdapat beberapa faktor yang dianggap ideal pada simulasi.
3. Perbedaan sudut fasa antara tegangan beban dan tegangan kompensasi senilai 7.2° untuk kompenasi naik dan 5.9° untuk kompenasi turun menyebabkan perhitungan kompensasi tegangan menjadi kurang ideal dibandingkan dengan hasil simulasi.

5.2 SARAN

Adapun saran yang bisa disampaikan untuk meningkatkan pada penelitian ini:

1. Menggunakan alat ukur dengan tingkat akurasi dan presisi tinggi, sehingga simulasi dapat dilakukan dengan parameter yang sesuai dengan implementasi.
2. Menguji *solid-state* OLTC dengan menggunakan beban induktif sehingga dan menganalisis respon dari sistem OLTC.
3. Menguji dan menganalisis dampak harmonisa dan kualitas tegangan pada alat, dikarenakan dampak dari penggunaan saklar elektronik merupakan harmonisa.

(*Halaman ini sengaja dikosongkan*)

DAFTAR PUSTAKA

[1] Kementrian Kesehatan RI, PERATURAN MENTERI KESEHATAN REPUBLIK INDONESIA NOMOR 2306/MENKES/PER/XI/2011, JAKARTA: KEMENTRIAN KESEHATAN, 2011.

[2] M. M. L. J. G. J. Nikunj R Patel, "Solid-State On Load Tap-Changer for Transformer Using Microcontroller," *INTERNATIONAL JOURNAL OF ENGINEERING DEVELOPMENT AND RESEARCH,* pp. 101-104, 2014.

[3] X. T. C. F. A. P. R. Shuttleworth, "New Tap Changing Scheme," *IEE Proc.-Electr. Power Appl.,* pp. 108-112, 1996.

[4] J. A. P. Raja Harahap, "ANALISA PENGUKURAN RATIO TRANSFORMATOR DAYA YANG MENGGUNAKAN ON LOAD TAP CHANGER," *Buletin Utama Teknik,* pp. 184-188, 2018.

[5] M. C. A. C. V. S. R. Echavarria, "Design and Implementation of a Fast On-Load Tap Changing Regulator," *IEEE,* pp. 2078-2085, 2000.

[6] A. C. M. C. Rodolfo Echavarria, "Analysis, Design, and Implementation of a Fast On-Load Tap Changing Regulator," *IEEE,* pp. 527-534, 2007.

[7] M. N. P. N. M. P. S. V. B. E. K. A. Vivek Thomas Chacko, "Solid State On Load Tap Changer for Transformer Using Arduino," *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET),* pp. 1497-1500, 2017.

[8] S. J. Chapman, Electric Machinery Fundamentals, Mc Graw Hill, 2012.

[9] O. Semiconductor, Penulis, *NGTG50N60FWG.* [Performance]. On Semiconductor, 2012.

[10] O. Semiconductor, Penulis, *SWITCHMODE POWER RECTIFIERS.* [Performance]. On Semiconductor, 2008.

(*halaman ini sengaja dikosongkan)*

LAMPIRAN

NGTG50N60FWG

IGBT

This Insulated Gate Bipolar Transistor (IGBT) features a robust and cost effective Trench construction, and provides superior performance in demanding switching applications, offering both low on state voltage and minimal switching loss.

Features

- Optimized for Very Low V_{CEsat}
- Low Switching Loss Reduces System Power Dissipation
- 5 μs Short−Circuit Capability
- These are Pb−Free Devices

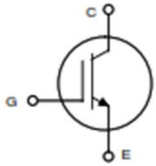
Typical Applications

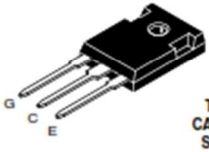
- Solar Inverters
- Uninterruptible Power Supples (UPS)
- Motor Drives

ON Semiconductor®

http://onsemi.com

50 A, 600 V
V_{CEsat} = 1.50 V





TO−247
CASE 340L
STYLE 4

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	Value	Unit
Collector−emitter voltage	V_{CES}	600	V
Collector current @ T_C = 25°C @ T_C = 100°C	I_C	 100 50	A
Pulsed collector current, T_{pulse} limited by T_{Jmax}	I_{CM}	200	A
Short−circuit withstand time V_{GE} = 15 V, V_{CE} = 300 V, $T_J \leq$ +150°C	t_{SC}	5	μs
Gate−emitter voltage Transient Gate−Emitter Voltage	V_{GE}	±20 ±30	V
Power Dissipation @ T_C = 25°C @ T_C = 100°C	P_D	 223 89	W
Operating junction temperature range	T_J	−55 to +150	°C
Storage temperature range	T_{stg}	−55 to +150	°C
Lead temperature for soldering, 1/8" from case for 5 seconds	T_{SLD}	260	°C

Stresses exceeding Maximum Ratings may damage the device. Maximum Ratings are stress ratings only. Functional operation above the Recommended Operating Conditions is not implied. Extended exposure to stresses above the Recommended Operating Conditions may affect device reliability.

MARKING DIAGRAM

A = Assembly Location
Y = Year
WW = Work Week
G = Pb−Free Package

ORDERING INFORMATION

Device	Package	Shipping
NGTG50N60FWG	TO−247 (Pb−Free)	30 Units / Rail

© Semiconductor Components Industries, LLC, 2012

THERMAL CHARACTERISTICS

Rating	Symbol	Value	Unit
Thermal resistance junction−to−case, for IGBT	$R_{\theta JC}$	0.56	°C/W
Thermal resistance junction−to−ambient	$R_{\theta JA}$	40	°C/W

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (T_J = 25°C unless otherwise specified)

Parameter	Test Conditions	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
STATIC CHARACTERISTIC						
Collector−emitter breakdown voltage, gate−emitter short−circuited	V_{GE} = 0 V, I_C = 500 μA	$V_{(BR)CES}$	600	–	–	V
Collector−emitter saturation voltage	V_{GE} = 15 V, I_C = 50 A V_{GE} = 15 V, I_C = 50 A, T_J = 150°C	V_{CEsat}	1.25 –	1.45 1.7	1.7 –	V
Gate−emitter threshold voltage	V_{GE} = V_{CE}, I_C = 350 μA	$V_{GE(th)}$	4.5	5.5	6.5	V
Collector−emitter cut−off current, gate−emitter short−circuited	V_{GE} = 0 V, V_{CE} = 600 V V_{GE} = 0 V, V_{CE} = 600 V, T_J = 150°C	I_{CES}	– –	– –	0.5 2	mA
Gate leakage current, collector−emitter short−circuited	V_{GE} = 20 V , V_{CE} = 0 V	I_{GES}	–	–	200	nA
DYNAMIC CHARACTERISTIC						
Input capacitance	V_{CE} = 20 V, V_{GE} = 0 V, f = 1 MHz	C_{ies}	–	7300	–	pF
Output capacitance		C_{oes}	–	195	–	
Reverse transfer capacitance		C_{res}	–	170	–	
Gate charge total	V_{CE} = 480 V, I_C = 50 A, V_{GE} = 15 V	Q_g	–	310	–	nC
Gate to emitter charge		Q_{ge}	–	60	–	
Gate to collector charge		Q_{gc}	–	150	–	
SWITCHING CHARACTERISTIC, INDUCTIVE LOAD						
Turn−on delay time	T_J = 25°C V_{CC} = 400 V, I_C = 50 A R_g = 10 Ω V_{GE} = 0 V/ 15 V*	$t_{d(on)}$	–	117	–	ns
Rise time		t_r	–	43	–	
Turn−off delay time		$t_{d(off)}$	–	285	–	
Fall time		t_f	–	105	–	
Turn−on switching loss		E_{on}	–	1.1	–	mJ
Turn−off switching loss		E_{off}	–	1.2	–	
Total switching loss		E_{ts}	–	2.3	–	
Turn−on delay time	T_J = 150°C V_{CC} = 400 V, I_C = 50 A R_g = 10 Ω V_{GE} = 0 V/ 15 V*	$t_{d(on)}$	–	112	–	ns
Rise time		t_r	–	45	–	
Turn−off delay time		$t_{d(off)}$	–	300	–	
Fall time		t_f	–	214	–	
Turn−on switching loss		E_{on}	–	1.4	–	mJ
Turn−off switching loss		E_{off}	–	2.0	–	
Total switching loss		E_{ts}	–	3.4	–	

*Includes diode reverse recovery loss using NGTB50N60FWG.

MUR1510, MUR1515, MUR1520, MUR1540, MUR1560, MURF1560

Preferred Devices

SWITCHMODE™ Power Rectifiers

These state-of-the-art devices are a series designed for use in switching power supplies, inverters and as free wheeling diodes.

Features

- Ultrafast 35 and 60 Nanosecond Recovery Time
- 175°C Operating Junction Temperature
- High Voltage Capability to 600 V
- Low Forward Drop
- Low Leakage Specified @ 150°C Case Temperature
- Current Derating Specified @ Both Case and Ambient Temperatures
- Pb-Free Packages are Available*

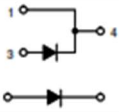
Mechanical Characteristics:

- Case: Epoxy, Molded
- Weight: 1.9 Grams (Approximately)
- Finish: All External Surfaces Corrosion Resistant and Terminal Leads are Readily Solderable
- Lead Temperature for Soldering Purposes: 260°C Max. for 10 Seconds

*For additional information on our Pb-Free strategy and soldering details, please download the ON Semiconductor Soldering and Mounting Techniques Reference Manual, SOLDERRM/D.

ON Semiconductor®

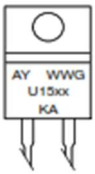
ULTRAFAST RECTIFIERS
15 AMPERES, 100-600 VOLTS

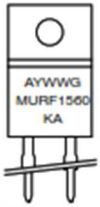


TO-220AC
CASE 221B
STYLE 1

TO-220 FULLPAK
CASE 221E
STYLE 1

MARKING DIAGRAMS





A	= Assembly Location
Y	= Year
WW	= Work Week
G	= Pb-Free Package
U15xx	= Device Code xx = 10, 15, 20, 40 or 60
KA	= Diode Polarity

ORDERING INFORMATION

See detailed ordering and shipping information in the package dimensions section on page 7 of this data sheet.

Preferred devices are recommended choices for future use and best overall value.

MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	MUR 1510	MUR 1515	MUR 1520	MUR 1540	MUR 1560	Unit
Peak Repetitive Reverse Voltage Working Peak Reverse Voltage DC Blocking Voltage	V_{RRM} V_{RWM} V_R	100	150	200	400	600	V
Average Rectified Forward Current (Rated V_R)	$I_{F(AV)}$	15 @ T_C = 150°C				15 @ T_C = 145°C	A
Peak Rectified Forward Current (Rated V_R, Square Wave, 20 kHz)	I_{FRM}	30 @ T_C = 150°C				30 @ T_C = 145°C	A
Nonrepetitive Peak Surge Current (Surge applied at rated load conditions halfwave, single phase, 60 Hz)	I_{FSM}	200			150		A
Operating Junction Temperature and Storage Temperature Range	T_J, T_{stg}	−65 to +175					°C

Stresses exceeding Maximum Ratings may damage the device. Maximum Ratings are stress ratings only. Functional operation above the Recommended Operating Conditions is not implied. Extended exposure to stresses above the Recommended Operating Conditions may affect device reliability.

THERMAL CHARACTERISTICS

Parameter	Symbol	Value	Unit
MUR1510 Series: Thermal Resistance Junction−to−Case Junction−to−Ambient	 $R_{\theta JC}$ $R_{\theta JA}$	 1.5 73	°C/W
MURF1560: Thermal Resistance Junction−to−Case Junction−to−Ambient	 $R_{\theta JC}$ $R_{\theta JA}$	 4.25 75	°C/W

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Characteristic	Symbol	1510	1515	1520	1540	1560	Unit
Maximum Instantaneous Forward Voltage (Note 1) (I_F = 15 A, T_C = 150°C) (I_F = 15 A, T_C = 25°C)	v_F	0.85 1.05			1.12 1.25	1.20 1.50	V
Maximum Instantaneous Reverse Current (Note 1) (Rated DC Voltage, T_C = 150°C) (Rated DC Voltage, T_C = 25°C)	i_R	500 10			500 10	1000 10	μA
Maximum Reverse Recovery Time (I_F = 1.0 A, di/dt = 50 A/μs)	t_{rr}	35			60		ns

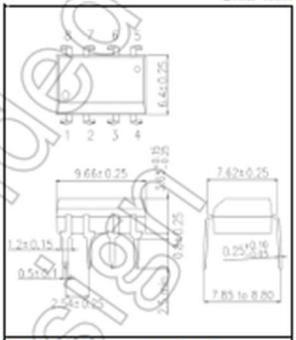
1. Pulse Test: Pulse Width = 300 μs, Duty Cycle ≤ 2.0%.

TOSHIBA Photocoupler IRED & Photo-IC

TLP250

Industrial Inverter
Inverter For Air Conditioner
IGBT Gate Drive
Power MOS FET Gate Drive

Unit: mm



TOSHIBA 11-10C4S
Weight: 0.54 g (typ.)

The TOSHIBA TLP250 consists of an infrared emitting diode and a integrated photodetector.
This unit is 8-lead DIP package.
TLP250 is suitable for gate driving circuit of IGBT or power MOS FET.

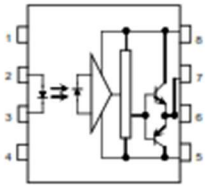
- Input threshold current: 5mA(max)
- Supply current : 11mA(max)
- Supply voltage : 10-35V
- Output current : ±1.5A (max)
- Switching time t_{pLH}/t_{pHL}): 0.5μs(max)
- Isolation voltage: 2500V_{rms}(min)
- UL-recognized: UL 1577, File No.E67349
- cUL-recognized: CSA Component Acceptance Service No.5A
  File No.E67349
- VDE-Approved: EN 60747-5- 5 (Note 1)

Note 1: When a VDE approved type is needed,
please designate the **Option(D4)**.

Truth Table

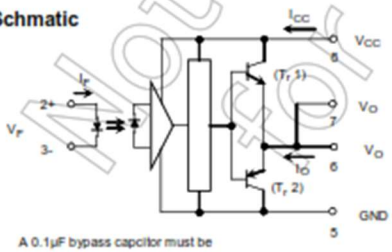
		Tr1	Tr2
Input LED	On	On	Off
	Off	Off	On

Pin Configuration (top view)



1 : N.C.
2 : Anode
3 : Cathode
4 : N.C.
5 : GND
6 : V_O (Output)
7 : V_O
8 : V_{CC}

Schmatic



A 0.1μF bypass capcitor must be connected between pin 8 and 5

Start of commercial production
1990-11

Not Recommended for New Design

Absolute Maximum Ratings (Ta = 25°C)

	Characteristic		Symbol	Rating	Unit
LED	Forward current		I_F	20	mA
	Forward current derating (Ta ≥ 70°C)		ΔI_F / ΔTa	-0.36	mA / °C
	Peak transient forward curent	(Note 1)	I_{FPT}	1	A
	Reverse voltage		V_R	5	V
	Diode power dissipation		P_D	40	mW
	Diode power dissipation derating (Ta≥70°C)		ΔP_D /°C	-0.72	mW / °C
	Junction temperature		Tj	125	°C
Detector	"H"peak output current (P_W ≤ 2.5μs,f ≤ 15kHz)	(Note 2)	I_{OPH}	-1.5	A
	"L"peak output current (P_W ≤ 2.5μs,f ≤ 15kHz)	(Note 2)	I_{OPL}	+1.5	A
	Output voltage	(Ta ≤ 70°C)	V_O	35	V
		(Ta ≤ 85°C)		24	
	Supply voltage	(Ta ≤ 70°C)	V_{CC}	35	V
		(Ta ≤ 85°C)		24	
	Output voltage derating (Ta ≥ 70°C)		ΔV_O / ΔTa	-0.73	V / °C
	Supply voltage derating (Ta ≥ 70°C)		ΔV_{CC} / ΔTa	-0.73	V / °C
	Power dissipation		P_C	500	mW
	Power dissipation derating (Ta ≥ 70°C)		ΔP_C / °C	-14.5	mW / °C
	Junction temperature		Tj	125	°C
Operating frequency		(Note 3)	f	25	kHz
Operating temperature range			Topr	-20 to 85	°C
Storage temperature range			Tstg	-55 to 125	°C
Lead soldering temperature (10 s)			Tsol	260	°C
Isolation voltage (AC, 60 s., R.H.≤ 60 %)		(Note 4)	BVs	2500	Vrms

Note: Using continuously under heavy loads (e.g. the application of high temperature/current/voltage and the significant change in temperature, etc.) may cause this product to decrease in the reliability significantly even if the operating conditions (i.e. operating temperature/current/voltage, etc.) are within the absolute maximum ratings.
Please design the appropriate reliability upon reviewing the Toshiba Semiconductor Reliability Handbook ("Handling Precautions"/"Derating Concept and Methods") and individual reliability data (i.e. reliability test report and estimated failure rate, etc).

Note 1: Pulse width P_W ≤ 1 μs, 300 pps

Note 2: Exporenential wavefom

Note 3: Exporenential wavefom, I_{OPH} ≤ -1.0 A(≤ 2.5 μs), I_{OPL} ≤ +1.0 A(≤ 2.5 μs)

Note 4: Device considerd a two terminal device: Pins 1, 2, 3 and 4 shorted together, and pins 5, 6, 7 and 8 shorted together.

Recommended Operating Conditions

Characteristic	Symbol	Min	Typ.	Max	Unit
Input current, on	$I_{F(ON)}$	7	8	10	mA
Input voltage, off	$V_{F(OFF)}$	0	—	0.8	V
Supply voltage	V_{CC}	15	—	30	V
Peak output current	I_{OPH}/I_{OPL}	—	—	±0.5	A
Operating temperature	Topr	-20	25	85	°C

Note: Recommended operating conditions are given as a design guideline to obtain expected performance of the device. Additionally, each item is an independent guideline respectively. In developing designs using this product, please confirm specified characteristics shown in this document.

Note : A ceramic capacitor(0.1 μF) should be connected from pin 8 to pin 5 to stabilize the operation of the high gain linear amplifier. Failure to provide the bypassing may impair the switching proparty. The total lead length between capacitor and coupler should not exceed 1 cm.

Note : Input signal rise time(fall time)<0.5 μs.

Not recommended for New Design

BIODATA PENULIS

Dony Kurniawan, lahir di kota Bogor, Provinsi Jawa Barat pada tanggal 26 Desember 1998. Anak kedua dari 4 bersaudara. Selama kuliah penulis pernah aktif sebagai staff dan dewan dari dewan perwakilan mahasiswa Fakultas Teknologi Elektro periode 2018/2019 dan 2019/2020. Penulis juga pernah aktif sebagai panitia di beberapa acara jurusan Teknik Elektro ITS. Pendidikan formal yang pernah ditempuh yaitu:

SD PRIBADI DEPOK

SMP BRIGHTON

SMA NEGERI 1 DEPOK

Penulis dapat dihubungi melalui email: dony.brighton@gmail.com