

BAB II

LANDASAN TEORI

Terdapat beberapa macam susunan rangkaian yang dapat menjalankan fungsi konverter digital ke analog atau yang lebih dikenal dengan DAC. Tiga kelas utama DAC di antaranya adalah DAC berbasis decoder, DAC dengan pembobotan biner, dan DAC kode thermometer.

Jika kita ingin mengubah biner dari unit pengolahan ke suatu keluaran 0 sampai 3 V, seperti pada setiap pendekode, pertama kali kita harus membuat tabel kebenaran dari semua situasi yang mungkin. Tabel 2.1 memperlihatkan empat masukan (D, C, B, A) ke dalam pengubah D/A. Masukan berbentuk biner. Setiap 1 berkisar +3 sampai 5 V. Setiap 0 berkisar 0 V. Keluaran diperlihatkan sebagai tegangan pada kolom paling kanan dari tabel 2.1. Menurut tabel tersebut, bila biner 0000 muncul pada masukan pengubah D/A, keluaran 0 V. Bila biner 0001 adalah masukan, maka keluarannya adalah 0,4 V. Kita perhatikan bahwa untuk masing-masing baris yang ditelusuri ke bawah pada tabel 2.1, keluaran analog bertambah 0,2 V.

Beberapa penelitian yang telah dilakukan tentang pembuatan konverter BCD, yaitu :

Bayu Gigih Prasetyo dan Moch. Hafid menjelaskan tentang *Simple TPI by Binary To Analog Method (SIMBAD)*. Dijelaskan tentang pembuatan suatu rangkaian konversi sederhana yang dapat mengakuisisi seluruh posisi tap pada trafo tanpa membutuhkan banyak modul input pada RTU dan dapat di monitor pada RCC/ sistem SCADA. Konverter ini dibuat menggunakan rangkaian elektronika, tidak menggunakan mikroprosesor. (Bayu Gigih Prasetyo dan Moch. Hafid, 2014)

2.1 Binary Code Decimal (BCD)

Binary Code Decimal adalah sistem pengkodean angka desimal menggunakan kode biner. Kode BCD biasa terdiri dari 4 (Empat) bit, 5 (Lima) bit dan ada yang lebih dari 5 (Lima) Bit. Binary Code Decimal (BCD) adalah sebuah sistem sandi yang umum digunakan untuk menyatakan angka desimal secara digital. BCD adalah sistem pengkodean bilangan desimal yang metodenya mirip dengan bilangan biner biasa, hanya saja dalam proses konversi setiap simbol dari bilangan desimal dikonversi satu persatu, bukan secara keseluruhan seperti konversi bilangan desimal ke biner biasa.. Binary Code Decimal merupakan kode biner yang digunakan hanya untuk mewakili nilai digit desimal saja, yaitu nilai angka 0 sampai dengan 9.

2.2. Mikrokontroler

Mikrokontroler adalah IC yang dapat diprogram berulang kali, baik ditulis atau dihapus (Agus Bejo, 2007). Sebuah chip yang berfungsi sebagai pengontrol rangkaian elektronik dan umumnya dapat menyimpan program didalamnya. Mikrokontroler umumnya terdiri dari CPU (*Central Processing Unit*), memori, I/O tertentu dan unit pendukung seperti *Analog-to-Digital Konverter* (ADC) yang sudah terintegrasi di dalamnya. Kelebihan utama dari mikrokontroler ialah tersedianya RAM dan peralatan I/O pendukung sehingga ukuran board mikrokontroler menjadi sangat ringkas. Mikrokontroler ini diproduksi dengan menggunakan teknologi *high density non-volatile memory. Flash PEROM on-chip* tersebut memungkinkan memori program untuk diprogram ulang.

Secara teknis, hanya ada 2 macam mikrokontroller. Pembagian ini didasarkan pada kompleksitas instruksi-instruksi yang dapat diterapkan pada mikrokontroler tersebut. Pembagian itu yaitu RISC dan CISC

2.2.1. Variant MCS51

Mikrokonktroler ini termasuk dalam variant mikrokonktroler CISC(*Complex Instruction Set Computer*). Sebagian besar instruksinya dieksekusi dalam 12 siklus clock. Mikrokontroler ini berdasarkan arsitektur Harvard dan meskipun awalnya dirancang untuk aplikasi mikrokontroler chip tunggal, sebuah mode perluasan telah mengizinkan sebuah ROM luar 64KB dan RAM luar 64KB diberikan alamat dengan cara jalur pemilihan chip yang terpisah untuk akses program dan memori data. Salah satu kemampuan dari mikrokontroler ini adalah pemasukan sebuah mesin pemroses *boolean* yang memungkinkan operasi logika boolean tingkatan-bit dapat dilakukan secara langsung dan secara efisien dalam register internal dan RAM. Karena itulah MCS51 digunakan dalam rancangan awal PLC (*programmable Logic Control*).

2.2.2. AVR

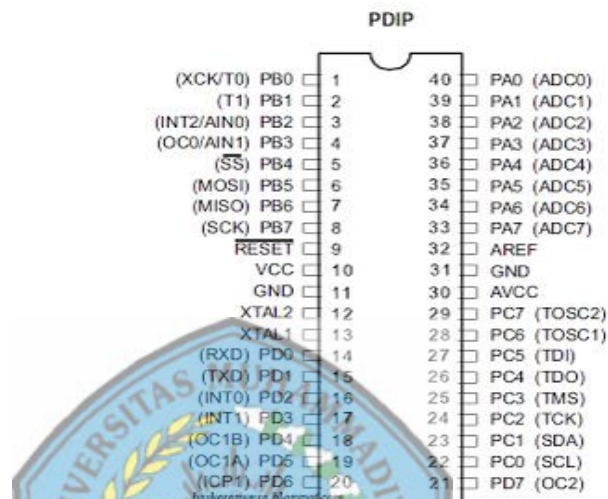
AVR (*Alf and Vegard'sistem Risc*) merupakan mikrokonktroler RISC(*Reduced Instruction Set Computer*) 8 bit. Karena RISC inilah sebagian besar kode instruksinya dikemas dalam satu siklus clock. AVR adalah jenis mikrokontroler yang paling sering dipakai dalam bidang elektronika dan instrumentasi. Secara umum AVR dapat dikelompokkan dalam 4 kelas. Pada dasarnya yang membedakan masing-masing kelas adalah memori, peripheral dan fungsinya. Keempat kelas tersebut adalah variant ATTiny, variant AT90Sxx, variant ATMega dan AT86RFxx.

2.3. ATMega 16, ATMega32, ATMega8535

ATMega 16, ATMega32, ATMega8535 merupakan mikrokontroler CMOS 8-bit buatan Atmel variant AVR yang mempunyai banyak kesamaan, diantaranya mempunyai kesamaan konfigurasi pin pada masing-masing portnya,serta mempunyai sistem flash program yang sama namun ketiganya mempunyai karakteristik internal yang berbeda satu sama lainnya.

2.3.1. Konfigurasi pin ATmega16, ATmega32 dan ATmega 8535

Konfigurasi pin mikrokontroler ATmega16, ATmega32 dan ATmega 8535 dengan kemasan 40-pin dapat dilihat pada Gambar 2.1. Dari gambar tersebut dapat terlihat ATmega16, ATmega32 dan ATmega 8535 memiliki 8 pin untuk masing-masing Port A , Port B, Port C,dan Port D



Gambar 2.1. Konfigurasi pin ATmega16, ATmega32 dan ATmega 8535

2.3.2. Fungsi masing-masing pin ATmega16, ATmega32 dan ATmega 8535

- VCC
Tegangan sumber (suplay tegangan DC 5v)
- GND
Ground (suplay ground tegangan DC)
- Port A (PA7..PA0)
Port A berfungsi sebagai input analog pada konverter ADC (*Analog-to-Digital Konverter*). Port A juga sebagai suatu port I/O 8-bit dua arah, jika A/D konverter tidak digunakan. Pin - pin Port dapat menyediakan resistor internal pull-up (yang dipilih untuk masing-masing bit).
- Port B (PB7..PB0)
Pin B adalah suatu pin I/O 8-bit dua arah dengan resistor internal pull-up (yang dipilih untuk beberapa bit).selain itu di port B juga mempunyai fungsi-fungsi

husus seperti timer(timer0,timer1) MISO untuk *uploading memory* dan MOSI untuk *downloading memory*

- Port C (PC7..PC0)

Pin C adalah suatu pin I/O 8-bit dua arah dengan resistor internal pull-up (yang dipilih untuk beberapa bit). Selain itu portC juga mempunyai fungsi-fungsi khusus diantaranya untuk komunikasi serial dan akses memori eksternal

- Port D (PD7..PD0)

Pin D adalah suatu pin I/O 8-bit dua arah dengan resistor internal pull-up (yang dipilih untuk beberapa bit).selain itu portD juga mempunyai fungsi khusus diantaranya OC1A dan OC1B yang di gunakan untuk mengendalikan PWM yang biasanya di gunakan untuk mengatur speed motor

2.3.3. Karakteristik ATMega16

- Menggunakan arsitektur AVR RISC
- 32 x 8 register umum
- 16 Kb *In-System Programmable Flash*
- 1KByte SRAM
- 512 Byte *In- System EEPROM*
- 8 *Channel* 10-bit ADC
- *Two Wire Interface*
- *USART Serial Communication*
- *Master/Slave SPI Serial Interface*
- *On-Chip Oscillator*
- *Watch-dog Timer*
- 32 *Bi-directional I/O*
- Tegangan operasi 2,7 – 5,5 V



2.3.4. Karakteristik ATmega32

- Menggunakan arsitektur AVR RISC
- 32 x 8 register umum
- 32 Kb *In-System Programmable Flash*
- 2 Kb SRAM
- 1 Kb *In- System EEPROM*
- 8 *Channel* 10-bit ADC
- *Two Wire Interface*
- *USART Serial Communication*
- *Master/Slave SPI Serial Interface*
- *On-Chip Oscillator*
- *Watch-dog Timer*
- 32 *Bi-directional I/O*
- Tegangan operasi 2,7 – 5,5 V

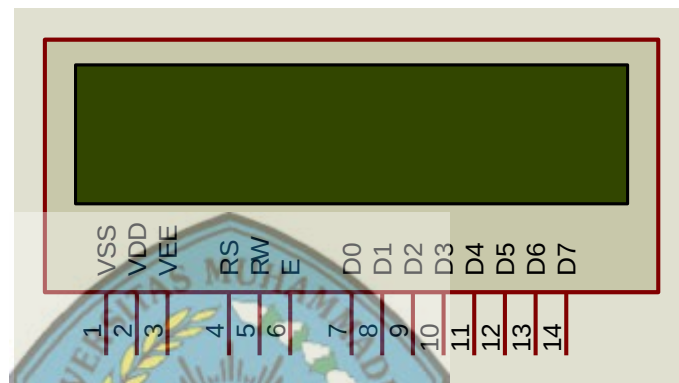
2.3.5. Karakteristik ATmega 8535

- Menggunakan arsitektur AVR RISC
- 32 x 8 register umum
- 8 Kb *In-System Programmable Flash*
- 512 byte SRAM
- 512 byte *In- System EEPROM*
- 8 *Channel* 10-bit ADC
- *Two Wire Interface*
- *USART Serial Communication*
- *Master/Slave SPI Serial Interface*
- *On-Chip Oscillator*
- *Watch-dog Timer*
- 32 *Bi-directional I/O*
- Tegangan operasi 2,7 – 5,5 V



2.4. LCD 16x2

LCD (*Liquid Cristal Display*) adalah salah satu jenis display elektronik yang dibuat dengan teknologi CMOS logic yang bekerja dengan tidak menghasilkan cahaya tetapi memantulkan cahaya yang ada di sekelilingnya terhadap front-lit atau mentransmisikan cahaya dari back-lit. LCD (*Liquid Cristal Display*) berfungsi sebagai penampil data baik dalam bentuk karakter, huruf, angka ataupun grafik. konfigurasi pin LCD 16x2 terlihat pada gambar 2.2 dibawah



Gambar 2.2.konfigurasi pin LCD 16x2

- VSS
VSS(ground) power DC
- VDD
VDD(vcc)suplay power 5VDC
- VEE
VEE berfungsi untuk mengatur kecerahan tampilan (kontras)
- RS(*Register Select*) berfungsi untuk menentukan jenis data yang masuk
- RW(*Read Write*) berfungsi menulis data dan membaca data
- E(enable)untuk mengendalikan data
- D0 - D7 untuk jalur data yang akan di tampilkan

Tabel 2.1 Tabel Kebenaran Pengubah D/A

	Masukan Digital				Keluaran Analog
	D	C	B	A	Volt
Baris 1	0	0	0	1	0
Baris 2	0	0	0	0	0.2
Baris 3	0	0	1	1	0.4
Baris4	0	0	1	0	0.6
Baris 5	0	1	0	1	0.8
Baris 6	0	1	0	0	1.0
Baris 7	0	1	1	1	1.2
Baris 8	0	1	1	0	1.4
Baris 9	1	0	0	1	1.6
Baris 10	1	0	0	0	1.8
Baris 11	1	0	1	1	2.0
Baris 12	1	0	1	0	2.2
Baris 13	1	1	0	1	2.4
Baris 14	1	1	0	0	2.6
Baris 15	1	1	1	1	2.8
Baris 16	1	1	1	0	3.0

2.5. Komponen Elektronika

2.5.1. Resistor

Resistor merupakan komponen elektronik yang memiliki dua pin dan didesain untuk mengatur tegangan listrik dan arus listrik, dengan resistansi tertentu (tahanan) dapat memproduksi tegangan listrik di antara kedua pin, nilai tegangan terhadap resistansi berbanding lurus dengan arus yang mengalir, berdasarkan hukum Ohm:

$$V = IR$$

$$I = \frac{V}{R}$$

Resistor digunakan sebagai bagian dari rangkaian elektronik dan sirkuit elektronik, dan merupakan salah satu komponen yang paling sering digunakan. Resistor dapat dibuat dari bermacam-macam kompon dan film, bahkan kawat resistansi (kawat yang dibuat dari paduan resistivitas tinggi seperti nikel-kromium).

Karakteristik utama dari resistor adalah resistansinya dan daya listrik yang dapat dihantarkan. Karakteristik lain termasuk koefisien suhu, derau listrik (*noise*), dan induktansi.

Resistor dapat diintegrasikan kedalam sirkuit hibrida dan papan sirkuit cetak, bahkan sirkuit terpadu. Ukuran dan letak kaki bergantung pada desain sirkuit, kebutuhan daya resistor harus cukup dan disesuaikan dengan kebutuhan arus rangkaian agar tidak terbakar.

2.5.2. Resistor Variabel (Trimpot)

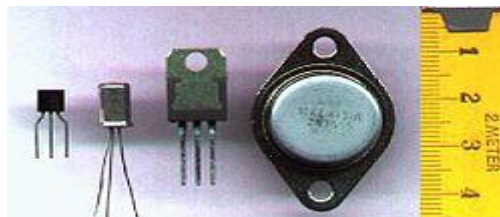
Resistor Variabel Resistor variabel adalah resistor yang nilai resistansinya dapat diubah secara langsung baik dengan tuas yang telah tersedia atau menggunakan obeng. Ada 2 jenis resistor variabel yang ada dipasaran, yaitu trimpot (trimer potensio) dan potensiometer. Trimer Potensio (Trimpot) Gambar simbol dan bentuk fisik dari trimpot dapat dilihat pada gambar berikut : Resistor jenis ini merupakan resistor yang nilai resistansinya dapat diubah dengan memutar porosnya menggunakan obeng. Nilai resistansi dari trimpot tertulis pada badan trimpot tersebut menggunakan kode angka. Nilai yang tertulis pada badan trimpot merupakan nilai maksimum dari resistansi trimpot tersebut. Misal trimpot dengan nilai 10KOhm maka trimpot tersebut dapat diubah nilai resistansinya dari 0Ohm sampai 10Khm. Aplikasi dari trimpot dapat kita temui pada rangkaian elektronika seperti receiver atau multivibrator variabel. Potensiometer adalah salah satu Resistor jenis ini, merupakan resistor yang nilai resistansinya dapat diubah-ubah

dengan cara memutar porosnya melalui tuas yang telah tersedia. Nilai resistansi potensiometer tertulis pada badan potensiometer menggunakan kode angka. Nilai resistansi potensiometer yang beredar dipasaran ada 2 macam, yaitu nilai resistansinya yang dapat diubah secara logaritmis dan nilai resistansi yang dapat diubah secara linier. Nilai resistansi yang tertulis di badan potensiometer bermakna sama dengan nilai resistansi trimpot, yaitu nilai yang tertulis di badan potensiometer merupakan nilai maksimal resistansi yang dapat diatur oleh potensiometer. Aplikasi potensiometer ini dapat kita jumpai pada perangkat audio, seperti pada pengatur nada bass, treble dan volume. Pemilihan jenis resistor yang akan digunakan adalah berdasarkan fungsi resistor dalam rangkaian elektronika, apabila rangkaian elektronika tersebut tidak memerlukan perubahan resistansi resistor maka cukup menggunakan resistor tetap. Apabila rangkaian elektronika memerlukan perubahan resistansi yang tidak perlu diubah sewaktu-waktu atau hanya pada saat seting pertama saja maka cukup menggunakan resistor jenis trimpot. Dan pada rangkaian elektronika yang membutuhkan perubahan resistansi yang dapat diatur oleh operator setiap saat maka rangkaian tersebut memerlukan potensiometer sebagai resistornya.



2.5.3. Transistor

Transistor adalah alat semikonduktor yang dipakai sebagai penguat, sebagai sirkuit pemutus dan penyambung (switching), stabilisasi tegangan, modulasi sinyal atau sebagai 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.



Gambar 2.3. Dimensi dari Jenis Jenis Transistor di bandingkan terhadap pita ukur

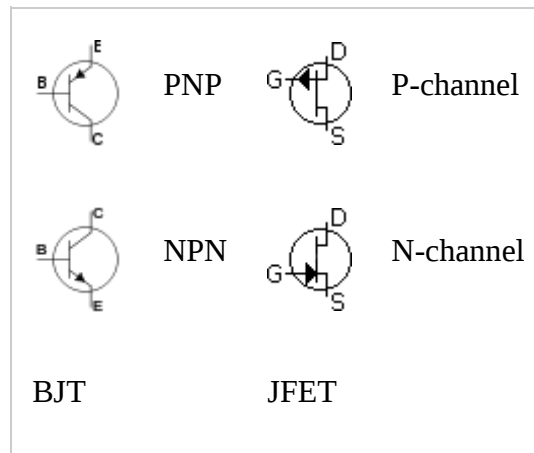
Pada umumnya, transistor memiliki 3 terminal, yaitu Basis (B), Emitor (E) dan Kolektor (C). Tegangan yang di satu terminalnya misalnya Emitor dapat dipakai untuk mengatur arus dan tegangan yang lebih besar daripada arus input Basis, yaitu pada keluaran tegangan dan arus output Kolektor. Transistor merupakan komponen yang sangat penting dalam dunia elektronik modern. Dalam rangkaian analog, transistor digunakan dalam amplifier (penguat). Rangkaian analog melingkupi pengeras suara, sumber listrik stabil (stabilisator) 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 fungsi rangkaian-rangkaian lainnya.

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 diubah dengan perubahan tegangan yang diberikan, untuk mengubah ketebalan kanal konduksi tersebut. Lihat artikel untuk masing-masing tipe untuk penjelasan yang lebih lanjut.

Jenis-jenis transistor



Gambar 2.4 Simbol Transistor dari Berbagai Tipe

Secara umum, transistor dapat dibedakan berdasarkan banyak kategori:

- Materi semikonduktor: Germanium, Silikon, Gallium Arsenide
- Kemasan fisik: Through Hole Metal, Through Hole Plastic, Surface Mount, IC, dan lain-lain
- Tipe: UJT, BJT, JFET, IGFET (MOSFET), IGBT, HBT, MISFET, VMOSFET, MESFET, HEMT, SCR serta pengembangan dari transistor yaitu IC (Integrated Circuit) dan lain-lain.
- Polaritas: NPN atau N-channel, PNP atau P-channel
- Maximum kapasitas daya: Low Power, Medium Power, High Power
- Maximum frekuensi kerja: Low, Medium, atau High Frequency, RF transistor, Microwave, dan lain-lain
- Aplikasi: Amplifier, Saklar, General Purpose, Audio, Tegangan Tinggi, dan lain-lain

BJT (Bipolar Junction Transistor) adalah salah satu dari dua jenis transistor. Cara kerja BJT dapat dibayangkan sebagai dua diode 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.

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 diode 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 diode 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 .

2.5.4. Kapasitor

Kondensator atau sering disebut sebagai kapasitor adalah suatu alat yang dapat menyimpan energi di dalam medan listrik, dengan cara mengumpulkan ketidakseimbangan internal dari muatan listrik. Kondensator memiliki satuan yang disebut Farad dari nama Michael Faraday. Kondensator juga dikenal sebagai "kapasitor", namun kata "kondensator" masih dipakai hingga saat ini. Pertama disebut oleh Alessandro Volta seorang ilmuwan Italia pada tahun 1782 (dari bahasa Italicondensatore), berkenaan dengan kemampuan alat untuk menyimpan suatu muatan listrik yang tinggi dibanding komponen lainnya. Kebanyakan bahasa dan negara yang tidak menggunakan bahasa Inggris masih mengacu pada perkataan

bahasa Italia "condensatore", bahasa Perancis condensateur, Indonesia dan Jerman Kondensator atau Spanyol Condensador. Kondensator diidentikkan mempunyai dua kaki dan dua kutub yaitu positif dan negatif serta memiliki cairan elektrolit dan biasanya berbentuk tabung.



Lambang kondensator (mempunyai kutub) pada skema elektronika.

Sedangkan jenis yang satunya lagi kebanyakan nilai kapasitasnya lebih rendah, tidak mempunyai kutub positif atau negatif pada kakinya, kebanyakan berbentuk bulat pipih berwarna coklat, merah, hijau dan lainnya seperti tablet atau kancing baju.



Lambang kapasitor (tidak mempunyai kutub) pada skema elektronika.

Namun kebiasaan dan kondisi serta artikulasi bahasa setiap negara tergantung pada masyarakat yang lebih sering menyebutkannya. Kini kebiasaan orang tersebut hanya menyebutkan salah satu nama yang paling dominan digunakan atau lebih sering didengar. Pada masa kini, kondensator sering disebut kapasitor (capacitor) ataupun sebaliknya yang pada ilmu elektronika disingkat dengan huruf (C).

2.6. Tap Changer Trafo

Transformator (transformer) adalah alat untuk menggabungkan (coupling) daya atau sinyal ac dari satu rangkaian ke rangkaian lainnya. Tegangan dapat dinaikan (stepped-up) (tegangan sekunder lebih besar dari tegangan primer) atau diturunkan (stepped-down) (tegangan sekunder lebih kecil dari tegangan primer) karena tidak dimungkinkan adanya kenaikan tegangan (transformator adalah komponen pasif seperti halnya resistor, kapasitor, dan induktor), kenaikan tegangan sekunder hanya dapat dicapai dengan akibat berkurangnya arus sekunder, demikian pula sebaliknya (pada kenyataannya, daya sekunder akan sedikit lebih kecil daripada daya primer sebagai akibat adanya rugi-rugi (loses) di dalam transformator). Aplikasi-aplikasi

umum transformator meliputi kenaikan atau penurunan tegangan sumber pada catu daya, penggabungan sinyal-sinyal pada amplifier AF untuk memperoleh kesesuaian impedansi (impedance matching) dan untuk mengisolasi potensial-potensial dc yang berkaitan dengan komponen-komponen aktif. Karakteristik listrik dari sebuah transformator ditentukan oleh sejumlah faktor, termasuk diantaranya adalah bahan inti dan dimensi-dimensi fisik.

Spesifikasi dari sebuah transformator umumnya mencakup rating tegangan dan arus primer dan sekunder, rating daya yang dibutuhkan (yaitu daya maksimum, biasanya dinyatakan dalam volt-ampere, VA) yang dapat secara terus-menerus diberikan oleh transformator pada kondisi-kondisi tertentu, kisaran frekuensi untuk komponen (biasanya dinyatakan sebagai batas atas dan batas bawah dari frekuensi kerja), dan pengaturan dari transformator (biasanya dinyatakan sebagai persentase dari beban penuh). Spesifikasi yang terakhir ini merupakan ukuran kemampuan transformator untuk mempertahankan tegangan output yang di-rating dalam kondisi berbeban.

2.7. SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition)

SCADA adalah sistem yang mengawasi dan mengendalikan peralatan proses yang tersebar secara geografis (Standar PT PLN (PERSERO), 2008: 3). SCADA merupakan singkatan dari Supervisory Control and Data Acquisition. Sistem SCADA digunakan untuk memantau dan mengontrol instalasi atau peralatan industry seperti telekomunikasi, pengendali air dan limbah, energi, kilang minyak dan gas, dan transportasi. Sistem ini meliputi transfer data antara sebuah komputer pusat SCADA induk dan sejumlah Remote Terminal Unit (RTU) dan atau Programmable Logic Controllers (PLC), dan terminal induk pusat dan operator. Sebuah sistem SCADA mengumpulkan informasi (seperti dimana sebuah kebocoran pipa telah terjadi), mentransfer informasi kembali ke pusat, lalu memperingatkan terminal utama bahwa telah terjadi kebocoran, membawa analisis dan kendali yang dibutuhkan, seperti memperkirakan jika kebocoran sangat ternyata kritis, dan menampilkan informasi dalam sebuah cara logis dan

terorganisir. Sistem ini dapat relatif sederhana, seperti satu yang memonitor kondisi lingkungan sebuah perkantoran kecil, atau sangat kompleks, seperti sebuah sistem yang memonitor semua aktivitas dalam pembangkit listrik tenaga nuklir atau aktivitas dari sebuah sistem pengairan kota. Secara tradisional, sistem SCADA telah digunakan di Jaringan Public Switch/PSN untuk berbagai kebutuhan.

Sekarang, banyak sistem memonitor menggunakan infrastruktur perusahaan Local Area Network (LAN)/Wide Area Network (WAN). Teknologi wireless sekarang telah secara luas disebar untuk berbagai tujuan pemantauan.

Sistem SCADA terdiri dari:

- Satu atau lebih bidang alat interface data, biasanya RTU atau PLC yang terhubung dengan alat bidang sensor dan kendali switchbox dan valve actuators.
- Sebuah sistem komunikasi digunakan untuk mentransfer data antara interface bidang data dan unit kendali dan komputer dalam pusat induk SCADA. Sistem ini dapat berupa radio, telephon, kabel, satelit, dan lain-lain, atau kombinasinya.
- Sebuah server atau server pusat induk komputer (terkadang disebut SCADA Center, terminas master, atau Master Terminal Unit (MTU)).
- Sekumpulan standar dan atau software buatan [terkadang disebut software Human Machine Interface (HMI) atau software Man Machine Interface (MMI)] sistem yang digunakan untuk menyediakan pusat induk SCADA dan aplikasi terminal operator, mendukung sistem komunikasi dan memantau dan mengendalikan alat interface bidang data yang terpencil (Technical Information Bulletin, 2004: 4).

Fasilitas SCADA diperlukan untuk melaksanakan pengusahaan tenaga listrik terutama pengendalian operasi secara realtime. Suatu sistem SCADA terdiri dari sejumlah RTU (Remote Terminal Unit), sebuah Master Station/ACC (Area Control Center), dan jaringan telekomunikasi data antara RTU dan ACC. RTU dipasang di setiap Gardu Induk atau Pusat Pembangkit yang hendak dipantau.

Dengan sistem SCADA maka Dispatcher dapat mendapatkan data dengan cepat setiap saat (real time) bila diperlukan, disamping itu SCADA dapat dengan cepat

memberikan peringatan pada Dispatcher bila terjadi gangguan pada sistem, sehingga gangguan dapat dengan mudah dan cepat diatasi/dinormalkan.

Saat RTU melakukan operasi kontrol seperti membuka circuit breaker, perubahan dari lampu merah menjadi hijau pada pusat kontrol menunjukkan bahwa operasi berjalan dengan sukses.

Keuntungan sistem SCADA lainnya ialah kemampuan dalam membatasi jumlah data yang ditransfer antar Master Station dan RTU. Hal ini dilakukan melalui prosedur yang dikenal sebagai exception reporting dimana hanya data tertentu yang dikirim pada saat data tersebut mengalami perubahan yang melebihi batas setting (Puguh, 2011: 3-4).

Fungsi utama sistem SCADA ada 3 macam :

1. Telecontrolling, yaitu pengoperasian peralatan switching pada Gardu Induk atau Pusat Pembangkit yang jauh dari pusat kontrol. Telecontrolling digunakan untuk: Membuka dan menutup PMT (circuit breaker) sisi 150 kV, baik untuk Line Feeder maupun untuk Trafo Distribusi.



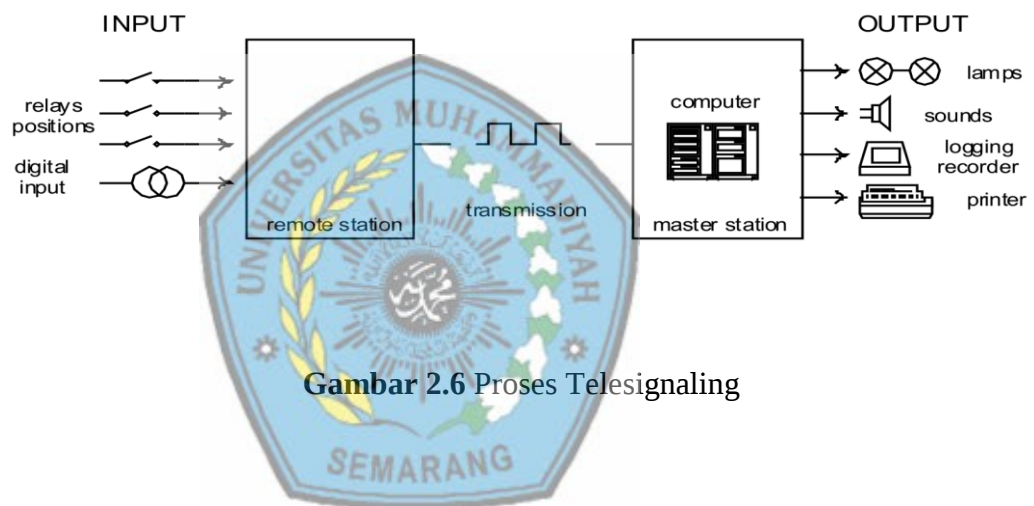
Gambar 2.5 Proses Telecontrol

2. Telesignaling atau teleindikasi, yaitu mengumpulkan informasi mengenai kondisi sistem dan indikasi operasi, kemudian menampilkannya pada pusat kontrol (dalam hal ini UPB). Informasi kondisi untuk mengetahui keadaan sistem apakah mengalami gangguan atau tidak.

Informasi yang diperoleh selalu up to date selama 24 jam. Setiap perubahan kondisi sistem langsung dapat diketahui tanpa menunggu laporan dari Operator di Gardu

Induk dan pusat tenaga listrik. Informasi indikasi perlu untuk mengetahui bahwa operasi yang dijalankan (seperti pemutusan Circuit Breaker) telah berhasil. Keadaan yang dapat dipantau adalah sebagai berikut :

- a. Status PMT/PMS.
- b. Alarm-alarm seperti proteksi dan peralatan lain.
- c. Posisi kontrol jarak jauh.
- d. Posisi perubahan tap transformator.
- e. Titik pengesetan unit pembangkit



Gambar 2.6 Proses Telesignaling

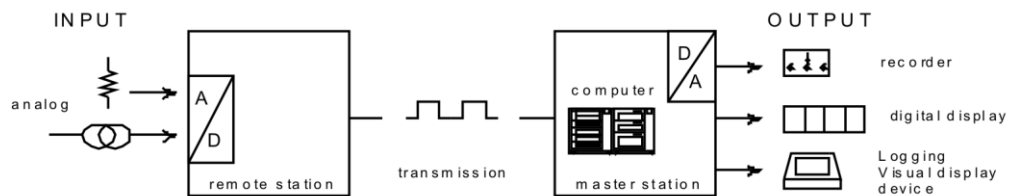
3. Telemetry, yaitu melaksanakan pengukuran besaran-besaran sistem tenaga listrik pada seluruh bagian sistem, lalu menampilkannya pada Pusat Kontrol.

Besaran-besaran yang dapat diukur adalah sebagai berikut:

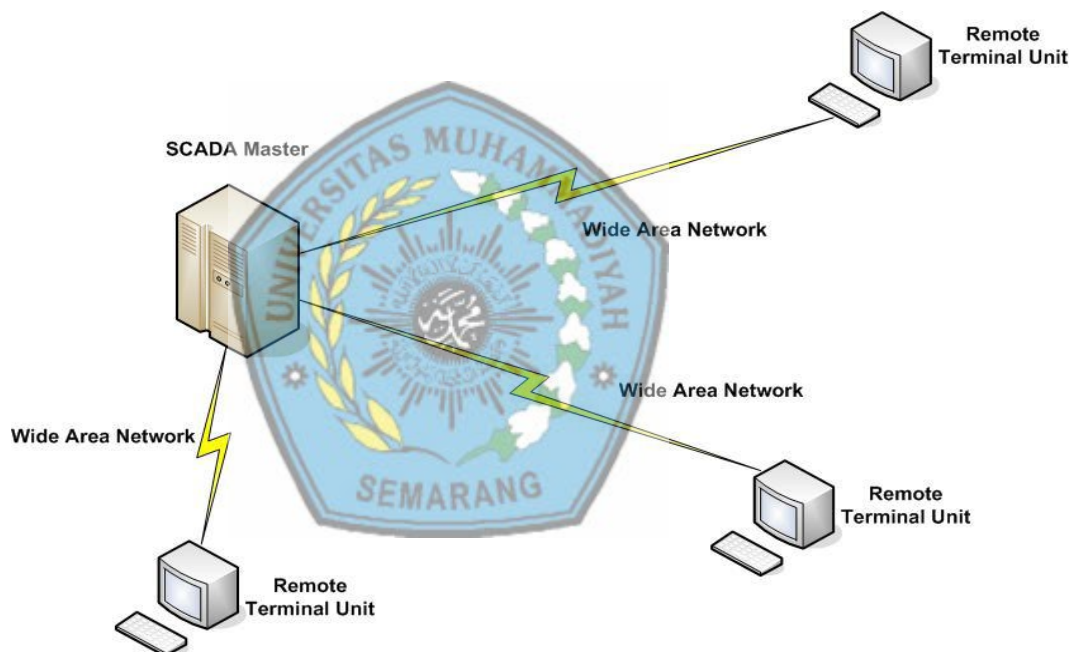
- a. Tegangan bus bar.
- b. Daya aktif dan reaktif unit pembangkit.
- c. Daya aktif dan reaktif trafo 150/30 KV dan 150/22 KV.
- d. Daya aktif dan reaktif penghantar/penyulang.
- e. Frekuensi Sistem (Puguh, 2011: 3-4)

Besaran seperti daya, arus dan tegangan di seluruh bagian sistem nantinya berpengaruh pada perencanaan maupun pelaksanaan operasi sistem tenaga. Ada

pembatasan informasi yang masuk dimana data yang baru akan diterima bila terjadi perubahan yang melewati batas setingnya.



Gambar 2.7 Proses Telemetry



Gambar 2.8 Generasi pertama arsitektur SCADA

2.7.1 RTU (Remote Terminal Unit)

RTU dapat mengakuisisi digital input, digital output, analog input, dan analog output. RTU dapat berkomunikasi dengan sub-RTU. RTU harus memiliki port komunikasi redundant. RTU mampu berkomunikasi secara bersamaan dengan minimal dua control center dengan protokol yang berbeda dan dapat dihubungkan dengan *Local HMI* di gardu induk sebagai pengganti control panel.

RTU harus dilengkapi dengan fasilitas *dummy breaker* yang berfungsi untuk melakukan simulasi *remote control*. (SPLN S3 01:2008)

2.7.2 HMI (Human Machine Interface)

Perangkat dimana pengguna berinteraksi dengan sistem SCADA. HMI menyediakan fasilitas dimana pengguna dapat memberikan input kepada sistem dan sistem dapat memberikan output kepada pengguna (SPLN S3 01:2008).

Tujuan utama dari human-machine interface (HMI) adalah untuk membantu operator dalam menjalankan mesin dan memanage sebuah proses. HMI yang bagus akan meningkatkan produktivitas dari operator dan mesin, uptime yang meningkat, dan membantu menyediakan kualitas produk yang konsisten. Fungsionalitas yang dibutuhkan bagi sebuah HMI sangat tergantung pada jenis dan kompleksitas dari produk yang dihasilkan, jenis mesin yang digunakan, kemampuan operator, dan tingkat otomatisasi mesin. Jenis fungsionalitas yang umumnya disertakan adalah:

Tabel 2.2 Fungsionalitas HMI

Fungsionalitas	Tujuan
Tampilan Grafis (Graphic Displays)	Untuk menyediakan informasi tentang operasi mesin dan status operator dalam format yang mudah dimengerti dan penentuan dalam pengambilan keputusan
Input User (User Input)	Untuk memfasilitasi input dari operator untuk mengatur operasi mesin, melakukan penyetelan mesin, dan merespon keadaan
Pembukuan Data dan Penyimpanan (Data Logging & Storage)	Untuk memberikan penyimpanan data operasi mesin secara historis untuk bagian dari pelacakan dan analisis cara untuk meningkatkan kualitas,

	produktivitas, dan <i>uptime</i> . Juga digunakan untuk menyimpan dan mengirim data penyetelan mesin saat dibutuhkan
Kecenderungan (Trending)	Untuk menyediakan sebuah alat untuk analisis data operasi mesin sekarang maupun lampau secara visual
Pemberitahuan bahaya (Alarming)	Untuk memberikan pemberitahuan kepada operator terhadap kondisi atau keadaan operasi yang tidak normal

Pendekatan yang tersedia bagi fungsionalitas HMI umumnya terdiri dari:

Alat interface hardwired – lampu pilot – tampilan numeric – tombol tekan – dan tuas (Hardwired interface devices - pilot lights, numeric displays, pushbuttons, and switches).

Tampilan hardware yang tepat – terminal berkisar antara ukuran kecil; tampilan 2 x 20 karakter dengan keypad untuk mewarnai panel layar flat touchscreen untuk memenuhi layar CRT 15” dengan keyboard yang terlindungi. Terminal ini biasanya menjalankan sistem operasi tertentu dan diatur dengan menggunakan software yang disediakan oleh manufaktur hardware.

Tampilan berbasis Personal Computer (PC) – HMI ini terdiri dari sebuah PC industry, tampilan, dan keyboard yang menjalankan sistem operasi komersil dan software tertentu (off-the-shelf software) dibanding software yang disediakan oleh manufaktur hardware. PC mungkin terhubung ke jaringan ke HMI lain di pembangkit listrik untuk menyediakan fungsionalitas tampilan yang lebar atau luas. User, OEM, atau sistem integrator menyetel software tertentu (off-the-shelf software) untuk mesin tertentu atau memproses aplikasi menggunakan alat yang disediakan oleh vendor software (Weber, 1999: 1-2).

2.7.3 RCC (Regional Control Centre)

RCC (Regional Control Centre) adalah Pusat kendali jaringan transmisi tegangan tinggi (Standar PT PLN(Persero), 2008: 3).

2.8. Teleinformasi Data

Standar ini membedakan teleinformasi data untuk transmisi dan distribusi. Untuk daerah yang fungsi transmisi dan distribusi masih dalam satu organisasi, maka master station dapat digunakan untuk fungsi RCC dan DCC. Dalam hal ini teleinformasi yang digunakan mengacu pada teleinformasi data transmisi dan distribusi.

Teleinformasi data untuk kepentingan operasi jaringan tenaga listrik ditampilkan pada workstation dispatcher. Setiap pembangunan SCADA untuk fasilitas sistem tenaga listrik, kebutuhan teleinformasi datanya harus mengacu pada SPLN S5.001: 2008 Teleinformasi data untuk operasi jaringan tenaga listrik dan SPLN S5.002: 2008 Teleinformasi data untuk pemeliharaan instalasi sistem tenaga listrik (Standar PT PLN(Persero), 2008: 3).

Teleinformasi data terdiri dari telecontrol, telesignal dan telemetering. Sesuai dengan penggunaannya, teleinformasi data dibedakan untuk kepentingan operasi dan kebutuhan pemeliharaan. Standar ini dimaksudkan untuk menetapkan standar teleinformasi data yang diaplikasikan untuk kebutuhan pemeliharaan sistem tenaga listrik dan mencakup sistem transmisi dan sistem distribusi.

Standar ini, berlaku untuk sistem SCADA:

- a. National Control Center, disingkat NCC;
- b. Inter Regional Control Center, disingkat IRCC;
- c. Regional Control Center, disingkat RCC;
- d. Inter Distribution Control Center, disingkat IDCC;
- e. Distribution Control Center, disingkat DCC (Standar PT PLN(Persero), 2008: 1).

Untuk daerah yang fungsi transmisi dan distribusi masih dalam satu organisasi maka master station dapat digunakan untuk fungsi RCC dan DCC. Dalam hal ini teleinformasi yang digunakan mengacu pada teleinformasi data transmisi dan distribusi.

Teleinformasi data untuk pemeliharaan instalasi sistem tenaga listrik ditampilkan pada Maintenance Center dan Local HMI (Human Machine Interface). Konfigurasi workstation di luar control center yang difungsikan untuk Maintenance Center, menampilkan kebutuhan teleinformasi data untuk pemeliharaan instalasi sistem tenaga listrik (Standar PT PLN(Persero), 2008: 4).

2.9. Pengatur pengubah sadapan berbeban (AVR)

Relai pengatur tegangan adalah peralatan kontrol otomatis pada transformator yang menggerakkan motor OLTC. Secara prinsip fungsi kontrol mengikuti tap demi tap operasi tap changer dari tap posisi service ke tap berikutnya. Dasar pengontrolan tegangan ini disesuaikan dengan pelayanan kualitas tegangan yang terdapat dalam Aturan Jaringan Jawa-Madura-Bali.

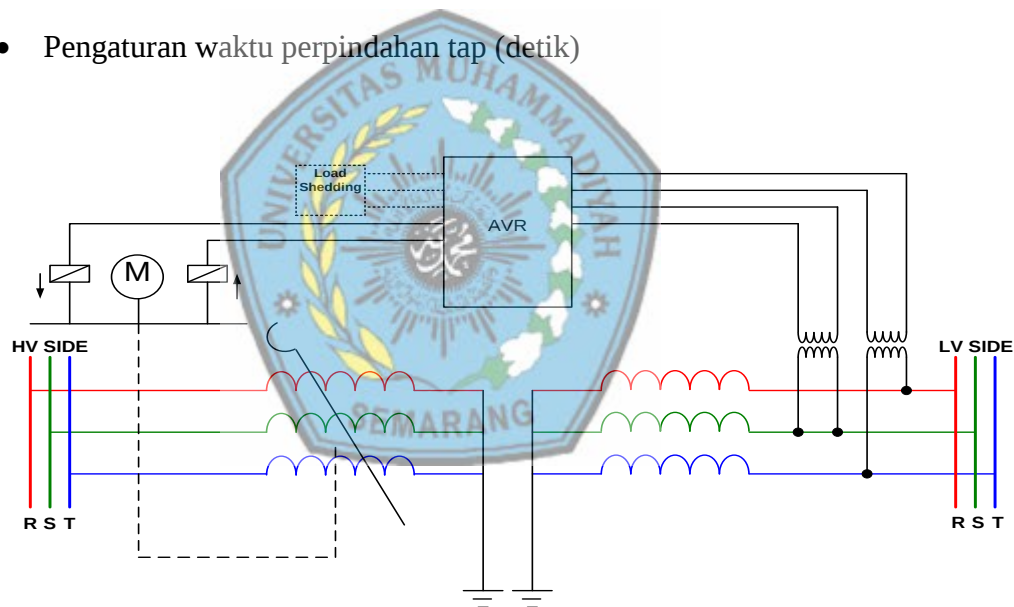
Ketika terukur adanya deviasi tegangan dari tegangan yang dipertahankan, voltage regulator memberikan sinyal kontrol dan memerintahkan motor penggerak (motor drive) agar bekerja dalam dua kasus naik (raise) atau turun (lower).

Bila level tegangan menjadi turun (rendah) dan jika diperlukan pelepasan beban (load shedding), maka AVR dilengkapi dengan fasilitas load shedding device yang dapat dipilih melalui eksternal relai kontak (switches).

Pada kondisi gangguan sistem menjamin/memastikan motor penggerak unit OLTC tidak akan bekerja (troublefree operation) dengan cara menyeting *undervoltage* dan *overcurrent blocking functions* dan *overvoltage monitoring*. (Karyana dan Tim Penyusun, 2013)

Dalam melakukan penyetingan AVR perlu memperhatikan hal – hal sebagai berikut:

- Besarnya nilai tegangan nominal yang akan dipertahankan di titik pengaturan (V_n)
- Deviasi tegangan yang diijinkan (%)
- Voltage drop pada impedance line (Line Drop Compensator) atau nilai kompensasi impedansi drop (Z-Compensation)
- undervoltage dan overcurrent blocking functions dan overvoltage monitoring pada kondisi gangguan sistem (troublefree operation)
- Nilai tegangan per-tap pada OLTC (volt / %)
- Jumlah kerja dari OLTC
- Pengaturan waktu perpindahan tap (detik)



Gambar 2.9 Konfigurasi AVR

Tabel 2.3 Contoh plat pengenalan (*name plate*) OLTC

Tap	Tegangan Tinggi		Tegangan Rendah		Data Teknik OLTC Transformator I 150/20 kV 30 MV GI MRICA	
	Tegangan	Arus	Tegangan	Arus		
1	165750	104.5	20000	866	Merk : MR Type : MS III 300Y	
2	163500	105.9	20000	866		
3	161250	107.4	20000	866		
4	159000	108.9	20000	866		
5	156750	110.5	20000	866	Delta V : 2250 Volt per tap : $(2250/150000) \times 100\% = 1.5\%$ per tap	
6	154500	112.1	20000	866		
7	152250	113.8	20000	866		
8	150000	115.5	20000	866		
9a	147750	117.2	20000	866		
9b	147750	117.2	20000	866		
10	145500	119.0	20000	866		
11	143250	120.9	20000	866		
12	141000	122.8	20000	866		
13	138750	124.8	20000	866		
14	136500	126.9	20000	866		
15	134250	129.0	20000	866		
16	132000	131.2	20000	866		
17	129750	133.5	20000	866		
18	127500	135.8	20000	866		

Tap	Tegangan Tinggi		Tegangan Rendah		Data Teknik OLTC Transformator I 500/150 kV 500 MV GITET KRIAN	
	Tegangan	Arus	Tegangan	Arus		
+14	500000	491.9	142857	1718	Merk : ABB Type : T I 1000 / 110kV - D	
+13	500000	491.7	144399	1718		
+12	500000	502.5	145963	1718		
+11	500000	508.1	147566	1718		
+10	500000	513.7	149209	1718	Delta V : 6250 Volt per tap : $(6250/500000) \times 100\% = 1.25\%$ per tap	
+9	500000	519.5	150882	1718		
+8	500000	525.4	152597	1718		
+7	500000	531.4	154851	1718		
+6	500000	537.6	156146	1718		
+5	500000	543.9	157983	1718		
+4	500000	550.4	159864	1718		
+3	500000	557	161789	1718		
+2	500000	563.8	163762	1718		
+1	500000	570.8	165784	1718		
0	500000	577.9	168000	1718		
-1	493750	585.2	168000	1718		
-2	487500	592.7	168000	1718		
-3	481250	600.4	168000	1718		
-4	475000	608	168000	1718		

Berdasarkan masukan arus dan tegangan, AVR terdiri atas 2 jenis :

a. AVR satu fasa

Biasanya dipakai pada interbus transformator. Untuk jenis ini masukan CT dan VT adalah adalah nilai fasa – fasa. Untuk masukan CT adalah satu fasa sedangkan untuk tegangan menggunakan masukan fasa – fasa. Satu relai akan mengontrol 3 OLTC pada transformator 3x1 fasa. Perlu diperhatikan pengawatan (*wiring*) pengaman untuk *unsynchronized* kenaikan tap perfasa.

b. AVR tiga fasa (Y connection – N)

Jenis ini juga harus mempunyai masukan CT dan VT untuk masing – masing fasa RST. Untuk dua atau lebih transformator paralel perlu diperhatikan koordinasi kerja AVR. Hal – hal yang menjadi pertimbangan penerapan AVR pada transformator paralel adalah:

- *Reverse Reactance*

Kelemahan metoda ini adalah kontrol tegangan akan terpengaruh oleh perubahan faktor daya beban (*loadpower factor*)

- *Master and Follower*

Membutuhkan pertukaran sinyal dan nilai pengukuran antar transformator atau antar AVR transformator (antar *bank* transformator). Aplikasinya terbatas pada transformator yang identik.

- *Arus Sirkulasi (Circulating Current)*

Biasanya diaplikasikan tipikal pada relai AVR baru yang telah numerik, dimana aplikasinya bisa mencakup pada transformator yang tidak sama pada saat operasi paralel. Tujuan utama dalam mengaplikasikan metoda ini adalah mampu mengatur tegangan sisi sekunder dengan nilai target yang telah ditetapkan dan mampu meminimalkan arus sirkulasi pada transformator yang paralel pada posisi tap yang berbeda, untuk mendapatkan nilai berbagi antar transformator yang optimal untuk beban reaktif antara transformator operasi paralel.