

Pengukuran Besaran Listrik

VOLTMETER DIGITAL

Karakteristik Umum

Voltmeter digital memperagakan pengukuran tegangan dc atau ac dalam bentuk angka diskrit, sebagai pengganti defleksi jarum penunjuk pada sebuah skala kontinu seperti dalam alat ukur analog.

Penunjukan dengan angka dalam banyak pemakaian lebih menguntungkan, karena :

- mengurangi kesalahan pembacaan oleh manusia dan interpolasi.
- menghilangkan kesalahan paralaksis.
- memperbesar kecepatan pembacaan.
- melengkapi keluaran dalam bentuk digital yang sesuai bagi pengolahan dan pencatatan selanjutnya.

Digital voltmeter merupakan suatu instrumen yang dapat diandalkan dan teliti, yang dapat digunakan dalam banyak pemakaian pengukuran di laboratorium.

Digital voltmeter dapat bersaing terhadap instrumen-instrumen analog konvensional, disebabkan perkembangan dan penyempurnaan modul-modul rangkaian terpadu (*integrated circuit*, IC), ukuran, kebutuhan daya dan harga yang berkurang secara drastis.

Kualitas voltmeter digital yang menonjol dapat digambarkan dengan mengemukakan karakteristik operasi dan karakteristik yang khas.

Spesifikasi berikut tidak semua berlaku pada satu instrumen tertentu, akan tetapi benar-benar menyatakan informasi yang absah mengenai keadaan saat ini, yaitu :

- **Rangkuman masukan** : dari $\pm 1,000000$ V sampai $\pm 1000,000$ V, dengan pemilihan rangkuman secara otomatis dan indikasi beban lebih.
- **Ketelitian mutlak** sebesar $\pm 0,005$ persen dari pembacaan.
- **Stabilitas** : jangka pendek 0,002 persen dari pembacaan untuk perioda 24 jam : jangka panjang 0,008 persen pembacaan untuk perioda 6 bulan.
- **Resolusi** : 1 bagian dalam 10^6 ($1 \mu\text{V}$ dapat dibaca pada rangkuman masukan 1 V).
- **Karakteristik masukan** : tahanan masukan khas adalah $10 \text{ M}\Omega$; kapasitansi masukan 40 pF.
- **Kalibrasi** : standar kalibrasi internal yang memungkinkan kalibrasi tidak bergantung pada rangkaian ukur diperoleh dari sumber referensi yang distabilkan.
- **Sinyal-sinyal keluaran** : perintah mencetak, memungkinkan keluaran menuju pencetak keluaran BCD (binary coded decimal = bilangan desimal yang masing-masing angka dinyatakan oleh empat bit) untuk pengolahan atau pencatatan digital.

Ciri pilihan biasa mencakup rangkaian tambahan untuk mengukur arus, tahanan dan perbandingan tegangan.

Variabel-variabel fisis lainnya dapat diukur dengan menggunakan transduser yang sesuai.

Voltmeter digital dapat dikelompokkan kedalam 4 (empat) kategori, yaitu :

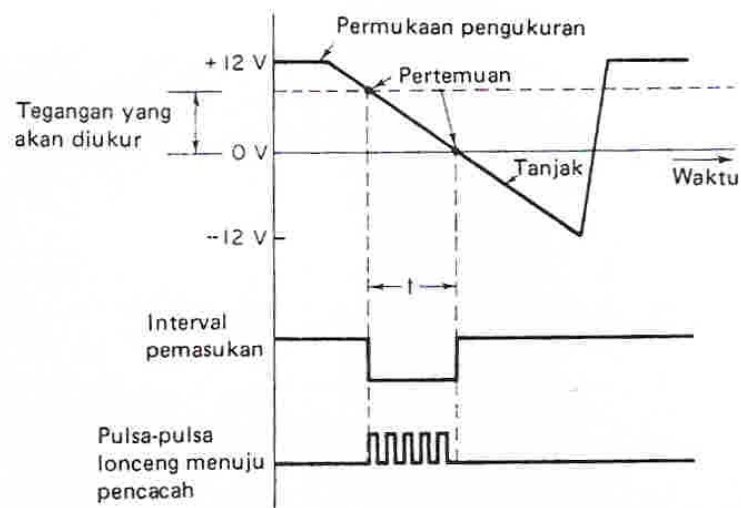
1. Voltmeter digital tipe tanjak (ramp type DVM).
2. Voltmeter digital tipe penggabungan / intergrasi (integrating DVM)
3. Voltmeter digital setimbang kontinu (continuous balance DVM)
4. Voltmeter digital dengan pendekatan berturut-turut (successive approximating DVM).

Voltmeter Digital Tipe Tanjak

Prinsip kerja voltmeter tipe tanjak didasarkan pada pengukuran waktu yang diperkirakan oleh sebuah tegangan tanjak linier agar naik dari level 0 Volt ke level tegangan masukan, atau berkurang dari level tegangan masukan ke nol.

Selang waktu ini diukur oleh sebuah pencacah waktu elektronik, dan pencacahan ini diperagakan dalam sejumlah angka pada tabung penunjuk elektronik.

Pada gambar 1, Pengubahan dari sebuah tegangan ke suatu selang waktu dengan menggunakan pulsa-pulsa lonceng melalui gerbang.

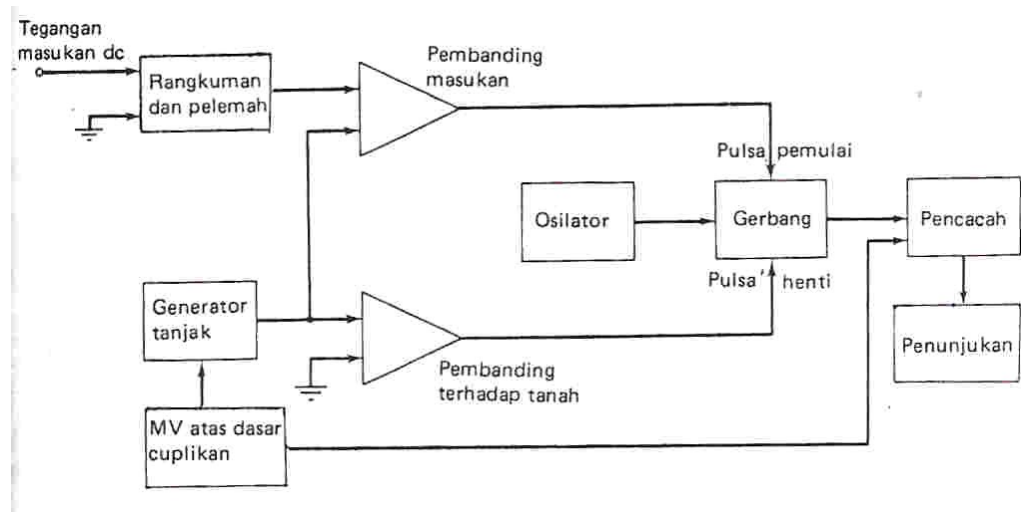


Gambar 1

Dari gambar 1, dapat dijelaskan sebagai berikut :

- pada permulaan siklus pengukuran, sebuah tegangan tanjak dimulai, dimana tegangan ini bisa menuju positif atau negatif
- tanjakan yang menuju negatif ditunjukkan pada gambar 1, dibandingkan secara kontinu terhadap tegangan masukan yang tidak diketahui.

- Pada saat dimana tegangan tanjak sama dengan tegangan yang tidak diketahui, sebuah rangkaian pembanding atau komparator membangkitkan sebuah pulsa yang membuka sebuah gerbang.
- Gerbang ini ditunjukkan pada diagram balok dari sebuah voltmeter digital (lihat gambar 2).
- Tegangan tanjak terus berkurang terhadap waktu sampai akhirnya mencapai nol volt (atau potensial tanah), dan sebuah pembanding lainnya membangkitkan sebuah pulsa keluaran yang menutup gerbang.



Gambar 2

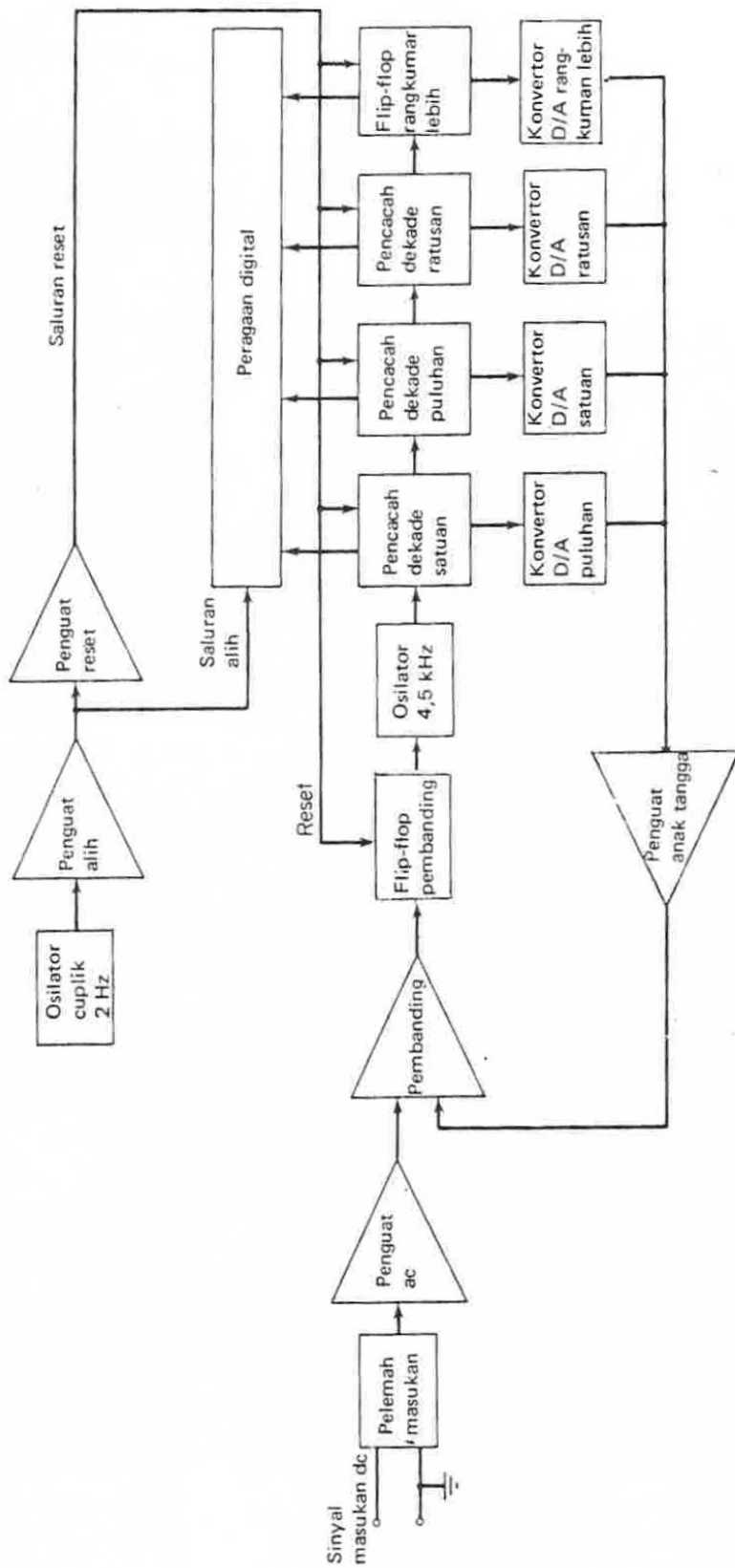
- Sebuah osilator membangkitkan pulsa-pulsa lonceng yang diijinkan lewat melalui gerbang menuju sejumlah unit pencacah kelipatan sepuluh (DCU), yang menjumlahkan jumlah pulsa yang lewat melalui gerbang.
- Bilangan desimal, yang diperagakan oleh tabung indikator yang bergantung pada unit pencacah kelipatan sepuluh, merupakan suatu ukuran dari besarnya tegangan masukan.
- Multivibrator atas dasar cuplikan, menentukan laju kecepatan pada mana siklus pengukuran dimulai. Osilasi multivibrator ini biasanya dapat diatur oleh sebuah alat kontrol di panel depan yang diberi tanda *rate*, yaitu dari beberapa getaran perdetik sampai sebesar 1000 atau lebih.
- Rangkaian atas dasar cuplikan melengkapi pulsa permulaan bagi generator tanjak untuk memulai tegangan tanjak berikutnya.
- Pada waktu bersamaan dibangkitkan sebuah pulsa untuk me-nol-kan (*reset pulse*) yang mengembalikan semua DCU ke keadaan nol, dan menghilangkan peragaan dari tabung-tabung penunjuk secara seketika.

Voltmeter Digital Tanjak Tipe Anak tangga

Voltmeter digital tanjak tipe anak tangga, ditunjukkan dalam diagram balok pada gambar 3. Voltmeter jenis ini, merupakan suatu variasi dari voltmeter tipe tanjak, akan tetapi sedikit lebih sederhana dalam rancangan secara keseluruhan, memperlihatkan suatu instrumen pemakaian umum yang dapat digunakan di laboratorium, pada pangkalan uji produksi, bengkel perbaikan, dan pada stasiun-stasiun pemeriksaan Voltmeter jenis ini melakukan pengukuran tegangan dengan membandingkan tegangan masukannya terhadap sebuah tegangan tanjak anak tangga yang di bangkitkan secara internal.

Dari gambar 3 dapat dijelaskan :

- Pelemah masukan $10\text{ M}\Omega$, memberikan lima rangkuman masukan mulai dari 100 m V sampai 100 V skala penuh.
- Penguat arus searah, dengan penguatan tetap sebesar 100, memberikan 10 V ke pembanding pada setiap penyetelan tegangan skala penuh dari pembagi tegangan masukan.
- Pembanding mengindera kesamaan antara tegangan masukan yang diperkuat dan tegangan tanjak anak tangga yang dibangkitkan sebagai pengukuran yang berjalan meneruskan siklusnya.
- Jika pertama-tama pengukuran dimulai, lonceng (osilator relaksasi 4,5 KHz) menyediakan pulsa ke ketiga DCU dalam bentuk air terjun.
- Pencacah satuan-satuan menyediakan pulsa pembawa ke dekade sepuluh pada setiap sepersepuluh pulsa masukan.
- Dekade sepuluh tersebut mencacah pulsa pembawa dari dekade satuan dan menyediakan pulsa pembawanya sendiri setelah mencacah sepuluh pulsa pembawa ke sebuah rangkaian rangkuman lebih.
- Rangkaian rangkuman lebih menyebabkan sebuah indikator pada panel depan menyala, yang mengingatkan operator bahwa kapasitas masukan dari instrumen telah dilewati, dan selanjutnya operator akan memindahkan pelemah masukan ke kedudukan yang lebih tinggi berikutnya.
- Masing-masing unit pencacah dihubungkan dengan sebuah pengubah digital-ke analog (*digital to analog converter, D/A*), dan keluaran D/A ini terhubung secara paralel dan memberikan arus keluaran yang sebanding dengan pencacahan arus dari DCU.
- Penguat anak tangga mengubah arus D/A menjadi tegangan anak tangga yang dimasukkan ke pembanding. Jika pembanding mengindera kesamaan tegangan masukan dan tegangan anak tangga, dia akan menghasilkan sebuah pulsa pemicu untuk menghentikan osilator, maka kandungan arus pencacah sebanding dengan besarnya tegangan masukan.



Gambar 3

Laju pencuplikan dikontrol oleh sebuah osilator rileksasi sederhana, osilator ini memicu dan me-nol-kan penguat alih dengan laju kecepatan sebesar dua cuplikan setiap detik.

- Penguat alih menghasilkan sebuah pulsa yang mengalihkan informasi yang disimpan didalam pencacah dekade menuju unit peraga di panel depan.
- Sisi belakang pulsa ini memicu penguat nol (*reset amplifier*) yang mengatur ketiga pencacah decade menjadi nol dan memulai suatu siklus pengukuran yang baru dengan menghidupkan osilator induk atau lonceng (*clock*).
- Rangkaian peraga menyimpan tiap-tiap pembacaan sampai selesai suatu pembacaan baru, dan menghilangkan setiap kedip (*blinking*) atau pencaca-han selama perhitungan.

Voltmeter Digital Tipe Penggabungan

Voltmeter jenis ini mengukur tegangan masukan rata-rata sebenarnya melalui suatu periode pengukuran yang telah tertentu, berbeda dengan Voltmeter tipe tanjak yang mencuplik tegangan pada akhir siklus pengukuran.

Suatu teknik yang dipakai secara luas untuk melakukan integrasi adalah menggunakan sebuah pengubah tegangan ke frekuensi (*voltage to frequency converter, V/F converter*).

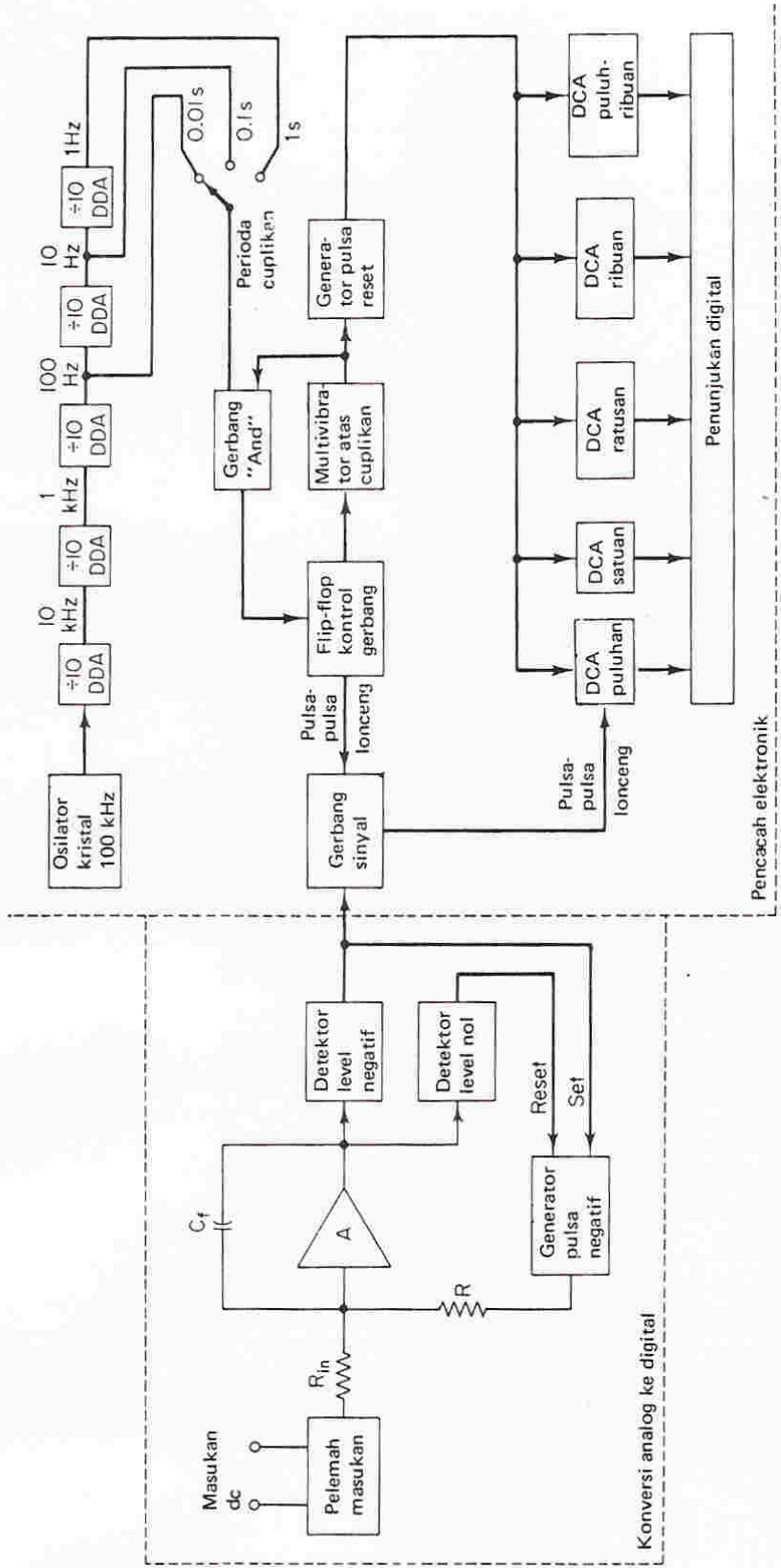
Penguat volt ke frekuensi ini berfungsi sebagai sistem kontrol umpan balik yang mengatur laju pembangkitan pulsa agar seimbang dengan besarnya tegangan masukan.

Pada gambar 4, ditunjukkan diagram balok yang disederhanakan dari sebuah voltmeter digital jenis integrasi.

Dari gambar 4 dapat dijelaskan :

- Tegangan dc yang di uji dimasukkan ke tingkatan masukan yang memisahkan rangkaian voltmeter terhadap rangkaian uji dan menyediakan pelemahan masukan yang dibutuhkan.
- Sinyal masukan yang diperlemah ini dihubungkan ke pengubah V/F. Rangkaian ini terdiri dari penguat integrasi, pendeteksi level tegangan (rangkaian pembanding), dan generator pulsa.
- Penguat integrasi menghasilkan suatu tegangan keluaran yang sebanding dengan tegangan masukan yang dikaitkan ke elemen masukan dan elemen umpan balik oleh persamaan :

$$V_{out} = - \frac{1}{C} \int i dt = - \frac{1}{RC} \int V_{in} dt \dots\dots\dots(13-1)$$



Gambar 4

Jika tegangan masukan konstan, keluaran adalah sebuah tegangan tanjak linier yang memenuhi persamaan :

$$V_{out} = -V_{in} \frac{t}{RC} \dots\dots\dots(13-2)$$

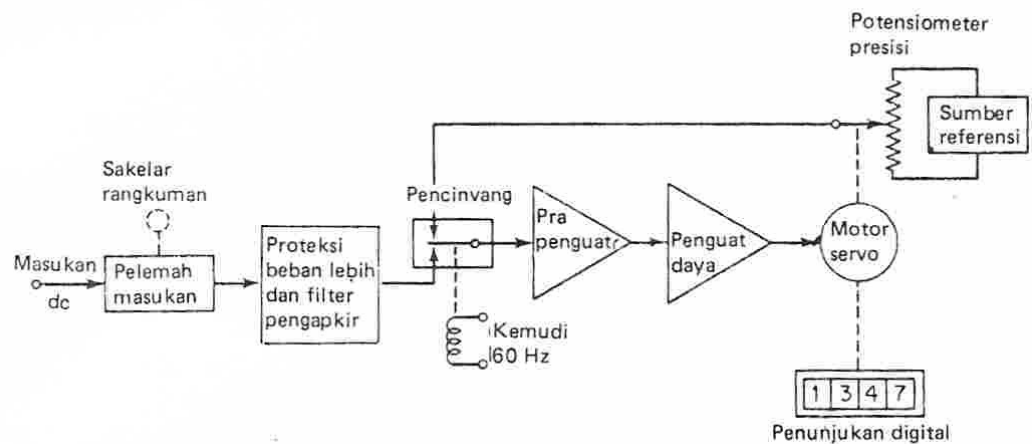
- Jika tegangan tanjak mencapai suatu level tegangan negatip tertentu, alat deteksi level memicu generator pulsa, yang memasukkan suatu langkah tegangan negatip ke titik penjumlahan dari penguat integrasi.
- Hasil penjumlahan tegangan masukan dan tegangan pulsa adalah negatip, yang menyebabkan tegangan tanjak mengubah/membalik arahnya.
- Penjejakan (retrace) ini sangat cepat karena amplitudo adalah besar dibandingkan terhadap tegangan masukan.
- Jika tanjak menuju positip yang saat ini 0 volt , alat deteksi level membangkitkan sebuah pemacu untuk me-nol-kan (reset trigger) generator pulsa.
- Pulsa negatip diambil dari titik penjumlahan penguat integrasi dan yang tertinggal hanya tegangan masukan mula-mula. Selanjutnya penguat menghasilkan kembali sebuah tegangan tanjak menuju negatip dan prosedur berulang.
- Laju pembangkitan pulsa diatur oleh besarnya tegangan masukan dc, Tegangan masukan yang lebih besar menyebabkan tanjakan yang lebih curam dan berarti laju pengulangan pulsanya (pulse repetition rate, PRR) lebih cepat.
- Keuntungan utama dari sistem pengolahan analog ke digital adalah kemampuannya mengukur adanya campuran derau yang besar secara cermat disebabkan masukan yang digabungkan.
- Pulsa keluaran dari alat deteksi level, mengontrol gerbang sinyal yang memungkinkan pencacah desimal untuk mengumpulkan suatu pencacahan yang diberikan oleh rangkaian osilator kristal.

Voltmeter Digital Setimbang Kontinu

Voltmeter digital jenis ini merupakan instrumen yang harganya relatif murah, akan tetapi memberikan prestasi yang sangat baik.

Ketelitian voltmeter ini umumnya adalah 0,1 % dari rangkuman masukannya, dan mempunyai impedansi masukan sekitar 10 MΩ dengan resolusi yang dapat diterima secara umum.

Pada gambar 5, ditunjukkan diagram balok dari sebuah voltmeter digital setimbang kontinu yang digerakkan oleh servo.



Gambar 5

Dari gambar 5, dapat dijelaskan :

- Tegangan masukan dc dimasukkan ke sebuah pelemah masukan yang memberikan penyakelaran rangkuman yang tepat. Pelemah masukan merupakan alat kontrol pada panel depan yang juga menyebabkan sebuah penunjuk titik desimal bergerak pada permukaan peraga sesuai dengan rangkuman masukan yang dipilih.
- Setelah lewat melalui sebuah rangkaian proteksi kelebihan tegangan dan sebuah tapis pengapkir arus bolak balik (*ac rejection filter*), tegangan masukan dihubungkan ke satu sisi pembanding pencincang mekanis, dan sisi lain dari pembanding dihubungkan ke sebuah lengan geser (*wiper*) dari potensiometer presisi yang digerakkan oleh motor, yang dihubungkan pada sumber tegangan referensi.
- Keluaran pembanding pencincang yang digerakkan oleh tegangan jala-jala dan bergetar pada frekuensi jala-jala, merupakan sebuah sinyal gelombang persegi. Amplitudo dari gelombang persegi ini merupakan fungsi dari selisih antara besar dan polaritas tegangan dc yang dihubungkan ke sisi-sisi pencincang yang saling berhadapan.
- Sinyal gelombang persegi diperkuat oleh sebuah prapenguat ber impedansi tinggi, berderau rendah dan disimpan ke sebuah penguat daya. Penguat ini mempunyai redaman khusus untuk memperkecil lonjakan (*overshoot*) dan ayunan (*hunting*) pada posisi nol.
- Motor servo, ketika menerima selisih sinyal gelombang persegi, menggerakkan lengan potensiometer presisi menurut arah yang dibutuhkan untuk menghilangkan tegangan selisih pada pembanding pencincang.

- Motor servo juga menggerakkan sebuah indikator mekanis tipe drum yang memiliki angka 0 sampai 9 yang tertera di sekeliling segmen-segmen drum. Posisi dari poros motor servo sesuai dengan jumlah tegangan umpan balik yang dibutuhkan untuk me-nol-kan masukan pencincang, dan posisi ini ditunjukkan oleh indikator tipe drum. Dengan demikian posisi poros merupakan indikasi besarnya tegangan masukan.

Jelaslah bahwa instrumen ini tidak “ mencuplik “ tegangan dc yang tidak diketahui secara teratur seperti halnya instrumen-instrumen yang lebih njelimet, akan tetapi secara kontinu mencari kesetimbangan tegangan masukan terhadap tegangan referensi yang dibangkitkan secara internal.

Disebabkan di dalam mekanisme ini tercakup gerak mekanis yang berbeda seperti halnya pengaturan posisi lengan potensiometer dan putaran mekanisme indikator, waktu pembacaan rata-rata berkisar 2 detik, akan tetapi kesederhanaan perencanaan dan biaya murah, membuat instrumen ini menjadi suatu pilihan yang sangat menarik jika ketelitian yang ekstrim tidak diperlukan.

Voltmeter Digital dengan Pendekatan Secara Berturut-turut

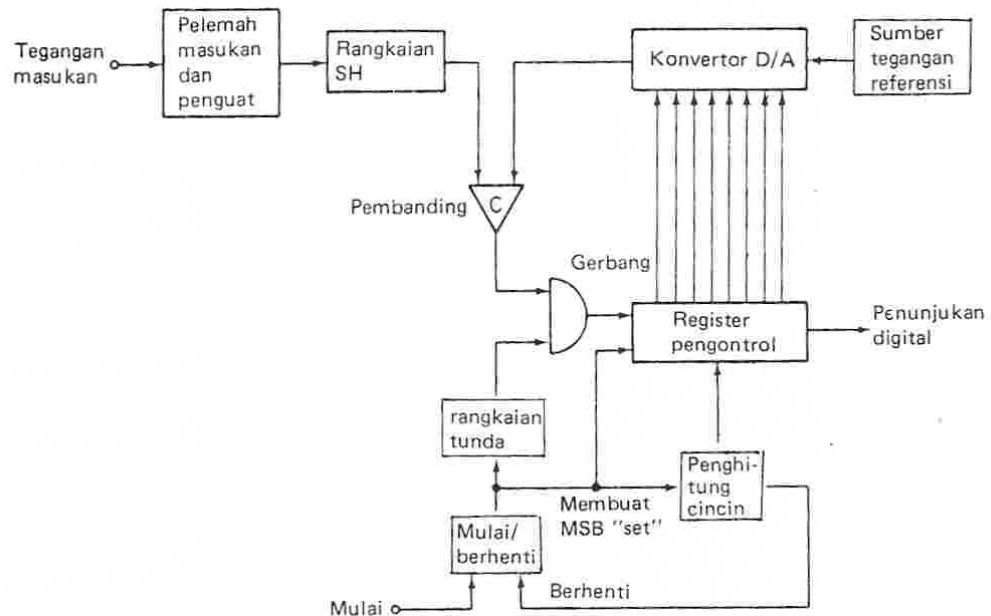
Voltmeter digital dengan kemampuan 1000 pembacaan setiap detik atau lebih telah tersedia secara komersial.

Pada umumnya, instrumen ini menggunakan konverter dari jenis pendekatan berturut-turut untuk melakukan digitasi (digitization : pengubahan analog menjadi digital). Pada gambar 6, ditunjukkan diagram yang telah disederhanakan untuk Voltmeter jenis ini.

Dari gambar 6, dapat dijelaskan :

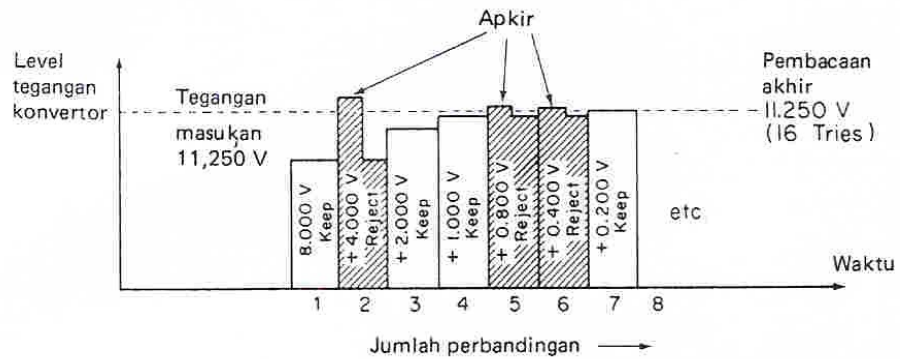
- Pada permulaan siklus pengukuran, sebuah pulsa pemulai dimasukkan ke multivibrator untuk menghidupkan dan mematikan (start-stop multivibrator). Ini menyetel angka 1 dalam register angka biner yang paling berarti (MSB, *most significant bit*) dan angka 0 dalam semua angka biner yang kurang berarti.
- Dengan menganggap register pengontrol adalah 8 bit, maka pembacaannya akan menjadi 10000000.
- Penyetelan permulaan pada register pengontrol ini menyebabkan keluaran konverter D/A menjadi setengah tegangan suplai referensi ($\frac{1}{2} V$), dan keluaran konverter ini dibandingkan oleh pembanding terhadap masukan yang tidak diketahui. Jika tegangan masukan lebih besar dari tegangan referensi konverter, pembanding menghasilkan suatu keluaran yang menyebabkan register pengontrol menahan penunjukan 1 di dalam MSBnya, dan konverter terus menyalurkan tegangan keluaran referensi sebesar $\frac{1}{2} V$.

- Selanjutnya pencacah cincin (*ring counter*) bertambah satu hitungan, menggeser angka 1 dalam MSB kedua dari register pengontrol dan pembacaannya menjadi 11000000, dan ini menyebabkan konverter D/A memperbesar keluaran referensinya satu pertambahan menjadi $\frac{1}{2} V + \frac{1}{4} V$, dan perbandingan yang lain terjadi terhadap tegangan masukan yang tidak diketahui.



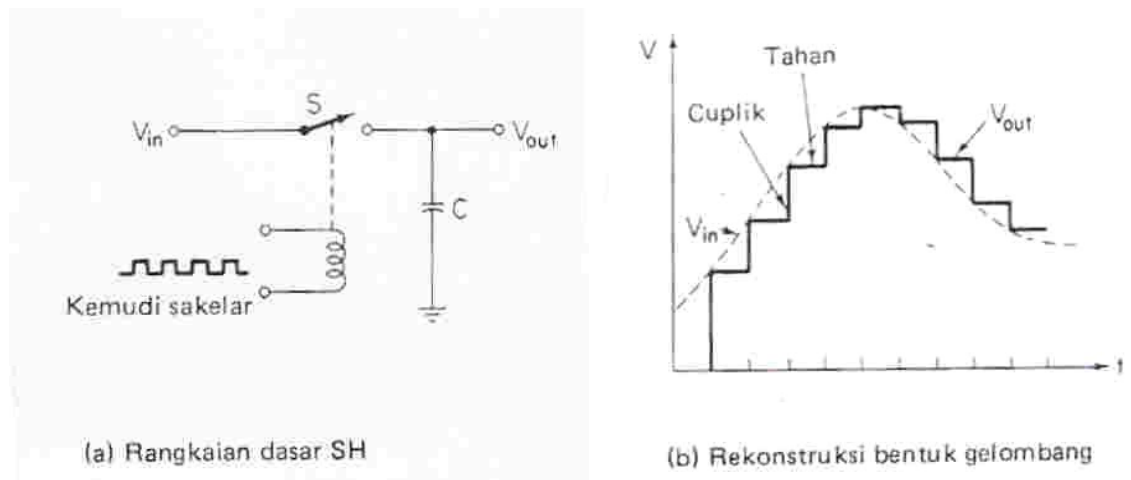
Gambar 6

- Jika dalam hal ini tegangan referensi yang terkumpul, sehingga melebihi tegangan yang tidak diketahui, maka pembanding menghasilkan suatu keluaran yang menyebabkan register pengontrol membuat MSB kedua menjadi 0 (reset). Kemudian keluaran konverter kembali ke level semula, yaitu $\frac{1}{2} V$ dan menunggu masukan lainnya dari register pengontrol untuk pendekatan berikutnya.
- Jika pencacah cincin menambah satu hitungan berikutnya, MSB ketiga dari register pengontrol distel ke 1 dan keluaran konverter diperbesar oleh pertambahan berikutnya menjadi $\frac{1}{2} V + \frac{1}{8} V$.
- Jadi siklus pengukuran berjalan melalui sederetan pendekatan berturut-turut seperti ditunjukkan pada gambar 7 dengan menahan atau menolak keluaran konverter dalam cara yang telah dijelaskan.
- Akhirnya, jika "pencacah cincin" mencapai hitungan terakhir, maka siklus pengukuran berhenti, dan keluaran digital dari register pengontrol memperlihatkan pendekatan terakhir dari tegangan masukan yang tidak diketahui.



Gambar 7

- Untuk tegangan masukan selain dc, level masukan berubah selama digitasi dan keputusan yang dibuat selama perubahan tidak konsisten.
- Untuk mencegah *kesalahan pengubahan* ini, sebuah rangkaian cuplik dan penahan (*sample and hold circuit, SH*) ditempatkan di dalam masukan, langsung di belakang pelemah masukan dan penguat seperti ditunjukkan pada gambar 6.
- Dalam bentuk yang paling sederhana, rangkaian SH dapat dinyatakan oleh sebuah saklar dan sebuah kapasitor seperti ditunjukkan pada gambar 8.



Gambar 8

- Dalam modus cuplik (*sample*) saklar tertutup dan kapasitor mengisi ke nilai sesaat tegangan masukan .
 - Dalam modus tertahan (*hold*) saklar terbuka dan kapasitor menahan tegangan yang telah dimilikinya pada saat saklar tertutup.
- Jika pengemudian saklar selaras dengan pulsa “ ring counter “, pengukuran aktual dan konversi berlangsung, jika rangkaian SH berada dalam posisi modus tertahan.

- Dalam sebuah rangkaian yang praktis saklar sederhana pada gambar 8 diganti oleh saklar transistor yang bekerja cepat, dan untuk mempercepat arus pengisian ke dalam kapasitor, ditambahkan sebuah penguat operasional.

Daftar Pustaka

1. Wiliam D. Cooper, “ Instrumentasi Elektronik dan Teknik Pengukuran “