

Minggu ke 8

Pengukuran dan Instrumentasi

FE UDINUS



SIMPANGAN (DISPLACEMENT)

Simpangan adalah vektor yang menyatakan perubahan posisi dari sebuah benda atau titik terhadap referensi.

Berupa gerakan linier atau putar dinyatakan dalam besaran absolut maupun relative.

Sensor yang banyak dipakai dalam pengukur simpangan diantaranya :

- Gaya
- Tegangan tarik
- Kecepatan & percepatan
- dll

Besarnya simpangan yang diukur dari orde beberapa mikrometer hingga beberapa sentimeter dalam pengukuran linier, dan pada pengukuran simpangan putar dari beberapa detik sudut sampai 360°



Prinsip transduksi

Transduser simpangan dapat diklasifikasikan bekerja berdasarkan prinsip transkonduksi untuk pengukuran

Prinsip transduksi listrik yang lazim dipakai ialah :

1. Resistansi variabel : potensiometrik/strain gauge.
2. Induktansi variabel / transformator diferensial variabel linier/ reIuktansi variabel.
3. Kapasitansi variabel.
4. Synchros dan resolver.

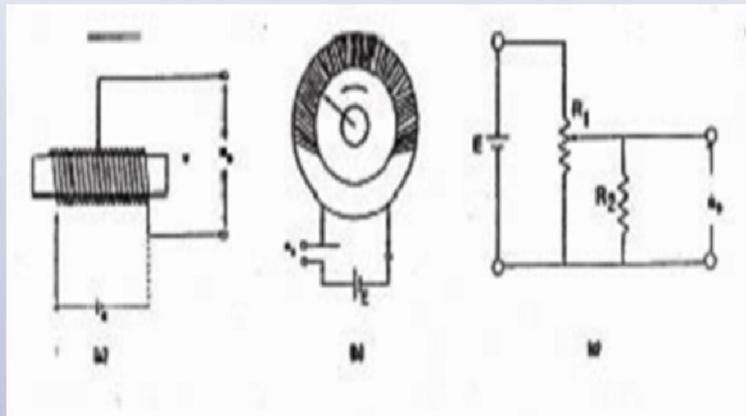
Dalam praktek tipe devais potensiometrik dan induktif paling banyak dipakai



Devais resistansi variabel

Transduser simpangan yang memakai elemen transduksi resistansi variabel potensiometrik umumnya sebagai devais hubung poros (shaft coupled).

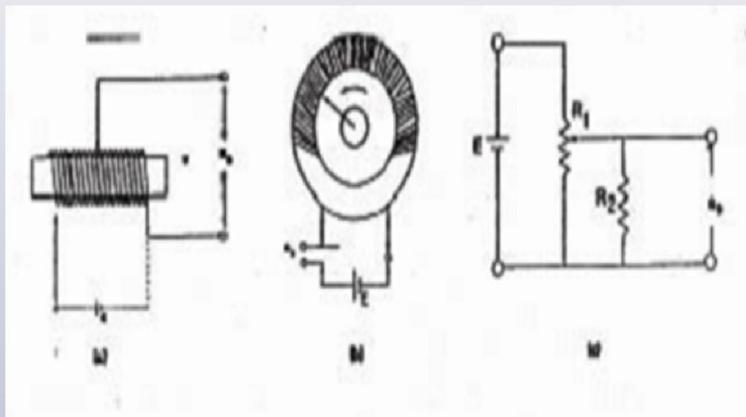
Elemen sensor terdiri dari potensiometer resistor yang memakai kontak penggesek (wiper) yang dapat digerakkan dan dihubungkan memakai poros bahan isolator dengan titik yang diukur.



Devais resistansi variabel

Kawat yang dipakai antara lain tembaga-nikel, nikel-kromium dan perak-paladium.

Penggesek terbuat dari bahan pegas yang terbuat dari perunggu-fosfor (phosphor-bronze), tembaga berelium (beryllium copper) dan paduan metal yang dapat bergerak pada elemen kawat resistor dengan faktor geseran minimum.



Resolusi alat tergantung pada lebar penggesek, diameter kawat resistor dan jarak antar Jilitan.



Transduser induktansi variabel

Sensor simpangan yang sederhana dan lebih populer ialah jenis induktansi-variabel dimana perubahan induktansi adalah fungsi simpangan, didapat dengan variasi induktansi mutual atau induktansi sendiri.

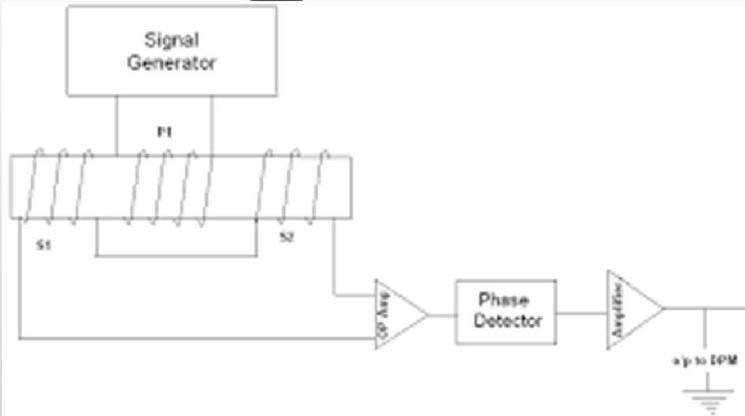
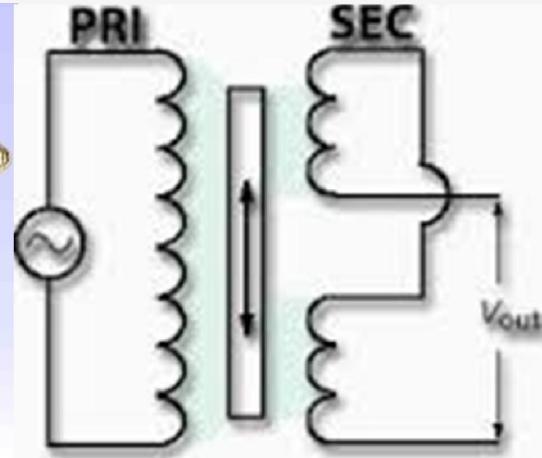
Transduser yang termasuk ini masing-masing dikenal sebagai transformator diferensial variabel linier dan sensor reluktansi (reluctance) variabel.

a. Linear variable differential transformer (LVDT).

Transduser transformator diferensial variabel (LVDT) linier digunakan pada sistem pengukuran dan kontrol.

Resolusi yang sangat halus, ketelitian tinggi dan stabilitas yang baik maka transduser ini tepat dipakai pada simpangan dengan langkah-
pendek, alat pengukur presisi.





LVDT terdiri dari sebuah kumparan primer dan dua buah kumparan sekunder yang identik, kumparan diberi jarak secara aksial dan digulung pada pembentuk kumparan berbentuk silinder.

Inti magnet berbentuk batang ditempatkan di tengah susunan kumparan dan dapat bergerak. Inti magnet/besi ini sebagai jalan yang dilalui fluksi medan magnet yang menghubungkan kumparan-kumparan itu. Simpangan yang akan diukur disalurkan ke inti magnet itu memakai penghubung yang sesuai.



Jangkauan normalnya antara 10 mikron hingga 10 mm, temperatur operasi dari $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ hingga $+100\text{ }^{\circ}\text{C}$. secara umum, jangkauan linieritas terutama bergantung pada panjang kumparan primer dan sekunder.

Keuntungan LVDT untuk sensor simpangan ialah :

1. Mekanik: Kesederhanaan desain dan mudah dalam fabrikasi dan instalasi, jangkauan luas, gerakan bebas geseran pada inti maka resolusinya tidak terbatas, konstruksi kokoh; gaya untuk mengoperasikan dapat diabaikan (berat inti sangat kecil), kemampuan bekerja pada temperatur tinggi.
2. Listrik: Tegangan output linier dan fungsi kontinu pada simpangan mekanik (ke linieran lebih baik dari 0,25%)

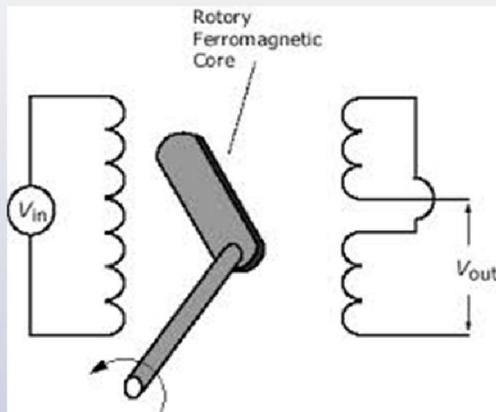
Sensitivitas tinggi ($2\text{ mV /Volt/10 mikron}$ pada eksitasi 4 KHz); output impedansi rendah (100 ohm); kemampuan bekerja pada frekuensi luas (50 Hz hingga 20 KHz); resolusi output tidak terbatas (faktor batas teoritis adalah rasio sinyal ke noise dan kondisi stabilitas input); sensitivitas saling (cross) sangat rendah.



b. Rotary variable differential transformer (rvdt)

Transformator diferensial variabel putar sangat baik untuk mengukur sudut simpangan sudut.

Devais ini cara bekerjanya sama dengan LVDT yang telah diterangkan sebelumnya, tegangan output bervariasi secara linier pada posisi putar dari poros



Keuntungan transduser ini adalah resolusi yang tidak terbatas dan bekerja linier (lebih baik dari +0,5 % pada skala penuh).

Pengkondisi sinyal untuk transduser ini sama dengan pada LVDT.

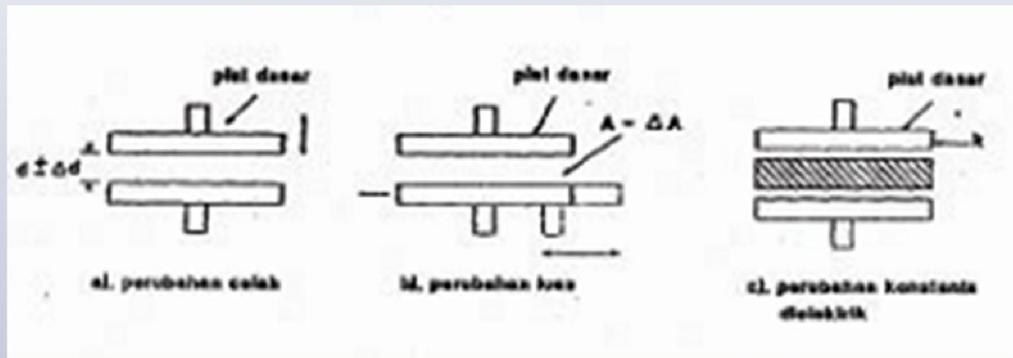


Transduser kapasitansi variabel

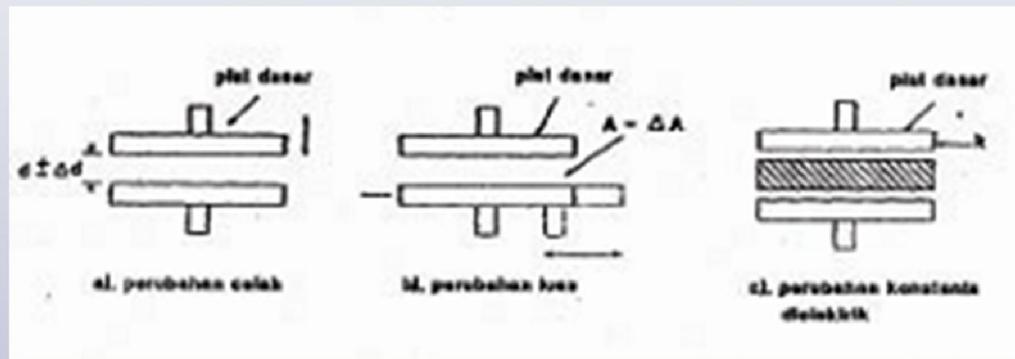
Transduser jenis kapasitansi variabel digunakan dalam lapangan pengukuran simpangan yang terbatas dan spesifik.

Secara ideal transduser ini termasuk sensor dinamik tanpa kontak, misalnya pada pengukuran getaran struktur yang sangat ringan seperti dinding tipis dan diafragma.

Keuntungan devais ini adalah mempunyai sifat sangat stabil, linier baik kompak, dan jangkauan temperatur baik.



Salah satu konstruksi transduser menggunakan satu plat tetap sedangkan yang lain bergerak atau defleksi tergantung pada pengukuran simpangan. Sistem dielektrik variabel dipakai pada pengukuran permukaan/level cairan seperti pada sistem pengukur bahan bakar pada pesawat terbang atau indikator permukaan cairan dalam pabrik kimia, Perubahan kapasitansi yang dihasilkan.



Devais Efek Hall

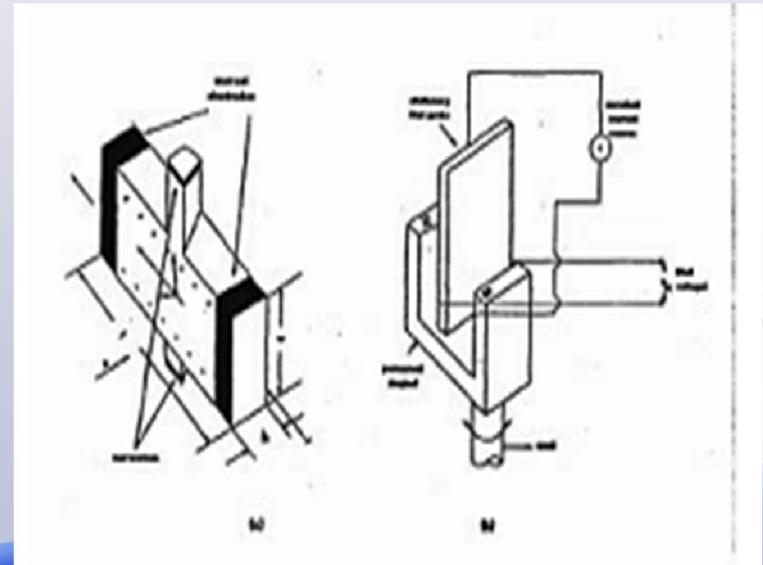
Efek Hall dalam beberapa aplikasi digunakan sebagai pengukur posisi, khususnya pengukuran simpangan sudut sebuah poros.

Efek Hall terjadi bila medan listrik yang jatuh tegak pada konduktor yang menghantar arus listrik.

Ini akan menghasilkan medan listrik yang arahnya tegak lurus pada arah medan magnetik dan tegak lurus pada arah arus listrik pula, dengan kuat medan yang sebanding dengan perkalian (product) kuat medan magnetik dan arus listrik.

Susunan skematis konduktor, medan magnetik dan arah arus listrik

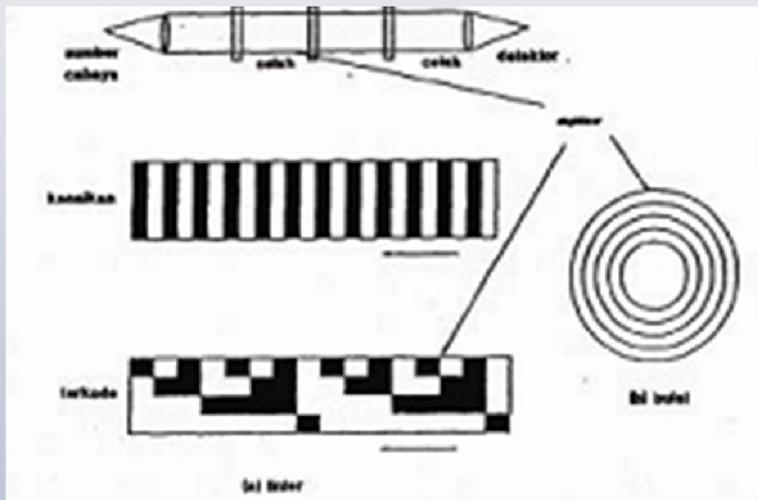
Suatu soal yang berhubungan dengan gejala efek Hall adalah noise arus yang terjadi dalam divais, tegangan sisa yang terjadi karena terminal yang salah meluruskan (misalignment of the terminals), dan resistansi magnetik karena kecepatan yang tidak uniform pada pembawa (ca



Transduser digital

Dengan banyaknya pengolahan data memakai digital untuk pengukuran, terdapat devais yang dapat mengubah langsung simpangan mekanik menjadi output digital tanpa perantaran konversi analog ke-digital, yaitu dengan mengatur elektromekanik atau elektro optik.

Devais ini sekarang banyak dipergunakan. Transduser digital dapat berupa tipe incremental atau tipe absolut. Teknik pola interferensi dan moire digunakan untuk mendapatkan resolusi tinggi.



Tugas Resume Bahan, Prinsip kerja dan aplikasi

1. NTC
2. Thermocouple
3. Pyroelektrik sensor
4. Bolometer
5. Piezoresistive force sensor
6. Piezoelektrik pressure sensor
7. Photoemissive tube
8. Photo transistor & photo diode
9. Thermopile
10. CCD (Charge Coupled Device)
11. USG
12. Barometer
13. Sensor kimia



AKUISISI DATA

Sistem akuisisi data dapat dikelompokkan kedalam dua kelas utama yaitu:

- sistem akuisisi data analog
- Sistem akuisisi data digital

Sistem akuisisi data digunakan untuk mengukur dan mencatat sinyal yang pada dasarnya diperoleh dalam dua cara yaitu :

- Sinyal berasal dari pengukuran langsung besaran-besaran listrik yang secara khas ditemukan dalam pemakaian dalam analisis kualitas.
- Sinyal yang berasal dari transduser.



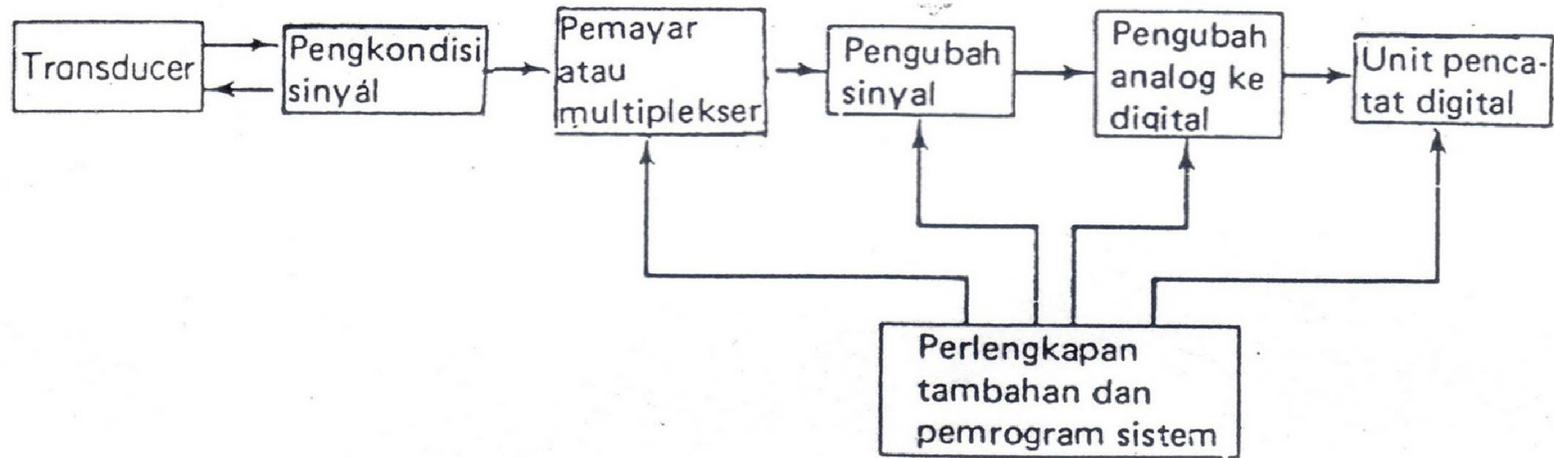


Diagram Sistem Akuisisi Data secara Umum

Sistem akuisisi data digital bisa mencakup sebagian atau semua elemen yang ditunjukkan pada gambar di atas. Operasi dasar fungsional di dalam sebuah sistem digital mencakup penanganan sinyal-sinyal analog, melakukan pengukuran, pengubahan dan penanganan data digital, dan pemrograman internal dan kontrol.



Pengkondisian sinyal

Pemakaian sensor tidak bisa dihubungkan secara langsung dengan perangkat yang merekam, memonitor atau pemroses signal.

Dikarenakan :

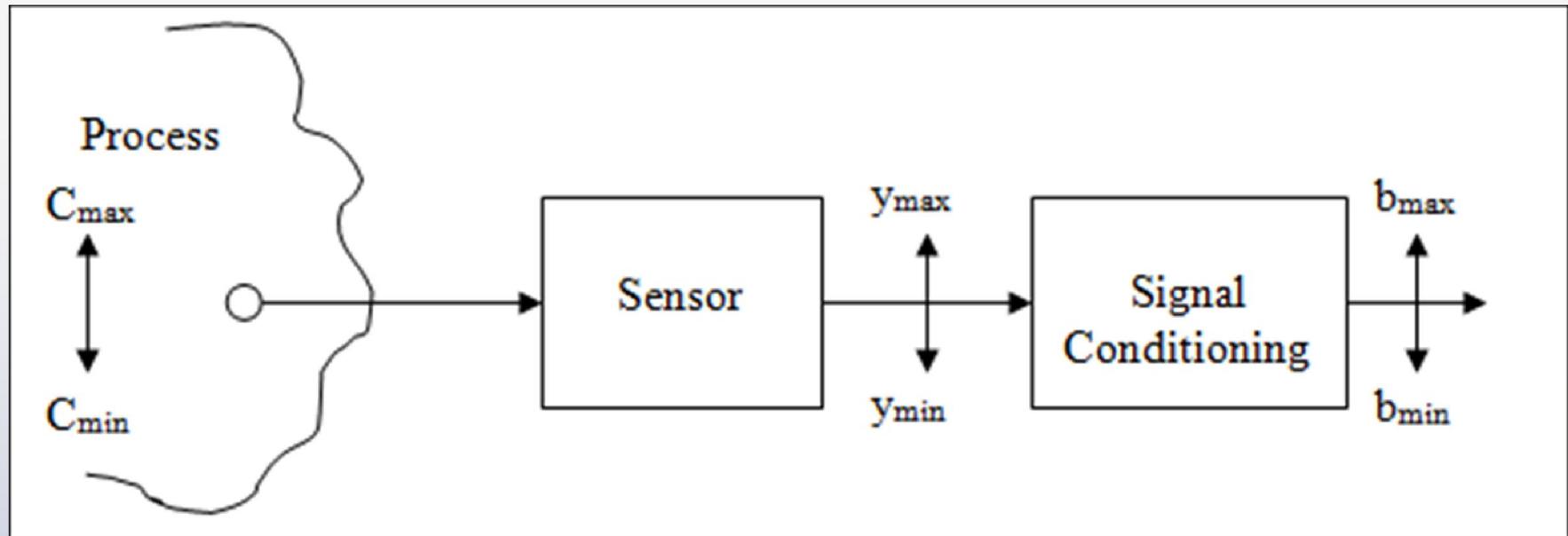
- Sinyal tidak sesuai
- Sinyal terlalu lemah
- Sinyal terdapat gangguan

Perlu ada pelakuan terhadap sensor tersebut :

- Amplified
- Ubah dalam format yang sesuai
- Di bersihkan dari gangguan



Signal Conditioning ialah operasi untuk mengkonversi sinyal ke dalam bentuk yang cocok untuk *interface* dengan elemen lain.



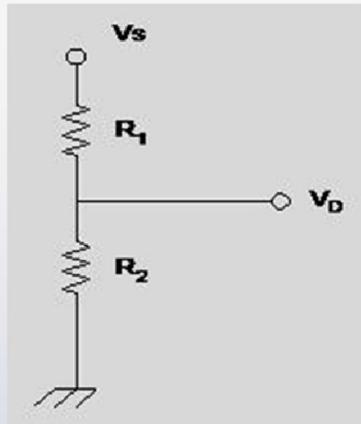
Analog Signal Conditioning

- **Perubahan Level Sinyal.** Misalnya dengan menguatkan atau melemahkan level tegangan. Faktor yang penting dalam pemilihan amplifier : Impedansi input.
- **Linearisasi.** Ada rangkaian analog yang berfungsi untuk melinearkan sinyal.
- **Konversi.** ASC berfungsi untuk mengubah bentuk perubahan elektrik tertentu ke bentuk lain. Misalnya banyak sensor yang menghasilkan perubahan resistansi akan diubah ke bentuk sinyal arus atau tegangan melalui rangkaian jembatan.
- ***Filtering dan Impedance Matching.*** ASC berguna untuk menghilangkan sinyal-sinyal yang tidak diinginkan pada frekuensi tertentu. ASC juga berguna untuk menghilangkan error akibat impedansi internal transducer atau impedansi *line* (kabel).



Rangkaian pembagi

Digunakan untuk mengkonversi perubahan resistansi menjadi perubahan tegangan



$$V_D = \frac{R_2 V_S}{R_1 + R_2}$$

V_S = tegangan catu

R_1, R_2 = resistansi pembagi tegangan

Baik R_1 maupun R_2 dapat berupa sensor, yang resistansinya berubah terhadap variabel yang diukur



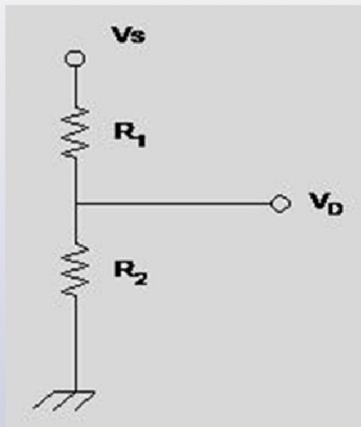
Hal yang perlu diperhatikan dalam Rangkaian Pembagi

- Perubahan V_D terhadap R_1 maupun R_2 tidaklah linier
- Impedansi keluaran efektif rangkaian adalah kombinasi paralel R_1 dan R_2
- Karena arus mengalir melalui kedua resistor, maka rating daya resistor maupun sensor harus diperhatikan



Misalkan

- Rangkaian pembagi tegangan dalam Gambar berikut mempunyai $R_1 = 10,0$ kilo ohm dan $V_S = 5,00$ V. Misalkan R_2 adalah sensor yang resistansinya berubah dari 4,00 sampai 12,0 kilo ohm terhadap suatu variabel dinamik. Berapa Nilai V_D minimum dan maksimum



Solusi

- R2 = 4 Kohm

$$V_D = \frac{R_2 V_s}{R_1 + R_2} \longrightarrow V_D = \frac{4 \times 5}{10 + 4} \quad V_D = \frac{20}{14}$$

$$V_D = 1,43 \text{ V}$$

- R2 = 12 Kohm

$$V_D = \frac{R_2 V_s}{R_1 + R_2} \quad V_D = \frac{12 \times 5}{10 + 12} \quad V_D = \frac{50}{12}$$

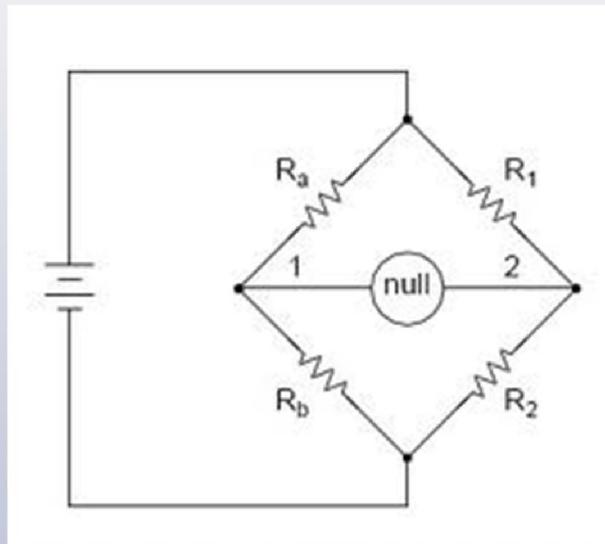
$$V_D = 2,73 \text{ V}$$

Jadi tegangan rangkaian pembagi tegangan tersebut berubah dari 1,43 V ke 2,73 V



Rangkaian Jembatan

- Berguna untuk mengkonversi perubahan impedansi menjadi perubahan tegangan.
- Keuntungannya ialah tegangan yang dihasilkan berada di sekitar nilai 0 volt, sehingga hanya dengan menguatkan tegangan akan menambah sensitivitas terhadap perubahan impedansi.



- Ketika tegangan antara titik 1 dan terminal negatif baterai adalah sama dengan tegangan antara titik 2 dengan terminal negatif baterai, maka detector akan menunjukkan angka nol dan jembatan dikatakan “seimbang”. Pada saat jembatan seimbang, analisa rangkaianannya adalah
- Karena jembatan seimbang, maka tegangan pada titik 1 sama dengan tegangan titik 2. Maka karena tegangannya sama, tidak akan ada arus yang mengalir di detektor, atau bisa dibilang titik 1 dan titik 2 adalah open circuit.



Syarat jembatan Seimbang

- $\frac{R_a}{R_b} = \frac{R_1}{R_2}$
- Percaya ? Atau perlu pembuktian!



Pembuktian

- Resistor R_a dan R_b dirangkai seri maka rangkaian penggantinya :
 $R_{s1} = R_a + R_b$
- Resistor R_1 dan R_2 dirangkai seri maka rangkaian penggantinya :
 $R_{s2} = R_1 + R_2$
- Karena tegangan E paralel dengan R_{s1} dan R_{s2} , maka
 - $V_{Rs1} = V_{Rs2} = E$
- Arus yang mengalir pada masing-masing cabang dapat dihitung
 - $I_1 = E / (R_a + R_b)$ dan
 - $I_2 = E / (R_1 + R_2)$

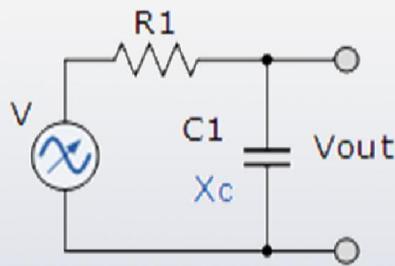


- Pada saat seimbang $V_1 = V_2$
 - $I_1 \times R_b = I_2 \times R_2$
- Dengan mensubsitusikan I_1 dan I_2 diperoleh
 - $(E) (R_b) / (R_a + R_b) = (E) (R_2) / (R_1 + R_2)$
 - $R_b / (R_a + R_b) = R_2 / (R_1 + R_2)$
 - $R_1 R_b + R_2 R_b = R_2 R_a + R_2 R_b$
 - $R_1 R_b = R_2 R_a$
 - $\frac{R_a}{R_b} = \frac{R_1}{R_2}$
- Sehingga : Keseimbangan jembatan ditentukan dari rasio R_a/R_b dan R_1/R_2 dan tidak dipengaruhi oleh sumber tegangan E (misal baterai).

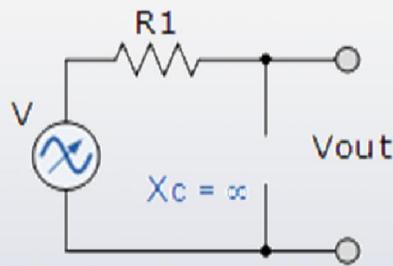


Filter

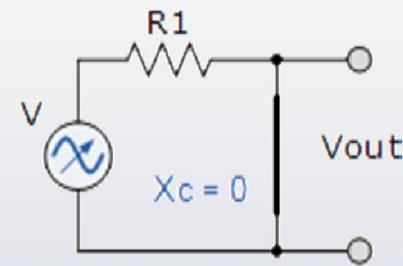
- Bertujuan untuk menghilangkan sinyal *noise* yang tidak diinginkan dengan menahan/ mengeblok kisaran frekuensi tertentu.



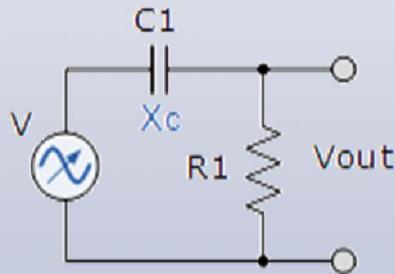
Low Pass at normal frequency



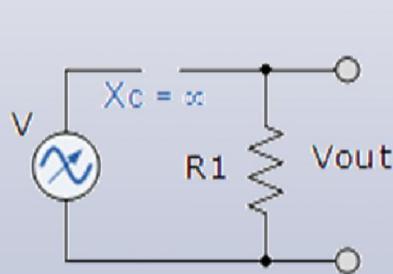
Low Pass at DC zero frequency



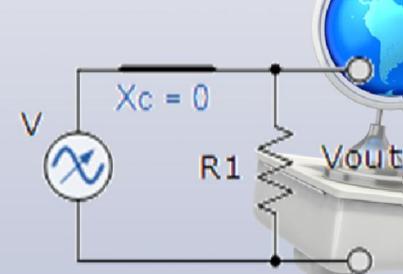
Low Pass at high frequency



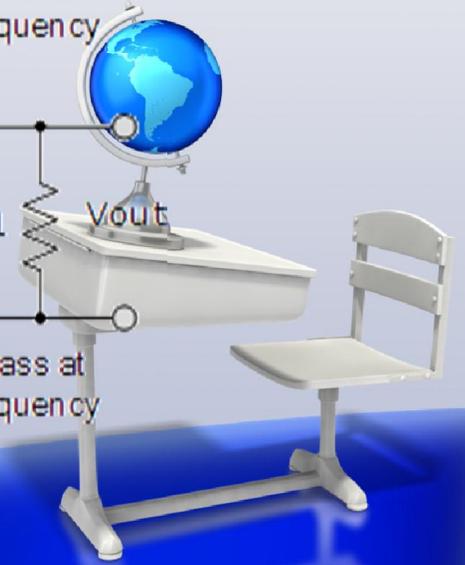
High Pass at normal frequency



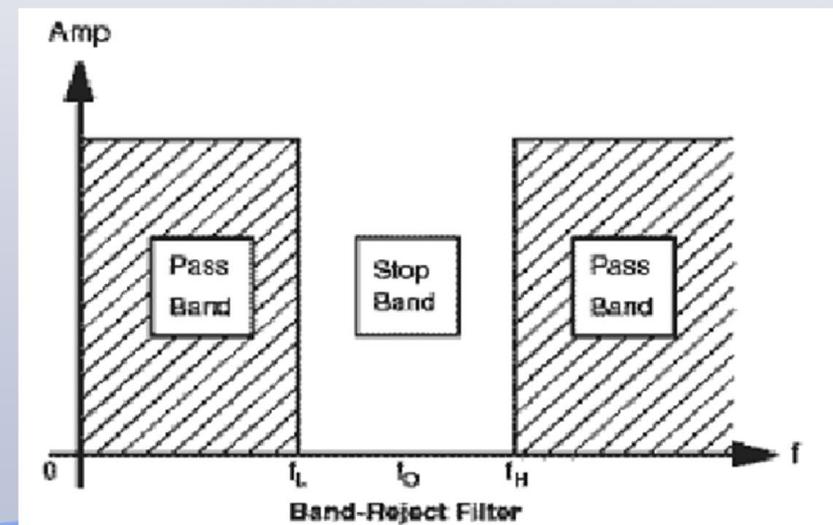
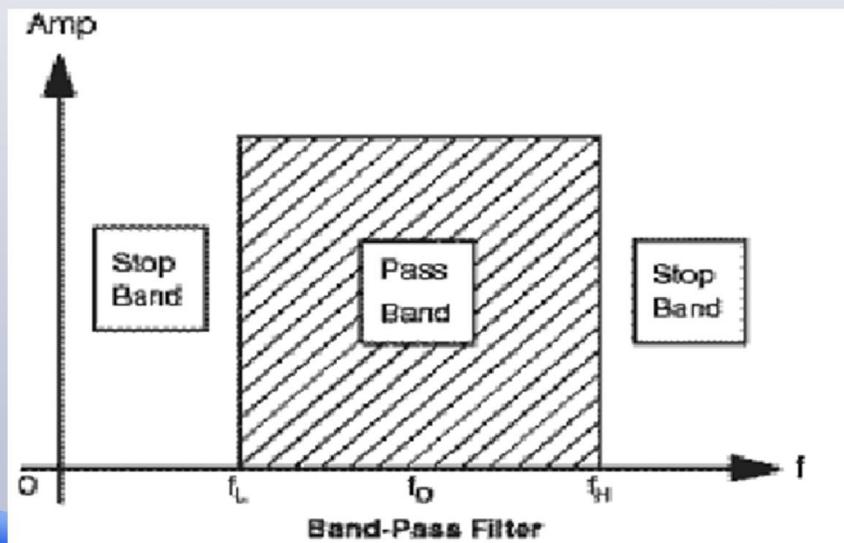
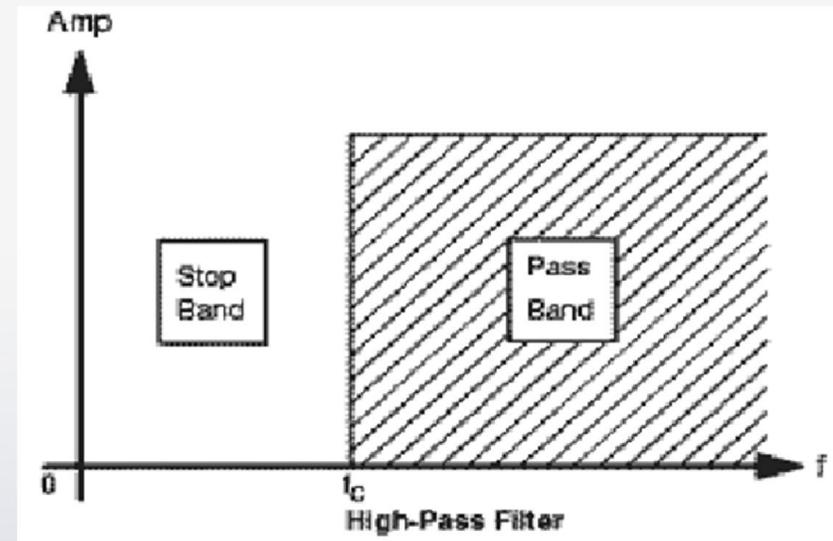
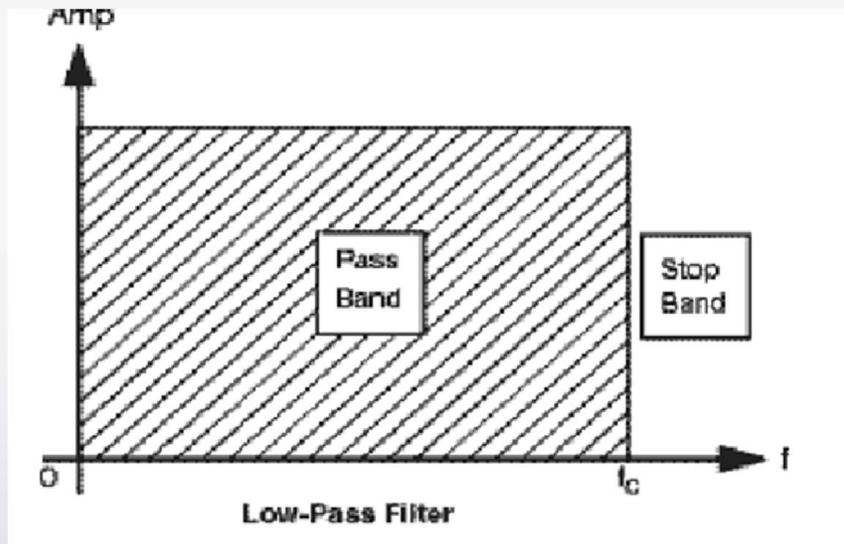
High Pass at DC zero frequency



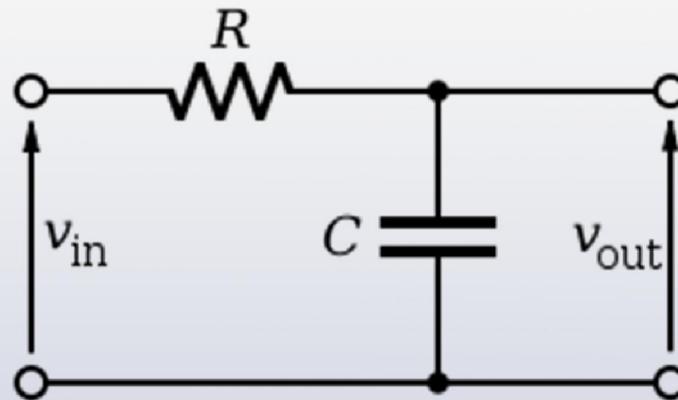
High Pass at high frequency



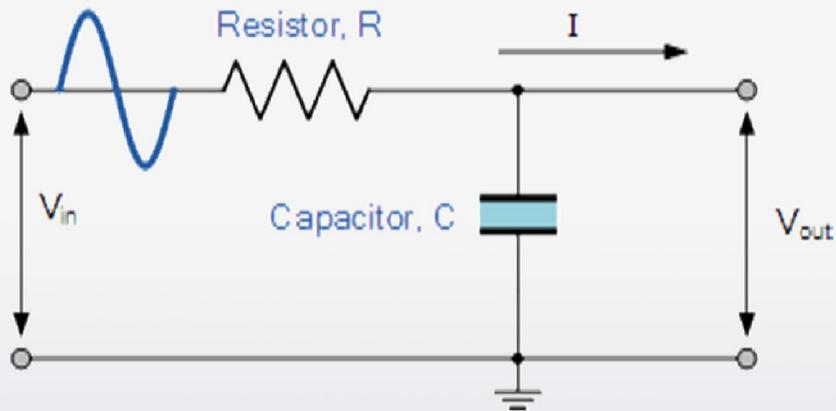
Frekuensi Respon ideal



- **Low Pass RC Filter** mengemblok frekuensi tinggi dan melewatkan frekuensi rendah.



persamaan

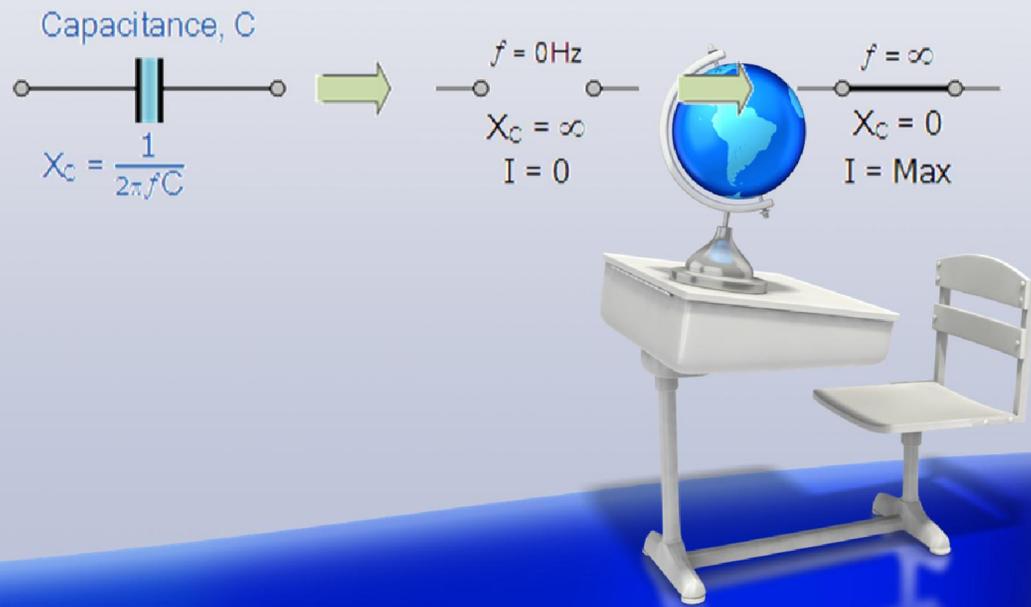


$$V_{out} = V_{in} \times \frac{X_C}{Z}$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C}$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2}$$

Capacitive Reactance



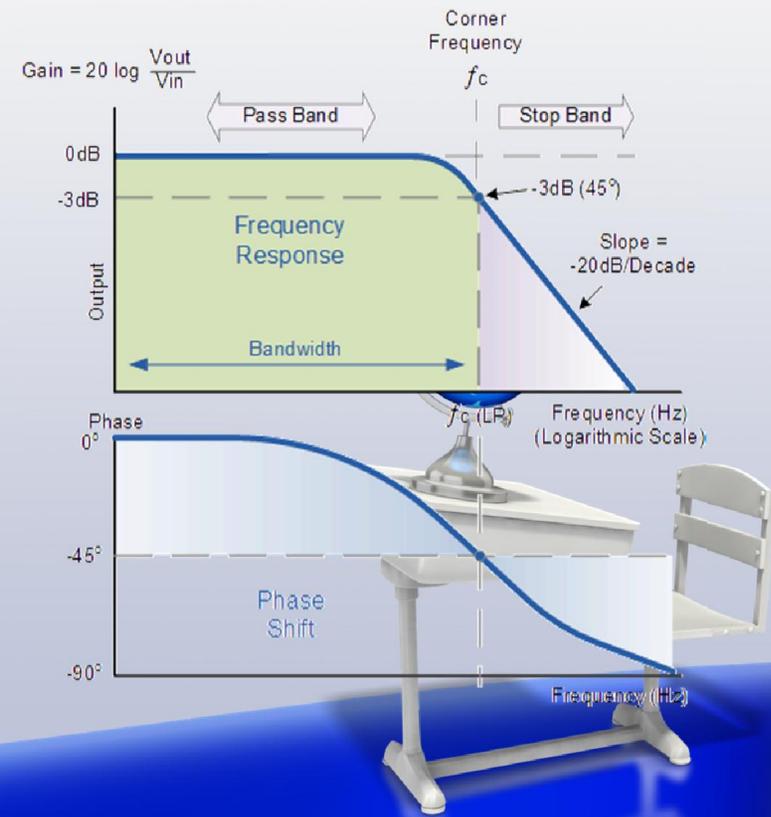
Contoh soal

- Low pass filter terdiri dari Resistor dengan nilai 4K7ohm dirangkai dengan kapasitor dengan nilai 47nF. Tegangan yang digunakan adalah 10 V. Hitung tegangan outputnya jika filter bekerja pada frekuensi 100Hz
- Jawab

$$V_{Out} = V_{in} \times \frac{X_C}{Z}$$

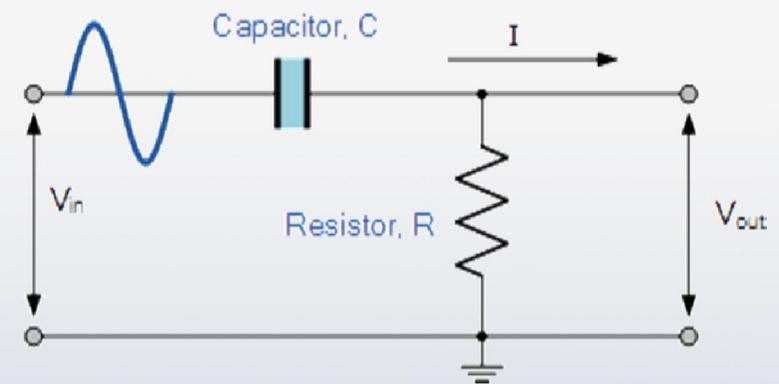
$$X_C = \frac{1}{2\pi f C}$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2}$$



High Pass RC Filter

- Memblok frekuensi rendah dan meloloskan frekuensi tinggi
- Prinsip kerja dari filter high pass adalah dengan memanfaatkan karakteristik dasar komponen C dan R,
- dimana C akan mudah melewatkan sinyal AC sesuai dengan nilai reaktansi kapasitifnya dan komponen R yang lebih mudah melewatkan sinyal dengan frekuensi yang rendah.

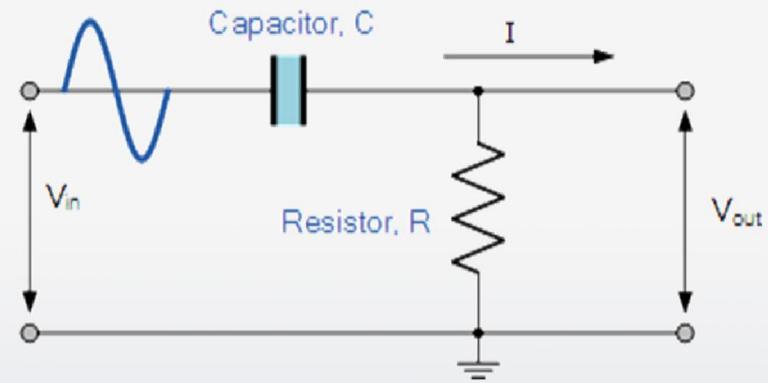


Persamaan

- Dengan melihat Frekuensi Cut off.

- $f_c = \frac{1}{2\pi RC}$

- $V_{out} = V_{in} \frac{R}{\sqrt{R^2 + X_C^2}}$



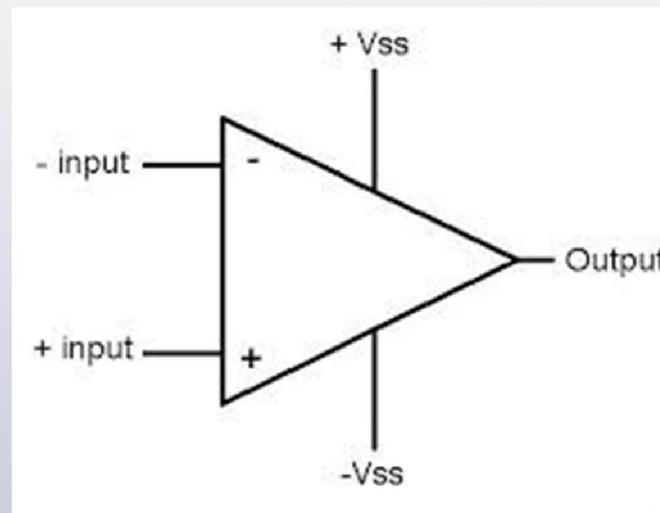
Op-Amp

- Operational Amplifier atau di singkat op-amp merupakan salah satu komponen analog yang sering digunakan dalam berbagai aplikasi rangkaian elektronika.
- Aplikasi op-amp yang paling sering dipakai antara lain adalah :
 - rangkaian inverter,
 - non-inverter,
 - integrator dan
 - differensiator

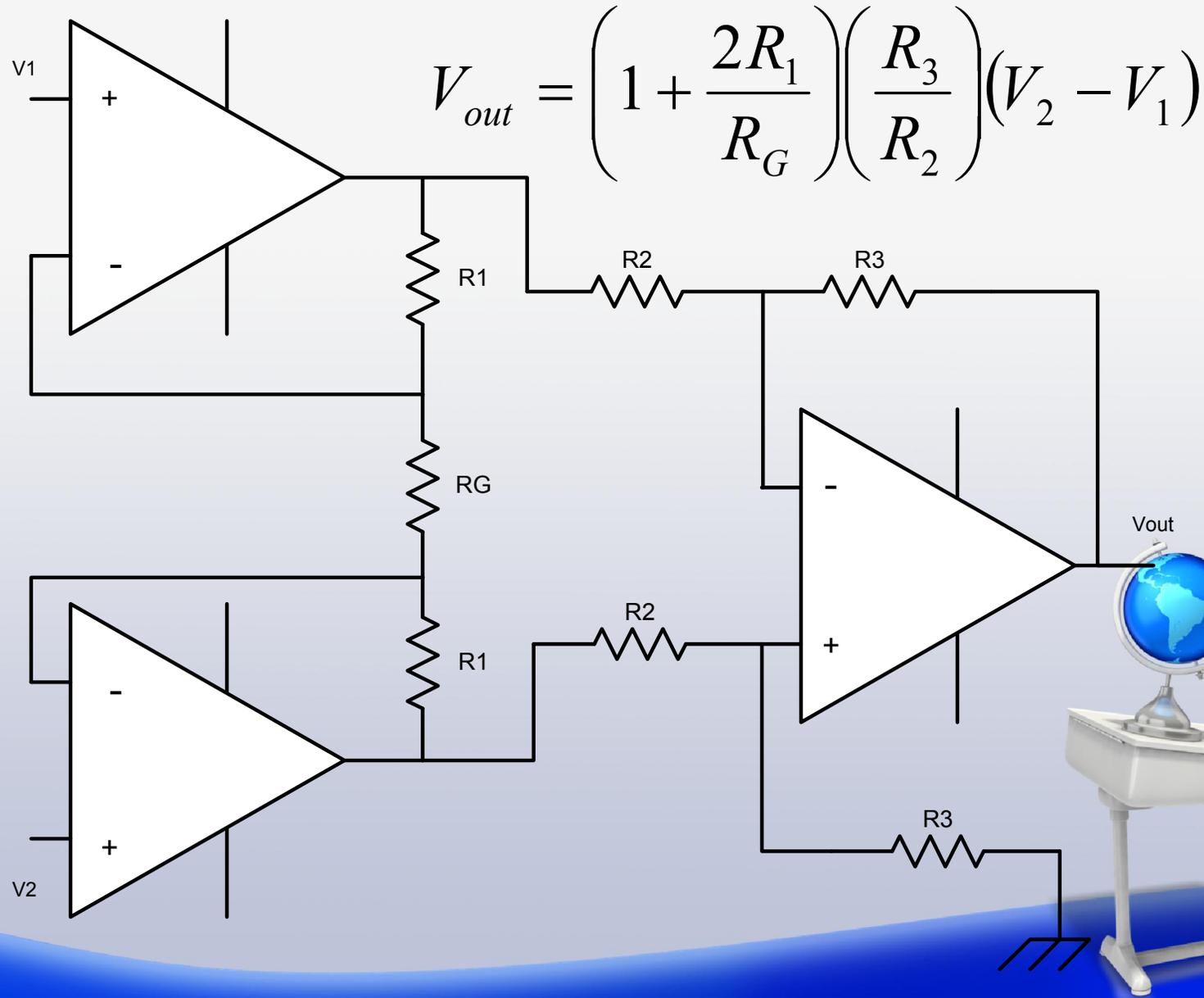


Op-Amp

- Memiliki 2 rangkaian feedback (umpan balik) yaitu feedback negatif dan feedback positif dimana Feedback negatif pada op-amp memegang peranan penting.
- Secara umum, umpanbalik positif akan menghasilkan osilasi sedangkan umpanbalik negatif menghasilkan penguatan yang dapat terukur.



Rangkaian Penguat Instrumentasi



ADC

Analog To Digital Converter (ADC) adalah pengubah input analog menjadi kode – kode digital.

ADC banyak digunakan sebagai Pengatur proses industri, komunikasi digital dan rangkaian pengukuran/ pengujian.

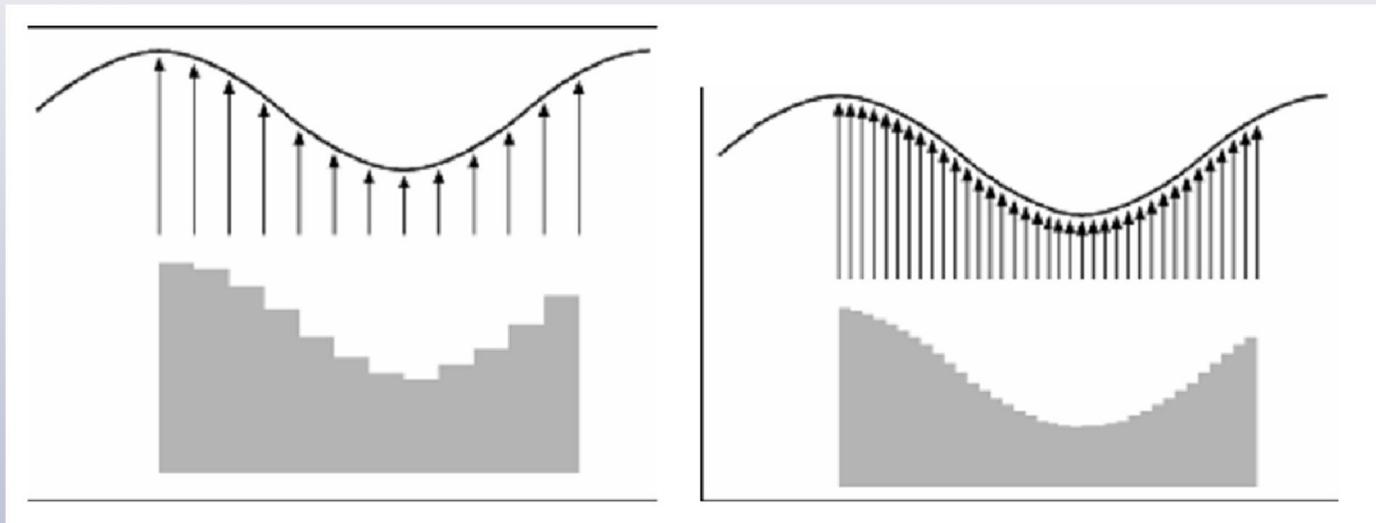
Umumnya ADC digunakan sebagai perantara antara sensor yang kebanyakan analog dengan sistim komputer seperti sensor suhu, cahaya, tekanan/ berat, aliran dan sebagainya kemudian diukur dengan menggunakan sistim digital (komputer).



KONVERTER ADC

ADC (Analog to Digital Converter) memiliki 2 karakter prinsip, yaitu kecepatan sampling dan resolusi.

Kecepatan sampling suatu ADC menyatakan seberapa sering sinyal analog dikonversikan ke bentuk sinyal digital pada selang waktu tertentu. Kecepatan sampling biasanya dinyatakan dalam sample per second (SPS).



Resolusi ADC menentukan ketelitian nilai hasil konversi ADC.

ADC 8 bit akan memiliki output 8 bit data digital, ini berarti sinyal input dapat dinyatakan dalam 255 ($2^n - 1$) nilai diskrit.

ADC 12 bit memiliki 12 bit output data digital, ini berarti sinyal input dapat dinyatakan dalam 4096 nilai diskrit.

Dari contoh diatas ADC 12 bit akan memberikan ketelitian nilai hasil konversi yang jauh lebih baik daripada ADC 8 bit.



Prinsip kerja ADC adalah mengkonversi sinyal analog ke dalam bentuk besaran yang merupakan rasio perbandingan sinyal input dan tegangan referensi.

Sebagai contoh, bila tegangan referensi 5 volt, tegangan input 3 volt, rasio input terhadap referensi adalah 60%.

Jadi, jika menggunakan ADC 8 bit dengan skala maksimum 255, akan didapatkan sinyal digital sebesar $60\% \times 255 = 153$ (bentuk decimal) atau 10011001 (bentuk biner).

$$\begin{aligned} \text{signal} &= (\text{sample}/\text{max_value}) * \text{reference_voltage} \\ &= (153/255) * 5 \\ &= 3 \text{ Volts} \end{aligned}$$





TERIMA KASIH

