Bab III

Operational Amplifier

3.1. Masalah Interfacing

Interfacing sebagai cara untuk menggabungkan antara setiap komponen sensor dengan pengontrol. Dalam diagram blok terlihat hanya berupa garis saja diantara kotak, tetapi pada kenyataannya sangat sukar untuk menyambungkan suatu sensor dengan pengontrol. Misalnya suatu sensor bekerja secara analog sedangkan pengontrol hampir sebagian besar adalah digital sehingga perlu interfacing dari analog ke digital. Masalah yang terjadi adalah resolusi alat, waktu konversi ke digital dan tegangan. Selain itu masalah lain adalah penyamaaan tegangan (voltage matching), sensor menghasilkan tegangan keluaran antara 0 – 5 V sedangkan pengkondisi sinyal atau pengontrol mensyaratkan teganan antara 0 – 10 V sehingga perlu interfacing sebagai penyesuai. Masalah lain adalah sensor tidak linier sehingga keluaran sensor tidak berbanding lurus dengan besaran yang diukur.

Beberapa kondisi mensyaratkan sinyal keluaran yang dihasilkan sensor tidak boleh ada yang hilang padahal setiap kabel memiliki tahanan listrik yang akan menyebabkan rugi-rugi daya. Masalah lain adalah alat listrik termasuk sensor tidak terlepas dari pengaruh gangguan berupa noise, sehingga perlu adanya interfacing yang dapat mengurangi pengaruh noise tersebut.

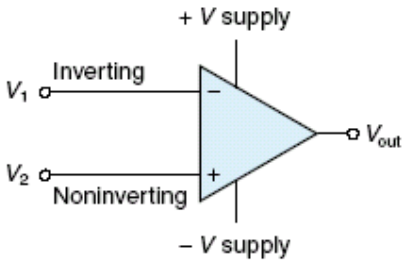
3.2. Operational Amplifier (Op-Amp)

Operational Amplifier adalah penguat linier yang biasanya dikemas di dalam suatu IC (Integrated Circuit). Satu IC bisa berisi satu atau empat Op-Amp biasanya. Operational amplifier merupakan penguat analog yang cukup baik karena memiliki karakteristik sebagai berikut:

1. Memiliki gain open loop yang sangat tinggi : A = 100.000
2. Tahanan input yang sangat tinggi : R_{in}> 1 MΩ
3. Tahanan output yang sangat rendah : R_{out} = 50 – 70 ohm

Karakteristik ini memudahkan perancangan misalnya kita dapat membuat penguat dengan gain open loop yang tinggi dan stabil antara 1 sampai 1000 atau lebih. Sedangkan keuntungan dari tahanan input yang sangat tinggi adalah Op-Amp menyita arus yang sangat kecil sehingga tidak membebani rangkaian yang dihubungkan ke input Op-Amp. Sedangkan tahanan output yang besar berarti Op-Amp dapat menggerakan beban tanpa terbebani.

Tapi Op-amp adalah penguat sinyal bukan penguat daya sehingga tidak dapat langsung dihubungkan ke beban dengan arus yang besar seperti loudspeaker atau motor secara langsung.



Gambar 3.1.

Gambar 3.1. memperlihatkan simbol dari Op-amp yang terdiri dari dua tegangan input (V_1 dan V_2) serta satu tegangan output (V_{out}). Selain itu diperlihatkan juga dua daya masukan (Vsupply). Pada Op-amp tidak ada

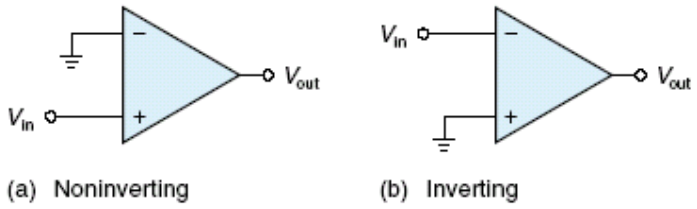
ground. Tegangan output dapat berkisar sampai 80% dari tegangan input. Hampir semua Op-Amp adalah penguat diffrensial artinya keluaranya merupakan perkalian dari selisih tegangan input seperti yang dituliskan pada persamaan di bawah ini

$V_{out} = A (V_2 – V_1)$

A adalah gain open loop
V_1 = inverting input
V_2 = non inverting input

Gain open loop adalah gain (penguat) dari Op-Amp sebelum dihubungkan dengan rangkaian tambahan besarnya sekitar 100.000 atau lebih. Sedangkan non inverting input adalah tegangan input yang sefasa dengan keluaran. Jika non inverting input positif maka keluaran akan menjadi positif. Sebaliknya terjadi pada inverting input. Tetapi secara serempak input dari Op-Amp hanya satu tegangan yaitu selisih dari V_1-V_2 pada persamaan tadi.

Bisa juga memang kalau kita ingin memasang satu input saja pada Op-Amp, misalanya bila kita menginginkan output dari Op-Amp sefasa dengan input maka kita dapat menghubungkan Input non inverting dengan tegangan input (Vin) dan input non inverting dengan ground (Gambar 3.2a). Jika ingin outputnya berlawanan fasa yaitu saat input negatif maka outputnya positif maka dapat dilakukan cara pada gambar 3.2 b

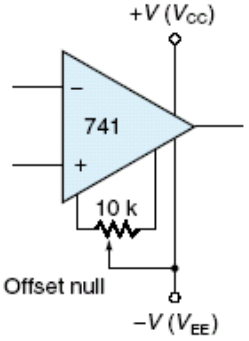


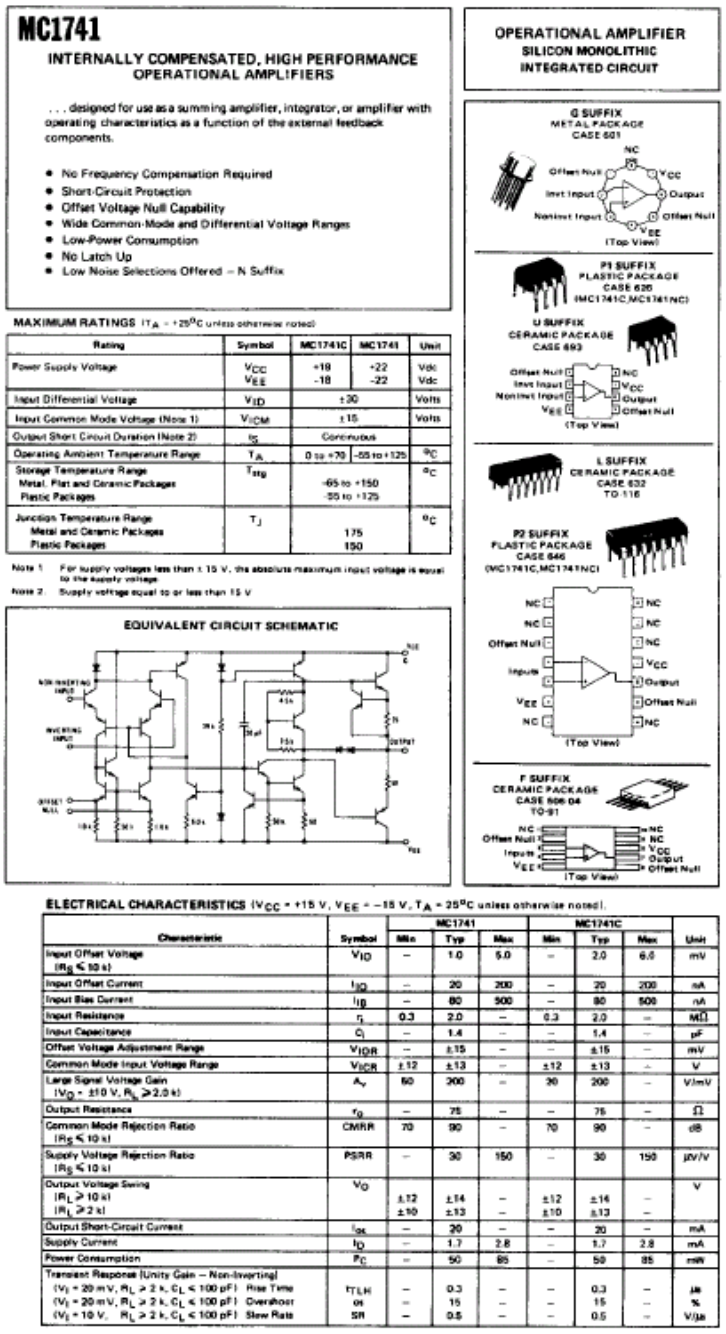
Gambar 3.2 Input tunggal

Banyak jenis Op-Amp yang ada dipasaran misalnya jenis general purpose, wide-bandwidth, low noise dan high frequency. Tapi untuk pengaturan biasanya penguat sinyal cukup menggunakan Op-Amp 741 (MC741) seperti yang diperlihatkan pada datasheet di gambar 3.3. Disamping pin untuk tegangan input dan tegangan output terdapat juga dua pin yang disebut offset null, kegunaan dari offset nul ini adalah seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.3 adalah untuk mengatur tegangan output naik atau turun agar bisa menghilangkan tegangan offset DC. Tegangan offset DC adalah tegangan kecil DC yang terjadi pada tegangan output saat selisih tegangan input nol. Seharusnya tegangan output juga nol, maka offset null ini digunakan untuk menolkan tegangan output.

Kalau melihat datasheet pada gambar 3.3. tertulis gain voltage adalah 50-200 V/mV. Ini berarti bila input yang masuk 1 mV maka keluaran dari Op-Amp sebesar 50V atau sebesar penguatan 50.000. Op-Amp 741 merupakan Op-Amp versi lama yang masih dipakai di laboratorium, sekarang ini sudah banyak tipe-tipe lain yang lebih canggih dan lebih baru misalnya LF355, LM308, LF411. LF411 memiliki tegangan input yang sangat tinggi dan tanpa tegangan offset. Hampir semua pengkondisi sinyal dapat dibuat dari Op-Amp. Beberapa pengkondisi sinyal akan dibahas pada bab ini

Data sheet for the 741 general-purpose op-amp. (Copyright © Semiconductor Components Industries, LLC. Used by permission.)





MC1741

INTERNALLY COMPENSATED, HIGH PERFORMANCE OPERATIONAL AMPLIFIERS

. . . designed for use as a summing amplifier, integrator, or amplifier with operating characteristics as a function of the external feedback components.

- No Frequency Compensation Required
- Short-Circuit Protection
- Offset Voltage Null Capability
- Wide Common-Mode and Differential Voltage Ranges
- Low-Power Consumption
- No Latch Up
- Low Noise Selections Offered — N Suffix

OPERATIONAL AMPLIFIER
SILICON MONOLITHIC
INTEGRATED CIRCUIT

G SUFFIX
METAL PACKAGE
CASE 601

P1 SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 626
(MC1741C,MC1741NC)

U SUFFIX
CERAMIC PACKAGE
CASE 693

L SUFFIX
CERAMIC PACKAGE
CASE 632
TO-116

P2 SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 646
(MC1741C,MC1741NC)

F SUFFIX
CERAMIC PACKAGE
CASE 606-04
TO-91

MAXIMUM RATINGS (T_A = +25°C unless otherwise noted)

Rating	Symbol	MC1741C	MC1741	Unit
Power Supply Voltage	V_{CC} V_{EE}	+18 -18	+22 -22	Vdc Vdc
Input Differential Voltage	V_{ID}	±30		Volts
Input Common Mode Voltage (Note 1)	V_{ICM}	±15		Volts
Output Short Circuit Duration (Note 2)	t_S	Continuous		
Operating Ambient Temperature Range	T_A	0 to +70	-55 to +125	°C
Storage Temperature Range Metal, Flat and Ceramic Packages Plastic Packages	T_{stg}	-65 to +150 -55 to +125		°C
Junction Temperature Range Metal and Ceramic Packages Plastic Packages	T_J	175 150		°C

Note 1. For supply voltages less than ± 15 V, the absolute maximum input voltage is equal to the supply voltage.
Note 2. Supply voltage equal to or less than 15 V

EQUIVALENT CIRCUIT SCHEMATIC

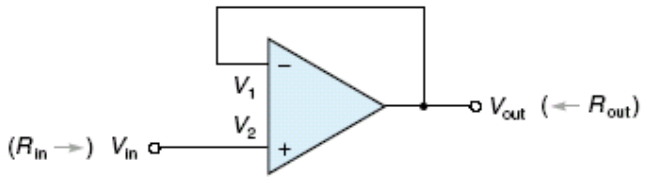
ELECTRICAL CHARACTERISTICS (V_{CC} = +15 V, V_{EE} = −15 V, T_A = 25°C unless otherwise noted.)

Characteristic	Symbol	MC1741 Min	MC1741 Typ	MC1741 Max	MC1741C Min	MC1741C Typ	MC1741C Max	Unit
Input Offset Voltage ($R_S \leq 10$ k)	V_{IO}	–	1.0	5.0	–	2.0	6.0	mV
Input Offset Current	I_{IO}	–	20	200	–	20	200	nA
Input Bias Current	I_{IB}	–	80	500	–	80	500	nA
Input Resistance	r_i	0.3	2.0	–	0.3	2.0	–	MΩ
Input Capacitance	C_i	–	1.4	–	–	1.4	–	pF
Offset Voltage Adjustment Range	V_{IOR}	–	±15	–	–	±15	–	mV
Common Mode Input Voltage Range	V_{ICR}	±12	±13	–	±12	±13	–	V
Large Signal Voltage Gain (V_O = ±10 V, $R_L \geq 2.0$ k)	A_v	50	200	–	20	200	–	V/mV
Output Resistance	r_o	–	75	–	–	75	–	Ω
Common Mode Rejection Ratio ($R_S \leq 10$ k)	CMRR	70	90	–	70	90	–	dB
Supply Voltage Rejection Ratio ($R_S \leq 10$ k)	PSRR	–	30	150	–	30	150	μV/V
Output Voltage Swing ($R_L \geq 10$ k) ($R_L \geq 2$ k)	V_O	±12 ±10	±14 ±13	– –	±12 ±10	±14 ±13	– –	V
Output Short-Circuit Current	I_{OS}	–	20	–	–	20	–	mA
Supply Current	I_D	–	1.7	2.8	–	1.7	2.8	mA
Power Consumption	P_C	–	50	85	–	50	85	mW
Transient Response (Unity Gain — Non-Inverting) (V_I = 20 mV, $R_L \geq 2$ k, $C_L \leq 100$ pF) Rise Time (V_I = 20 mV, $R_L \geq 2$ k, $C_L \leq 100$ pF) Overshoot (V_I = 10 V, $R_L \geq 2$ k, $C_L \leq 100$ pF) Slew Rate	t_{TLH} os SR	– – –	0.3 15 0.5	– – –	– – –	0.3 15 0.5	– – –	μs % V/μs

Gambar 3.3. Data Sheet Op-Amp 741

3.2.1. Voltage Follower (Pengikut Tegangan)

Rangkaian Voltage Follower berguna untuk meningkat arus tanpa mengubah tegangannya. Digunakan untuk mengubah sinyal berimpedansi tinggi (mudah terbebani) menjadi sinyal berimpedansi rendah (sukar terbebani) yang kokoh (robust). Gain tegangannya 1.



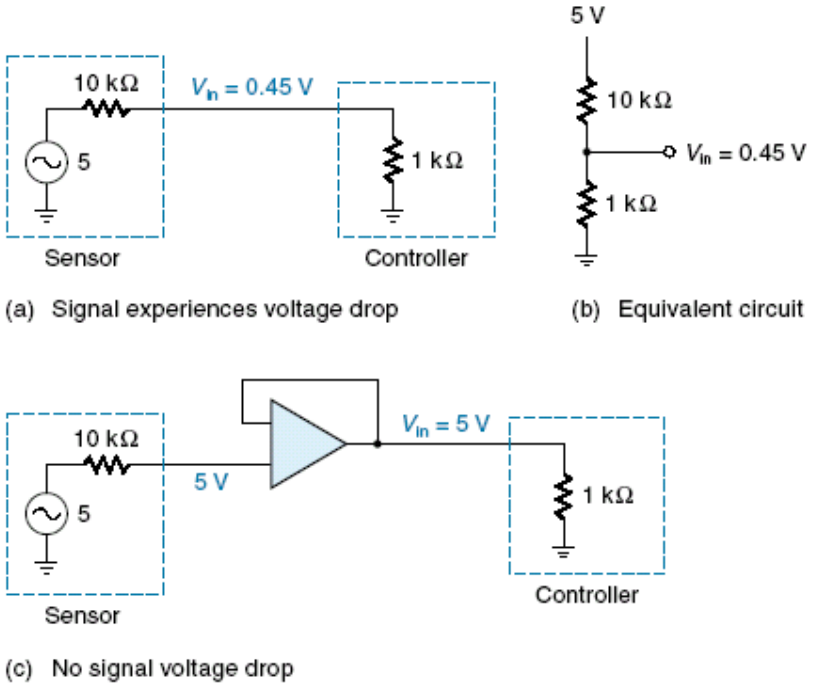
Gambar 3.4. Voltage Follower

R_{in} adalah tahananan yang sangat besar dan R_{out} adalah tahananan yang sangat kecil. Kembali ke persamaan awal saat Vout sama dengan V1 maka persamaan awal menjadi :

$V_{out} = A(V_2-V_{out})$ sehingga bila V_{out} yang dicari maka persamaan menjadi

$$Vout = \frac{AV_2}{1+A} \approx V_2$$

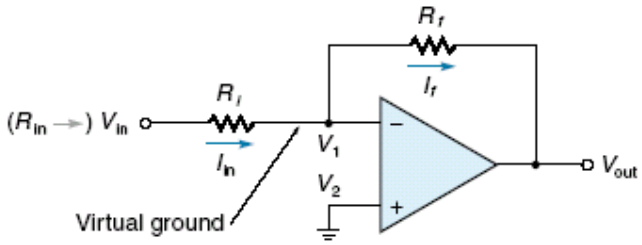
dengan V_2 adalah V_{in} jadi $V_{out} = V_{in}$. Gambar 3.5a memperlihatkan sensor yang mengalami beban turun saat dihubungkan dengan pengatur (controller) sehingga tegangan yang diterima pengatur lebih rendah. Sedangkan Gambar 3.5c memperlihatkan pemasangan voltage follower yang menyebabkan tidak adanya pembebanan turun.



Gambar 3.5. Pemasangan voltage follower untuk mencegah tegangan drop

3.2.2. Inverting Amplifier (Penguat Inverting)

Penguat inverting adalah penguat yang paling sering digunakan. Rangkaiannya hanya memerlukan dua tahanan yaitu R_i dan R_f. Saat tegangan input positif masuk hasilnya akan dikuatkan tetapi dengan fasa yang berbeda yaitu menjadi negatif.



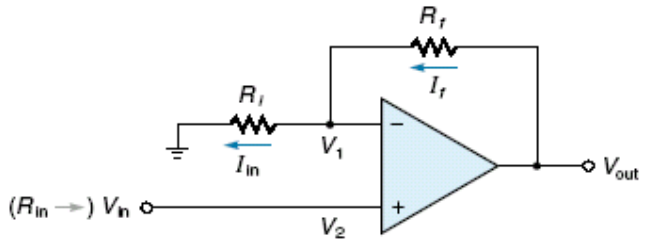
Gambar 3.6. Penguat Inverting

Semua arus I_{in} hanya melewati R_i dan I_{in} besarnya sama dengan I_f. Dengan hukum kirchoff dapat dicari persamaan tegangan keluaran sebagai berikut:

Vout = -(Rf/Ri) Vin

3.2.3. Non Inverting Amplifier (Penguat non inverting)

Penguat noninverting mirip dengan penguat inverting tetapi fasa dari tegangan input akan sama dengan fasa tegangan output. Biasanya penguat non inverting lebih sering dipakai saat dihubungkan dengan pengatur.



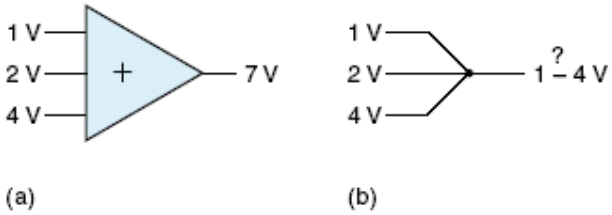
Gambar 3.7. Penguat Non inverting

Hubungan antara tegangan output dan tegangan input dinyatakan dengan persamaan ini

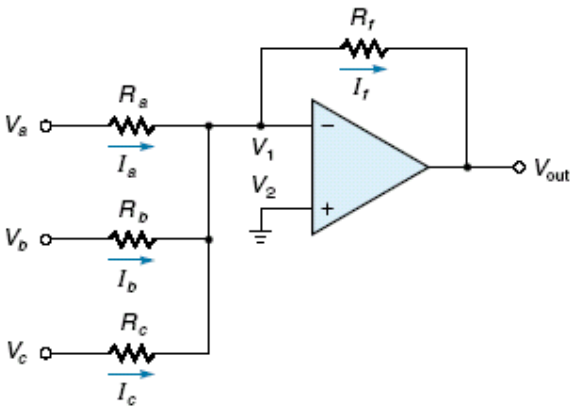
$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{R_f}{R_i} + 1$$

3.2.4. Summing Amplifier (Penjumlah)

Summing Amplifier digunakan sebagai penjumlah tegangan. Summing amplifier dapat digunakan untuk menjumlah tegangan dari beberapa sumber yang memiliki arus yang berbeda. Menjumlahkan ini tidak mudah, bila kita menghubungkan tiga kabel biasa dengan tegangan 1 V, 2 V dan 4 Volt Gambar 3.8.b hasilnya tidak 7 Volt karena tergantung dari kabel yang memiliki tahanan terkecil, mungkin antara 1 – 4 Volt



Gambar 3.8 ilustrasi penjumlahan tegangan

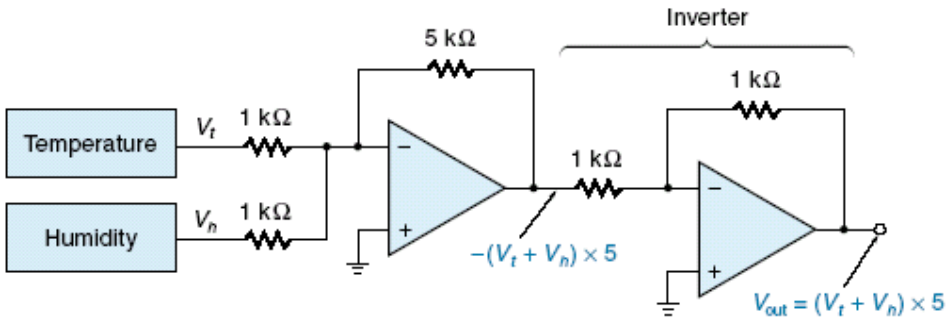


Gambar 3.9. Summing Amplifier

Persamaan tegangan keluaran ditentukan sebagai berikut:

$$V_{out} = -\left(\frac{R_f}{R_a}V_a + \frac{R_f}{R_b}V_b + \frac{R_f}{R_c}V_c\right)$$

Misalkan sebuah air conditioning akan dinyalakan jika jumlah tegangan dari sensor temperatur dan kelembaban (humadity) lebih dari 1 V. Tetapi air conditioning memiliki batas tegangan minimum 5 Volt untuk meng-on kannya maka dibuat rangkaian yang terdiri dari summing amplifier dan penguat inverting seperti gambar di bawah ini (Gambar 3.10)



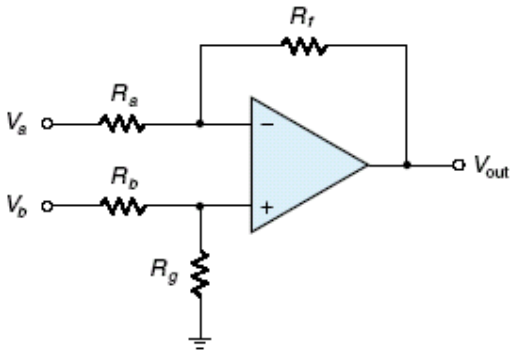
Gambar 3.10 Penyalaan Air conditioning (AC) dengan bantuan summing amplifier dan penguat inverting

3.2.5. Differential Amplifier

Differential Amplifier merupakan amplifier yang digunakan untuk mencari selisih tegangan dari dua sinyal yang masuk. Persamaan tegangan outputnya dinyatakan sebagai berikut:

$$V_{out} = \frac{R_f}{R_a}(V_b - V_a)$$

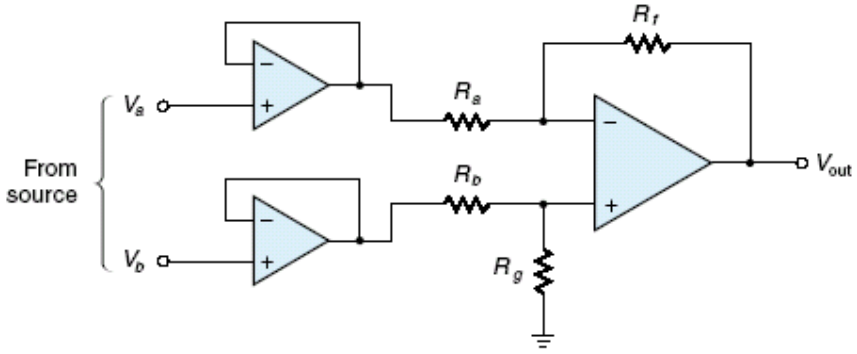
Tegangan Output merupakan tegangan tunggal yang mengacu pada ground biasanya disebut single-ended-voltage



Gambar 3.11. Differential Amplifier

3.2.6. Instrumentation Amplifier

Instrumentation Amplifier adalah jenis Differential Amplifier yang pada inputnya dihubungkan dengan sebuah voltage follower. Kegunaan dari voltage follower ini adalah : (1) meningkatkan tahanan input sehingga sumber (seperti sensor) tidak mengalami beban turun (2) membuat kedua tahanan input sama (3) Penguatan tidak ditentukan oleh tahanan dari sumber

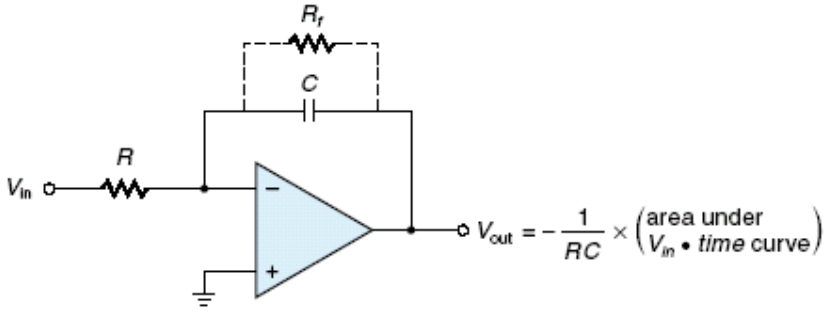


Gambar 3.12 Instrumentation Amplifier

Salah satu contoh adalah instrumentation amplifier dari Burr-Brown PGA204 yang gainnya dapat diatur menggunakan input digital, jenis ini disebut programmable gain instrumentation amplifier (Gambar 3.14)

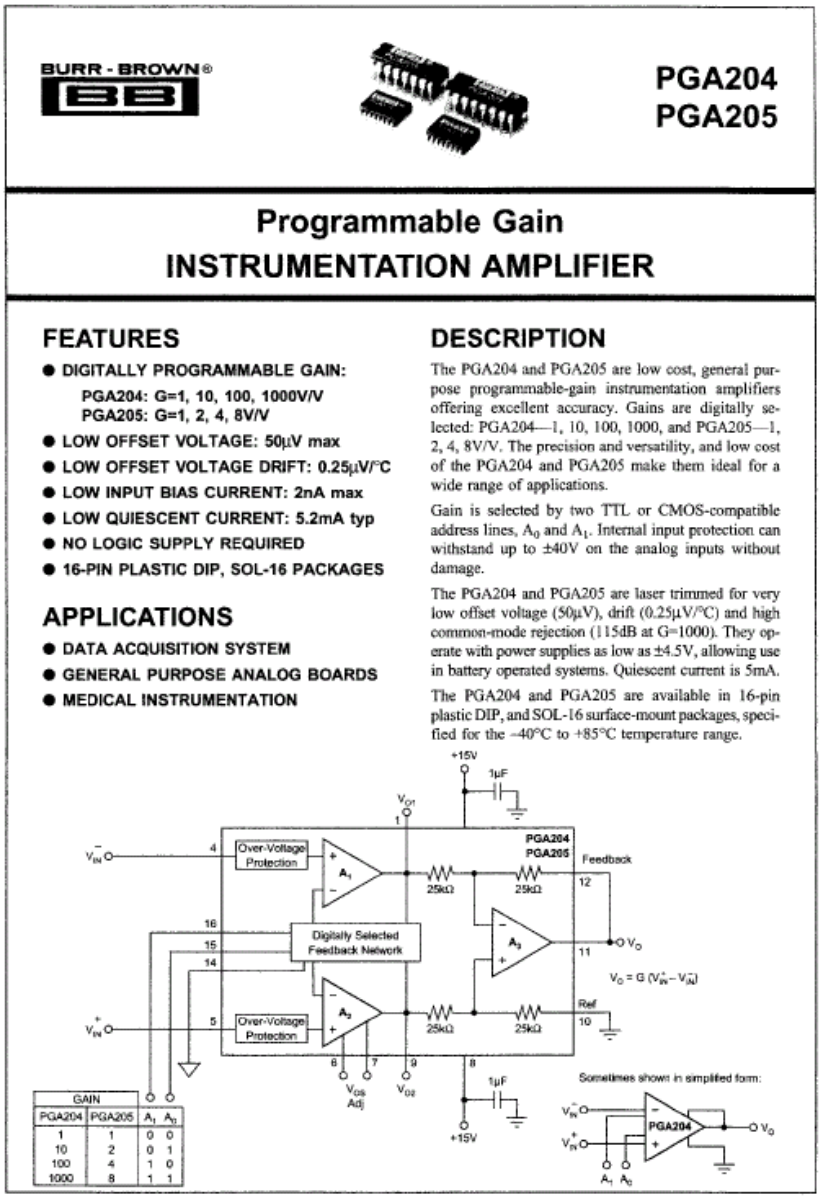
3.2.7. Integrator Amplifier dan Differentiator Amplifier

Op-Amp dapat digunakan sebagai integrator maupun sebagai differensiator dari suatu bentuk gelombang. Biasanya digunakan pada pengatur analog.



Gambar 3.13. Integrator Amplifier

Data sheet for the PGA204 instrumentation amplifier. (Courtesy of Burr-Brown Corp.)



BURR - BROWN®

PGA204
PGA205

Programmable Gain INSTRUMENTATION AMPLIFIER

FEATURES

- DIGITALLY PROGRAMMABLE GAIN:
  - PGA204: G=1, 10, 100, 1000V/V
  - PGA205: G=1, 2, 4, 8V/V
- LOW OFFSET VOLTAGE: 50µV max
- LOW OFFSET VOLTAGE DRIFT: 0.25µV/°C
- LOW INPUT BIAS CURRENT: 2nA max
- LOW QUIESCENT CURRENT: 5.2mA typ
- NO LOGIC SUPPLY REQUIRED
- 16-PIN PLASTIC DIP, SOL-16 PACKAGES

APPLICATIONS

- DATA ACQUISITION SYSTEM
- GENERAL PURPOSE ANALOG BOARDS
- MEDICAL INSTRUMENTATION

DESCRIPTION

The PGA204 and PGA205 are low cost, general purpose programmable-gain instrumentation amplifiers offering excellent accuracy. Gains are digitally selected: PGA204—1, 10, 100, 1000, and PGA205—1, 2, 4, 8V/V. The precision and versatility, and low cost of the PGA204 and PGA205 make them ideal for a wide range of applications.

Gain is selected by two TTL or CMOS-compatible address lines, A_0 and A_1. Internal input protection can withstand up to ±40V on the analog inputs without damage.

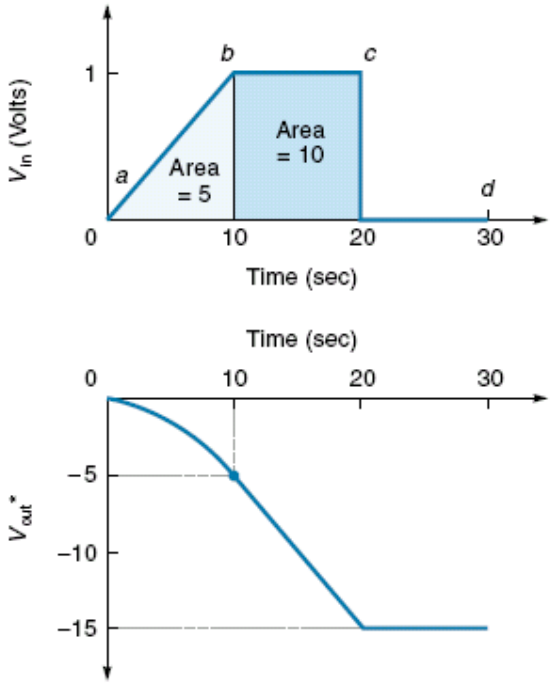
The PGA204 and PGA205 are laser trimmed for very low offset voltage (50µV), drift (0.25µV/°C) and high common-mode rejection (115dB at G=1000). They operate with power supplies as low as ±4.5V, allowing use in battery operated systems. Quiescent current is 5mA.

The PGA204 and PGA205 are available in 16-pin plastic DIP, and SOL-16 surface-mount packages, specified for the –40°C to +85°C temperature range.

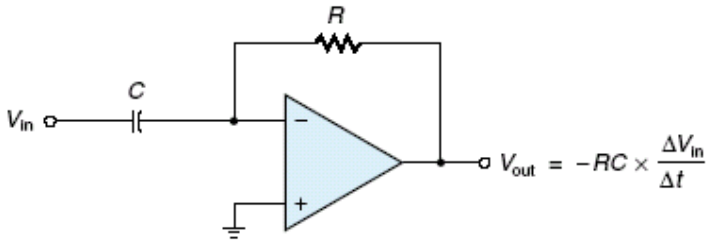
GAIN			
PGA204	PGA205	A_1	A_0
1	1	0	0
10	2	0	1
100	4	1	0
1000	8	1	1

Gambar 3.14. Data Sheet Instrumentation Amplifier dari Burr-Brown PGA 204

Pada integrator amplifier tegangan outputnya berupa luas dari di bawah bentuk gelombang dari sinyal input seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.15. Sedangkan sebagai differensiator amplifier, tegangan output sebanding dengan laju dari perubahan (kemiringan) tegangan input



Gambar 3.15 Hasil keluaran dari integrator amplifier



Gambar 3.16 Differentiator Amplifier