

2.4 OPERASIONAL AMPLIFIER

Seperti dibahas dalam bagian 2.2, ada banyak macam syarat untuk pengkondisi sinyal dalam kontrol proses. Dalam bagian 2.3 dianggap dua hal umum, rangkaian pasif yang dapat memberikan operasi sinyal yang diperlukan, jembatan dan potensiometer. Detektor yang digunakan dalam rangkaian jembatan dan potensiometer yang digunakan dalam sistem kontrol proses terdiri dari tabung dan rangkaian transistor. Dalam kasus lain dimana transformasi impedansi, amplifikasi, dan operasi lain yang diperlukan, rangkaian dirancang bergantung pada komponen elektronik diskrit. Dengan kemajuan yang luar biasa dalam bidang elektronik dan *integrated circuit* (IC), syarat untuk mengimplementasikan desain dari komponen-komponen diskrit telah memberikan cara menuju metode yang lebih mudah dan lebih handal untuk pengkondisi sinyal. Banyak rangkaian khusus dan amplifier untuk tujuan umum sekarang berada dalam paket *Integrated Circuit* (IC) menghasilkan solusi yang cepat untuk masalah-masalah pengkondisi sinyal bersama dengan ukuran kecil, konsumsi daya rendah, dan harganya murah.

Secara umum, aplikasi dari IC memerlukan pengetahuan tentang jalur yang tersedia dari peralatan yang demikian, spesifikasi dan batasannya, sebelum dapat diaplikasikan untuk masalah khusus. Terpisah dari IC-IC yang dikhususkan ada juga tipe dari amplifier yang mendapatkan aplikasi yang luas seperti blok pembentuk dari aplikasi pengkondisi sinyal. Peralatan ini, disebut operasi amplifier (op amp), telah ada selama bertahun-tahun, awalnya dibuat dari tabung, kemudian transistor diskrit, dan sekarang *integrated circuit*. Meski banyak jalur dari op amp dengan bermacam spesifikasi khusus ada dari beberapa pabrik, semuanya memiliki karakteristik umum dalam operasi yang dapat dipakai dalam rancangan dasar berkaitan dengan op amp umum.

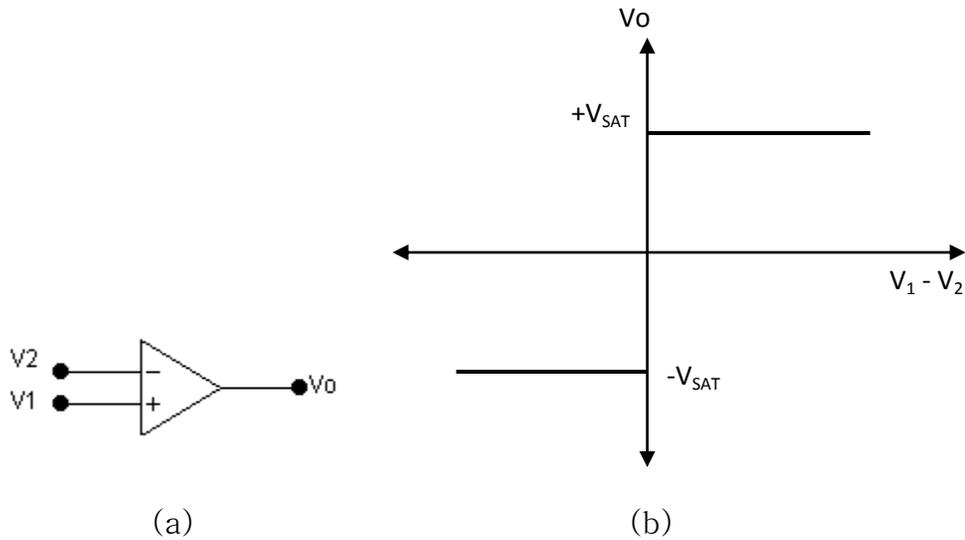
2.4.1 Karakteristik Op Amp

Dengan sendirinya, op amp adalah amplifier elektronik yang sangat sederhana dan nampak tak berguna. Dalam Gambar 2.11a kita dapat lihat simbol standar dari op amp dengan penandaan input (+) dan input (-), dan output. Input (+) juga disebut input noninverting (tidak membalik) dan (-) input inverting (membalik). Hubungan dari input op amp dan output sungguh sangat sederhana, seperti yang terlihat dengan menganggap dari deskripsi idealnya.

OP AMP IDEAL

Untuk menjelaskan respon dari op amp ideal, kita menamai V_1 tegangan pada input (+), V_2 tegangan pada terminal input (-), dan V_0 tegangan output. Idealnya, jika $V_1 > V_2$ adalah positif ($V_1 > V_2$), maka V_0 saturasi positif. Jika $V_1 < V_2$ adalah negatif ($V_2 > V_1$), maka V_0 saturasi negatif seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.11b. Input (-) disebut input inverting. Jika tegangan dalam input ini adalah lebih positif dibandingkan pada input (+), output saturasi negatif. Amplifier ideal ini mempunyai gain tak terbatas karena perbedaan yang sangat kecil antara V_1 dan V_2 hasilnya adalah output saturasi.

Karakteristik lain dari op amp adalah (1) impedansi tak terhingga antar input-inputnya dan (2) impedansi output zero. Pada dasarnya, op amp adalah peralatan yang mempunyai hanya dua keadaan output, $+V_{sat}$ dan $-V_{sat}$. Dalam praakteknya, peralatan ini selalu digunakan dengan umpanbalik dari output ke input. Umpanbalik seperti ini menghasilkan implementasi dari berbagai hubungan khusus antara tegangan input dan output.



Gambar 2.11 Op amp. (a) Simbol. (b) Karakteristik ideal dari sebuah op amp

AMPLIFIER INVERTING IDEAL

Untuk melihat bagaimana op amp digunakan, perhatikan rangkaian pada Gambar 2.12. Disini resistor R2 digunakan untuk umpan balik output ke input inverting dari op amp dan R1 menghubungkan tegangan input V_{in} dengan titik yang sama ini. Hubungan bersama disebut titik penjumlahan (*summing point*). Dapat dilihat bahwa dengan tanpa umpanbalik dan (+) digroundkan, $V_{in} > 0$ menjadikan output saturasi negatif, sedangkan $V_{in} < 0$ menjadikan output saturasi positif. Dengan umpanbalik, output menyesuaikan dengan tegangan sedemikian hingga:

1. Tegangan *summing point* sama dengan level input (+) op amp, dalam keadaan ini adalah nol/zero.
2. Tidak ada aliran arus melalui terminal-terminal input op amp karena anggapan impedansi tak hingga.

Dalam keadaan ini, jumlah dari arus pada summing point harus nol.

$$I_1 + I_2 = 0 \quad (2-24)$$

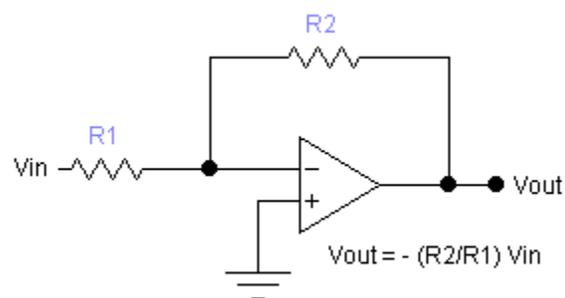
Karena tegangan pada summing point dianggap nol, kita mempunyai

$$\frac{V_{in}}{R_1} + \frac{V_{out}}{R_2} = 0 \quad (2-25)$$

dari Persamaan (2-25), kita dapat menuliskan respon rangkaian sebagai

$$V_{out} = - \frac{R_2}{R_1} V_{in} \quad (2-26)$$

Jadi, rangkaian pada Gambar 2.12 adalah amplifier inverting dengan gain R_2/R_1 yang digeser 180° dalam fase (terbalik) dari input. Alat ini juga merupakan attenuator dengan menjadikan $R_2 < R_1$.



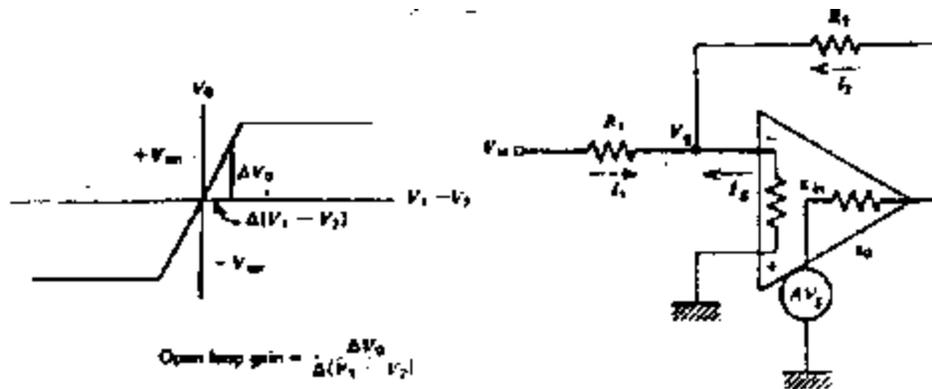
Gambar 2.12 Amplifier inverting

Pendekatan serupa dapat dipakai untuk analisis ideal dari banyak rangkaian op amp yang lainnya dimana langkah (1) dan (2), yang diberikan diatas, membawa kepada persamaan-persamaan seperti Persamaan (2-24) dan (2-25). Akan tetapi, harus kita perhatikan bahwa amplifier inverting dari Gambar 2.12 mempunyai impedansi input R_1 yang, secara umum, bisa tidak tinggi. Sehingga, meskipun didukung dengan sifat dari gain variabel atau attenuasi, rangkaian ini tidak mempunyai impedansi input yang tinggi.

EFEK-EFEK NONIDEAL

Analisis dari rangkaian op amp dengan respons nonideal dilakukan dengan memperhatikan parameter-parameter berikut:

1. Gain open loop berhingga. Op amp yang sebenarnya mempunyai gain tegangan seperti ditunjukkan oleh respons amplifier dalam Gambar 2.13a. Gain tegangan dinyatakan sebagai perubahan dalam tegangan output, ΔV_o , dihasilkan dengan perubahan dalam tegangan input differensial $\Delta[V_1 - V_2]$.
2. Impedansi input berhingga. Op amp yang sebenarnya mempunyai impedansi input dan, sebagai konsekuensi, tegangan berhingga dan arus melalui terminal input.
3. Impedansi output tidak nol. Op amp yang sebenarnya mempunyai impedansi output tidak nol, meskipun impedansi output rendah ini khususnya hanya beberapa ohm.



a) Karakteristik nonideal op amp

b) Efek-efek nonideal

Gambar 2.13 Tipe-tipe efek nonideal dalam analisis op amp dan rangkaian

Dalam aplikasi modern efek nonideal ini dapat diabaikan dalam desain rangkaian op amp. Contohnya, anggap rangkaian dari Gambar 2.13b dimana impedansi berhingga dan gain dari op amp adalah sudah termasuk. Kita dapat menggunakan analisis rangkaian standar untuk menemukan hubungan antara tegangan input dan output untuk rangkaian ini. Penjumlahan arus pada titik penjumlahan diberikan

$$I_1 + I_2 + I_s = 0$$

Kemudian, masing-masing arus dapat diidentifikasi dalam kaitannya dengan parameter-parameter rangkaian untuk memberikan

$$\frac{V_{in} - V_s}{R_1} + \frac{V_o - V_s}{R_2} - \frac{V_s}{Z_{in}} = 0$$

Akhirnya, dengan mengkombinasikan persamaan-persamaan di atas, kita cari

$$V_o = - \frac{R_2}{R_1} \left(\frac{1}{1-\mu} \right) V_{in} \quad (2-27)$$

Dimana

$$\mu = \frac{\left(1 + \frac{Z_o}{R_2} \right) \left(1 + \frac{R_2}{R_1} + \frac{R_2}{Z_{in}} \right)}{\left(A + \frac{Z_o}{R_2} \right)} \quad (2-28)$$

Jika kita anggap bahwa μ sangat kecil bila dibandingkan dengan kesatuan, maka Persamaan (2-27) tereduksi ke keadaan ideal yang diberikan oleh Persamaan (2-26). Tentu, jika nilai khusus untuk IC op amp dipilih untuk satu keadaan dimana $R_2/R_1 = 100$, kita dapat tunjukkan bahwa $\mu \ll 1$. Contohnya, biasanya, IC op amp untuk kegunaan umum menunjukkan

$$A = 200.000$$

$$Z_o = 75 \Omega$$

$$Z_{in} = 2 \text{ M}\Omega$$

Jika digunakan tahanan umpan balik R_2 $100\text{k}\Omega$ dan mensubstitusikan nilai diatas kedalam Persamaan (2-28), didapatkan $\mu = 0,0005$ yang menunjukkan bahwa gain untuk persamaan (2-27) berbeda dari yang ideal dengan hanya 0,05%. Tentu saja, cara ini hanya satu contoh dari banyak rangkaian op amp yang digunakan, tetapi sebetulnya dalam semua kasus analisis yang sama menunjukkan bahwa karakteristik ideal dapat diasumsikan.

2.4.2 Spesifikasi-Spesifikasi Op Amp

Ada karakteristik-karakteristik lain dari op amp dibandingkan yang diberikan dalam bagian sebelumnya yang masuk dalam aplikasi desain. Karakteristik-karakteristik ini diberikan dalam spesifikasi untuk op amp khusus bersama dengan gain open loop dan impedansi input dan output yang dijelaskan sebelumnya. Beberapa karakteristik tersebut adalah:

- ✚ Tegangan offset input. Dalam banyak kasus, tegangan output op amp tidak boleh nol ketika tegangan pada input adalah nol. Tegangan yang harus diterapkan dalam terminal input untuk menggerakkan output ke nol adalah tegangan offset input.
- ✚ Arus offset input. Seperti tegangan offset bisa diperlukan melalui input untuk men-zero-kan tegangan output, sehingga arus jala bisa diperlukan melalui input untuk men-zero-kan tegangan output. Arus yang demikian dijadikan acuan sebagai arus offset input. Ini diambil sebagai perbedaan dua arus input.
- ✚ Arus bias input. Ini adalah rata-rata dari dua arus input yang diperlukan untuk menggerakkan tegangan output ke nol.
- ✚ Slew rate. Jika tegangan diterapkan dengan cepat ke input dari op amp, output akan saturasi ke maksimum. Untuk input step slew rate adalah kecepatan dimana output berubah ke nilai saturasi. Ini khususnya dinyatakan sebagai tegangan per mikrosecond ($V/\mu s$).
- ✚ Bandwith frekuensi gain satuan. Respons frekuensi dari op amp khusus didefinisikan dengan bode plot dari gain tegangan open loop dengan frekuensi. Plot seperti ini sangat penting untuk rancangan rangkaian yang berhubungan dengan sinyal a-c. Adalah diluar jangkauan dari tulisan ini untuk menjelaskan detail dari desain seperti ini yang memakai bode plot. Malahan, kita catat bahwa tingkah laku frekuensi besar dapat dilihat dengan penentuan frekuensi dimana gain open loop dari op amp menjadi satuan, sehingga menetapkan bandwith frekuensi gain satuan.

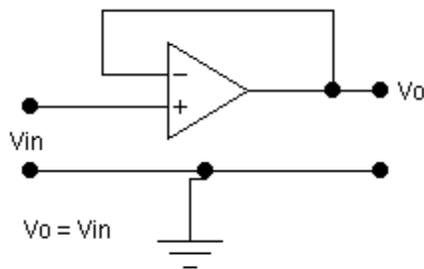
2.5 RANGKAIAN OP AMP DALAM INSTRUMENTASI

Setelah op amp menjadi terkenal pada kerja individu dalam kontrol proses dan teknologi instrumentasi, banyak macam rangkaian dikembangkan dengan aplikasi langsung dalam bidang ini. Secara umum, lebih mudah untuk mengembangkan sebuah rangkaian untuk pelayanan khusus menggunakan op

amp dibandingkan komponen-komponen diskrit; dengan pengembangan biaya rendah, IC op amp, juga adalah suatu desain yang praktis. Mungkin salah satu kerugian besar adalah diperlukannya sumber daya bipolar untuk op amp. Bagian ini menghadirkan sejumlah rangkaian khusus dan karakteristik dasarnya bersama dengan turunan dari respons rangkaian dengan asumsi op amp ideal.

2.5.1 Pengikut Tegangan (Voltage Follower)

Pada Gambar 2.14 kita lihat sebuah rangkaian op amp yang mempunyai gain satuan dan impedansi input sangat tinggi. Pada dasarnya impedansi input ini adalah impedansi input dari op amp itu sendiri yang dapat lebih besar dari $100\text{ M}\Omega$. Output tegangan mengikuti input lebih dari range yang ditentukan dengan output tegangan saturasi plus dan minus. Output arus dibatasi sampai arus hubung singkat dari op amp, dan impedansi output khususnya kurang dari $100\ \Omega$. Dalam banyak hal sebuah pabrik akan memasarkan sebuah pengikut tegangan op amp yang umpan baliknya disediakan secara internal. Unit seperti ini biasanya secara khusus didesain untuk impedansi input yang sangat tinggi. Pengikut tegangan gain satuan pada dasarnya adalah sebuah transformer impedansi dalam indera pengkonversi sebuah tegangan pada impedansi tinggi ke tegangan yang sama pada impedansi rendah.



Gambar 2.14 Sebuah pengikut tegangan op amp. Rangkaian ini mempunyai impedansi input yang sangat tinggi; sekitar 10^6 – $10^{11}\ \Omega$, tergantung pada op amp tersebut. Rangkaian ini berguna sebagai sebuah transformer impedansi.

2.5.2 Amplifier Membalik (Inverting Amplifier)

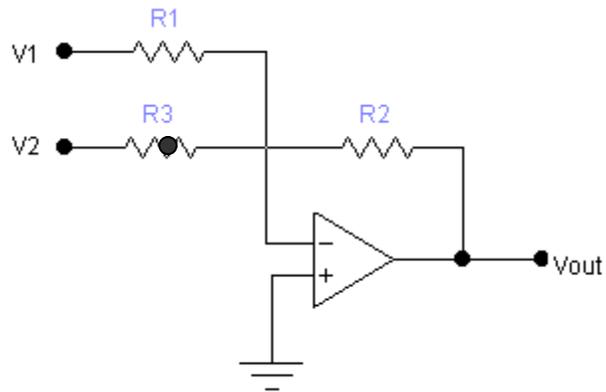
Inverting amplifier ini telah didiskusikan dalam hubungannya dengan pembicaraan kita tentang karakteristik op amp. Persamaan (2-26) menunjukkan bahwa rangkaian ini membalikkan sinyal input dan mungkin mempunyai pelemahan ataupun penguatan tergantung pada perbandingan antara tahanan input R_1 dan tahanan umpan balik R_2 . Rangkaian untuk amplifier ditunjukkan dalam Gambar 2.12. Penting untuk memperhatikan bahwa impedansi input dari rangkaian ini pada dasarnya sama dengan R_1 , yaitu tahanan input. Pada umumnya, tahanan ini tidak besar, dan karena itu impedansi input tidak besar.

AMPLIFIER PENJUMLAH (SUMMING AMPLIFIER)

Modifikasi yang umum dari inverting amplifier adalah sebuah amplifier yang menjumlahkan atau menambahkan dua atau lebih tegangan yang diterapkan. Rangkaian ini ditunjukkan dalam Gambar 2.15 untuk kasus penjumlahan dua tegangan input. Fungsi transfer amplifier ini diberikan oleh

$$V_{out} = - \left[\frac{R_2}{R_1} V_1 + \frac{R_2}{R_3} V_2 \right] \quad (2-29)$$

Penjumlahan dapat diberi skala dengan pemilihan tahanan yang tepat. Contohnya, jika kita membuat $R_1 = R_2 = R_3$, maka outputnya adalah hanya jumlah (terbalik) dari V_1 dan V_2 . Rata-rata dapat dicari dengan menjadikan $R_1 = R_3$ dan $R_2 = R_1/2$.



Gambar 2.15 Summing amplifier

2.5.3 Amplifier Tidak Membalik (Noninverting Amplifier)

Sebuah amplifier noninverting dapat dikonstruksi dari sebuah op amp seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.16. Gain rangkaian ini dicari dengan menjumlahkan arus-arus pada summing point S, dan menggunakan kenyataan bahwa tegangan summing point adalah V_{in} sehingga tidak ada beda tegangan yang muncul melalui terminal-terminal input.

$$I_1 + I_2 = 0$$

Dimana

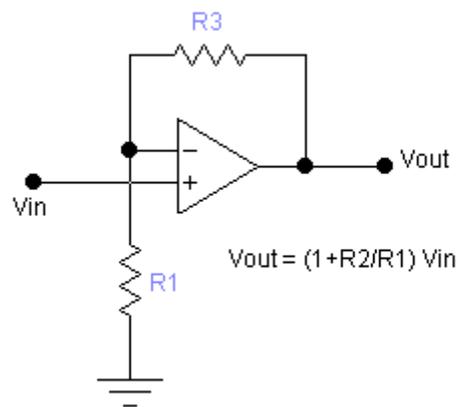
I_1 = arus melalui R_1

I_2 = arus melalui R_2

Tapi arus-arus ini dapat dicari dari hukum Ohm sedemikian sehingga persamaan ini menjadi

$$V_{out} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) V_{in} \quad (2-30)$$

Persamaan (2-30) menunjukkan bahwa noninverting ampifier mempunyai gain yang tergantung pada rasio resistor umpan balik R_2 dan resistor ground R_1 , tapi gain ini tidak pernah dapat digunakan untuk pelemahan tegangan. Kita catat pula bahwa karena input diambil secara langsung ke input noninverting dari op amp, impedansi input adalah sangat tinggi karena secara efektif sama dengan impedansi input op amp.



Gambar 2.16 Noninverting amplifier

CONTOH 2.11

Rancanglah sebuah amplifier impedansi tinggi dengan gain tegangan 42.

PENYELASAIAN

Kita gunakan rangkaian noninverting Gambar 2.16 dengan resistor dipilih dari

$$V_{out} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) V_{in} \quad (2-30)$$

$$42 = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)$$

$$R_2 = 41R_1$$

sehingga kita dapat memilih $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$, yang memerlukan $R_2 = 41 \text{ k}\Omega$.

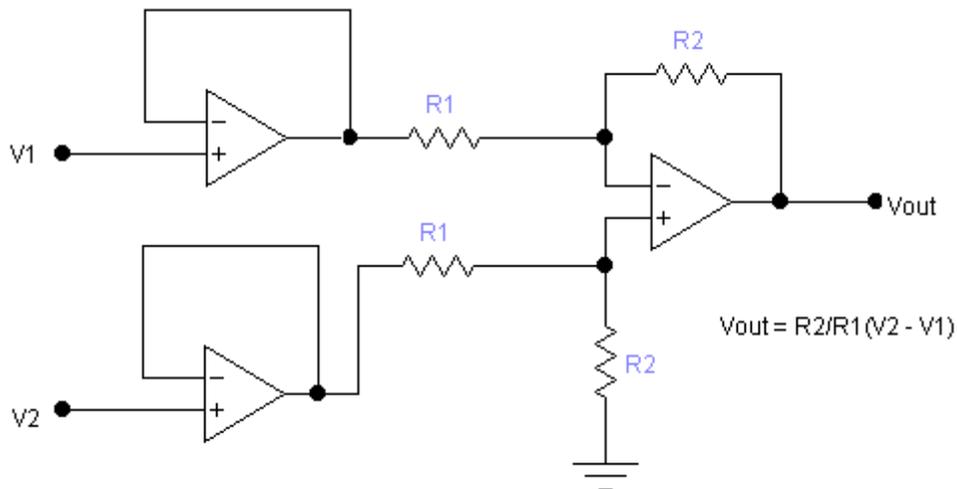
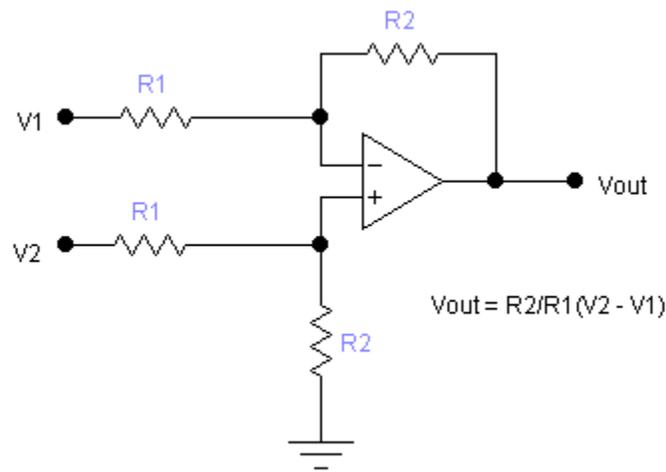
2.5.4 Amplifier Selisih

Sering kali, dalam instrumentasi yang dihubungkan dengan kontrol proses, diperlukan amplifikasi tegangan diferensial, misalnya untuk rangkaian jembatan. Sebuah amplifier diferensial dibuat dengan menggunakan sebuah op amp seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.17a. Analisis rangkaian ini menunjukkan bahwa tegangan output diberikan oleh

$$V_{out} = \frac{R_2}{R_1} (V_2 - V_1) \quad (2-31)$$

Rangkaian ini mempunyai gain atau atenuasi variabel yang diberikan oleh rasio R_2 dan R_1 dan merespons diferensial dalam input tegangan sebagaimana diperlukan. Adalah sangat penting bahwa resistor dalam Gambar 2.17a yang diindikasikan mempunyai nilai yang sama secara hati-hati disesuaikan dengan

tolakan yang pasti (*assure rejection*) dari tegangan bersama ke kedua input. Kerugian yang signifikan dari rangkaian ini adalah bahwa impedansi input pada masing-masing terminal input adalah tidak besar, menjadi $R_1 + R_2$ pada input V_2 dan R_1 pada input V_1 . Untuk memakai rangkaian ini saat diinginkan amplifikasi diferensial impedansi input yang tinggi, pengikut tegangan bisa dipakai sebelum masing-masing input seperti diperlihatkan pada Gambar 2.17b. Rangkaian ini memberikan gain yang berguna, amplifier diferensial impedansi input yang tinggi untuk penggunaan dalam sistem-sistem instrumentasi.



Gambar 2.17 Amplifier diferensial. (a) Amplifier Diferensial (b) Amplifier Instrumentasi.

2.5.5 Konverter Tegangan ke Arus

Karena sinyal-sinyal dalam kontrol proses paling sering ditransmisikan sebagai arus, khususnya 4-20 mA, maka perlu untuk memakai sebuah konverter linier tegangan ke arus. Rangkaian seperti ini harus mampu memasukkan arus ke sejumlah beban yang berbeda tanpa mengubah karakteristik-karakteristik transfer tegangan ke arus. Sebuah rangkaian op amp untuk memberikan fungsi ini diperlihatkan pada Gambar 2.18. Analisis rangkaian ini menunjukkan bahwa hubungan antara arus dan tegangan diberikan oleh

$$I = -\frac{R_2}{R_1 R_2} V_{in} \quad (2-32)$$

asalkan tahanan-tahanan yang dipilih sehingga

$$R_1(R_3 + R_5) = R_2 R_4 \quad (2-33)$$

rangkaiannya dapat mengirimkan arus ke salah satu arah, sebagaimana diperlukan oleh sebuah aplikasi khusus.

Tahanan beban maksimum dan arus maksimum adalah berhubungan dan ditentukan oleh kondisi bahwa output amplifier adalah saturasi dalam tegangan. Analisis rangkaian ini menunjukkan bahwa saat tegangan output op amp mencapai saturasi tahanan beban maksimum dan arus maksimum dihubungkan oleh

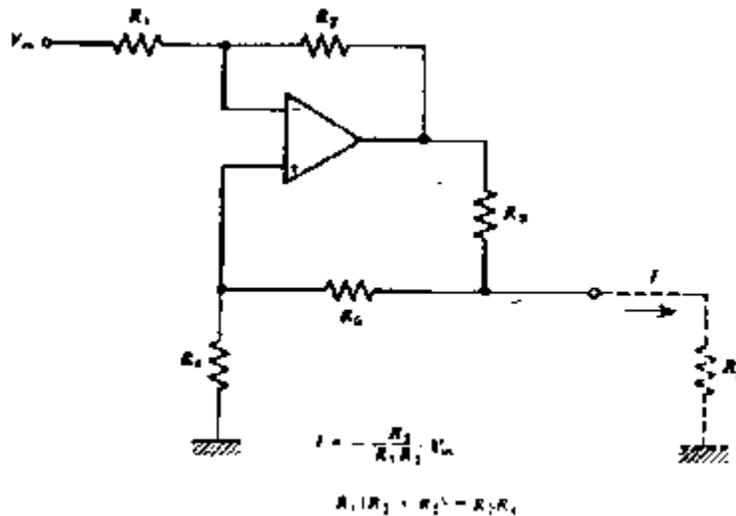
$$R_{ML} = \frac{(R_4 + R_5) \left[\frac{V_{SAT}}{I_M} - R_3 \right]}{R_3 + R_4 + R_5} \quad (2-34)$$

R_{ML} = tahanan beban maksimum

V_{SAT} = tegangan saturasi op amp

I_M = arus maksimum

Perhatikan bahwa penyelidikan Persamaan (2-34) menunjukkan bahwa tahanan beban maksimum adalah selalu kurang dari V_{SAT}/I_M . Tahanan beban minimum adalah nol.



Gambar 2.18 Konverter tegangan ke arus

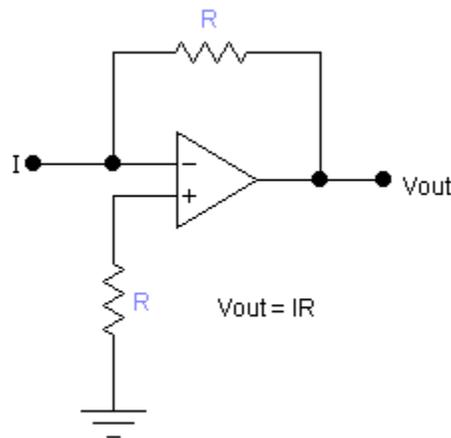
2.5.6 Konverter Arus ke Tegangan

Pada ujung penerima dari sistem transmisi sinyal kontrol proses kita sering perlu untuk mengubah arus kembali ke tegangan. Ini paling mudah dilakukan

dengan rangkaian yang diperlihatkan pada Gambar 2.19. Rangkaian ini menyediakan suatu tegangan output yang diberikan oleh

$$V_{out} = IR \quad (2-35)$$

asalkan tegangan saturasi op amp tidak tercapai. Resistor R pada terminal noninverting dipakai untuk memberikan stabilitas temperatur pada konfigurasi.

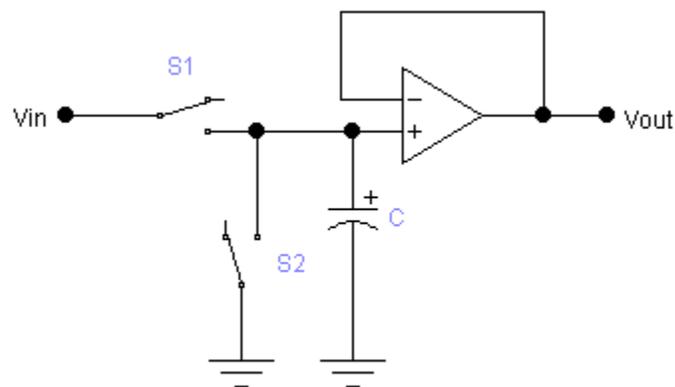


Gambar 2.19 Konverter arus ke tegangan

2.5.7 *Sample and Hold*

Ketika pengukuran harus antarmuka dengan sebuah proses digital dalam situasi kontrol atau pengukuran, seringkali perlu untuk menyediakan nilai tertentu pada konverter analog ke digital (ADC). Jadi, jika suatu pengukuran dibuat pada beberap waktu, bisa jadi selama prosedur konversi A/D nilai yang terukur berubah. Variasi seperti ini dapat menyebabkan error dalam proses konversi. Untuk mengurangi ini, sebuah op amp digunakan dalam konfigurasi *sample-and-hold*. Rangkaian ini, diperlihatkan pada Gambar 2.20, dapat

mengambil sampel yang sangat cepat dari sinyal tegangan input dan kemudian menahan nilai ini, meskipun sinyal input mungkin berubah, sampai sampel yang lain diperlukan. Metode ini memanfaatkan kemampuan mengisi-menyimpan (*charge-storing ability*) dari kapasitor dan impedansi tinggi dari op amp yang menjadi sifatnya. Serperti diperlihatkan pada contoh rangkaian sederhana Gambar 2.20, saat saklar 1 ditutup, kapasitor dengan cepat berubah ke level tegangan input. Jika sekarang saklar 1 dibuka, op amp tegangan pengikut memungkinkan ukuran tegangan kapasitor diambil pada output tanpa megubah muatan kapasitor. Saat sample baru harus diambil, pertama saklar 2 ditutup untuk mengosongkan kapasitor dan karena itu merset rangkaian. Saklar-saklar yang digunakan biasanya saklar-saklar elektronik yang diaktifkan oleh level logika digital.



Gambar 2.20 Rangkaian sample and hold. Tutup S_1 untuk mengambil sampel dan buka untuk menahan sampel. Tutup S_2 untuk me-reset.

2.5.8 Integrator

Rangkaian op amp biasa yang terakhir yang menjadi pertimbangan adalah *integrator*. Konfigurasi ini, diperlihatkan pada Gambar 2.21, terdiri dari sebuah resistor input dan kapasitor umpan balik. Dengan menggunakan analisis ideal kita dapat mejumlahkan arus pada summing point sebagai

$$\frac{V_{in}}{R} + C \frac{dV_{out}}{dt} = 0 \quad (2-36)$$

yang dapat diselesaikan dengan mengintegrasikan keduanya sehingga respons rangkaian adalah

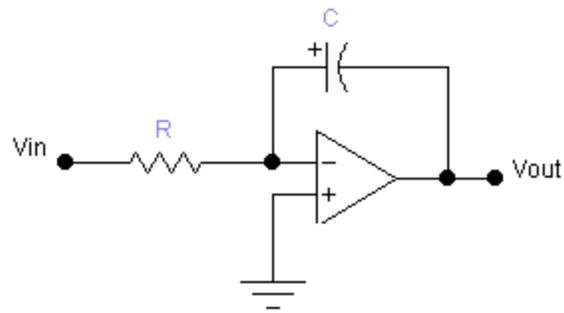
$$V_{out} = -\frac{1}{RC} \int V_{in} dt \quad (2-37)$$

yang ini menunjukkan bahwa tegangan output berubah-ubah sebagai integral dari tegangan input dengan faktor skala $1/RC$. Rangkaian ini digunakan dalam banyak kasus dimana diinginkan integrasi dari output transduser.

Fungsi-fungsi lain juga dapat diimplementasikan, seperti sebuah tegangan ramp linier. Jika tegangan input adalah konstan, $V_{in} = K$, maka persamaan (2-37) menjadi

$$V_{out} = -\frac{K}{RC} t \quad (2-38)$$

yang merupakan ramp linier, kemiringan negatif K/RC . Beberapa mekanisme reset melalui pengosongan kapasitor harus diberikan karena jika tidak V_{out} akan naik sampai nilai saturasi output dan tetap pada keadaan itu.



Gambar 2.21 Rangkaian integrator. Sebuah saklar ditempatkan melewati kapasitor untuk merset integrator.

CONTOH 2.12

Gunakan sebuah integrator untuk menghasilkan tegangan ramp linier yang naik 10 volt per ms seperti pada Gambar 2.21.

PENYELESAIAN

Rangkaian integrator menghasilkan ramp

$$V_{out} = -\frac{V_{in}}{RC}t \quad (2-38)$$

saat tegangan input adalah konstan. Jika kita buat $RC = 1 \text{ ms}$ dan $V_{in} = -10 \text{ V}$, maka kita mempunyai

$$V_{out} = (10 - 10^3)t$$

yang merupakan ramp yang naik 10 volt/ms. Pemilihan $R = 1 \text{ k}\Omega$ dan $C = 1 \text{ }\mu\text{F}$ akan memberikan hasil RC yang diperlukan.

2.5.9 Linierisasi

Op amp memberikan peranan divais yang sangat efektif untuk linierisasi peralatan. Secara umum, ini dicapai dengan menempatkan elemen nonlinier dalam loop umpan balik dari op amp sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 2.22. Penjumlahan arus memberikan bahwa

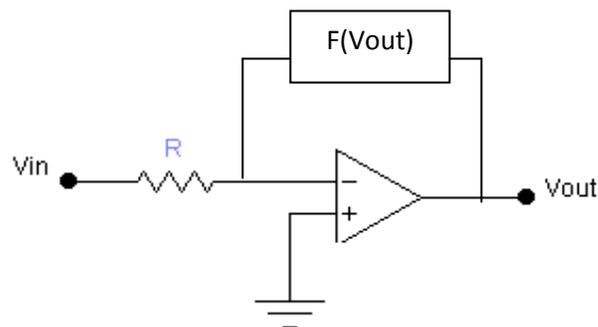
$$\frac{V_{in}}{R} + F(V_{out}) = 0 \quad (2-39)$$

Dimana

V_{in} = tegangan input

R = tahanan input

$F(V_{out})$ = perubahan nonlinier arus dengan tegangan



Gambar 2.22 Amplifier nonlinier dibuat dengan menempatkan elemen nonlinier dalam umpan balik dari op amp.

Sekarang jika Persamaan (2-39) diselesaikan untuk V_{out} kita dapatkan

$$V_{out} = G\left(\frac{V_{in}}{R}\right) \quad (2-40)$$

Dimana

V_{out} = tegangan output

$G\left(\frac{V_{in}}{R}\right)$ = fungsi nonlinier tegangan input, sebenarnya fungsi invers dari $F(V_{out})$.

Jadi, sebagai sebuah contoh, jika sebuah dioda diletakkan dalam umpan balik seperti diperlihatkan pada Gambar 2.23, maka fungsi $F(V_{out})$ adalah eksponensial

$$F(V_{out}) = F_0 \exp(\alpha V_{out}) \quad (2-41)$$

Dimana

F_0 = konstanta amplitudo

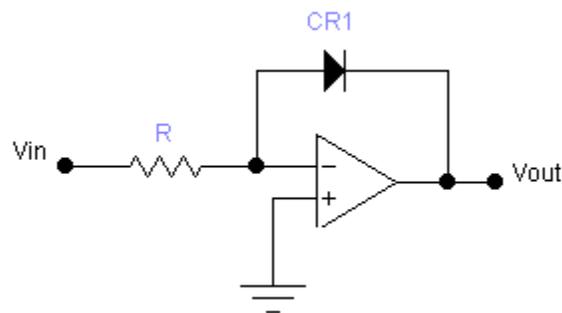
A = konstanta eksponensial

Invers dari fungsi ini adalah logaritma dan Persamaan (2-40) demikian menjadi

$$V_{out} = \frac{1}{\alpha} \ln(V_{in}) - \frac{1}{\alpha} \ln(FoR) \quad (2-42)$$

yang merupakan sebuah amplifier (linier) logaritmik.

Divais umpan balik yang berbeda dapat menghasilkan amplifier yang hanya meratakan variasi linier atau menyediakan operasi-operasi yang ditentukan seperti amplifier logaritmik.



Gambar 2.23 Saat sebuah dioda ditempatkan di kaki umpan balik sebuah op amp, sebuah amplifier nonlinier dibentuk yang outputnya adalah proporsional ke logaritma natural dari input.

2.5.10 Rangkaian-Rangkaian yang Terintegrasi Khusus (IC)

Merek rangkaian terintegrasi (IC) yang sangat banyak adalah tersedia dari berbagai pabrik dan berguna untuk perancang instrumentasi kontrol proses. Divais untuk tujuan khusus seperti ini termasuk:

1. Amplifier instrumentasi diferensial gain tinggi.
2. Konverter arus ke tegangan.
3. Modulator/demodulator.
4. Jembatan dan detektor kesetimbangan.
5. Detektor *phase sensitive*.

Dalam bab berikutnya kita sering memerlukan pengkondisi sinyal yang akan diimplementasikan melalui penggunaan IC-IC khusus ini. Secara umum, kita akan menunjukkan perincian rancangan pengkondisi sinyal, tetapi pembaca seharusnya selalu sadar bahwa IC-IC untuk kegunaan khusus ini bisa membuat seperti tidak diperlukannya desain yang terperinci.

CONTOH 2.13

Rancang sebuah konverter arus ke tegangan untuk memberikan arus 0-10 mA untuk input 0-1 volt. Tentukan tahanan muatan maksimum. Op amp saturasi pada output ± 10 volt.

PENYELESAIAN

Jika kita membuat $R_1 = R_2$, maka Persamaan (2-31) menjadi

$$I = \frac{1}{R_3} V_{in} \quad (2-32)$$

dimana sekarang Persamaan (2-33) menentukan $R_3 + R_2 = R_4$. Sehingga kita pilih $R_1 = R_2 = 1 \text{ k}\Omega$ dan kemudian, dari Persamaan (2-32),

$$R_3 = \frac{1V}{10mA} = 10\Omega \quad (2-32)$$

Jika sekarang kita buat $R_5 = 0$, yang dibolehkan, maka $R_4 = 100 \Omega$ juga. Resistor muatan maksimum sekarang dicari dari Persamaan (2-34)

$$R_{ML} = \frac{100}{200}[1000-100]\Omega \quad (2-34)$$

yang memberikan

$$R_{ML} = 450 \Omega$$