

# RANCANG BANGUN MOTOR INDUKSI SEBAGAI GENERATOR (MISG) PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO

**Machmud Effendy**

Jurusan Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Malang  
Kampus III: Jl. Raya Tlogomas No. 246, Malang, Jawa Timur  
E-mail: machmudeffendy@yahoo.com

**Abstract.** Induction Motor As Generator (IMAG) is an induction motor operated as a generator. IMAG widely applied in micro-hydro power plant (MHPP) with a power of less than 10kW. IMAG has many advantages such as: low price, easier maintenance, and widely available in the market. One of weakness IMAG is output voltage is affected by the load.

In this research, we use induction motor 1 phase, 1 HP. In order to function as generator, it takes a capacitor 22 uF. IGC (Induction Generator Controller) is used to stabilize output voltage IMAG result of changes in load. IGC uses voltage sensor to detect the change of consumer load. Voltage sensor proceses linerarity level to the change of output voltage IMAG which equals to  $R^2=0.995$ . The use of IGC causes the IMAG voltage is approximately 220.9 V to 224.7V and the IMAG frequency is 49.1 Hz to 50.5 Hz.

**Keywords:** IGC, IMAG, microhydro

## PENDAHULUAN

Sektor energi merupakan salah satu sektor yang menjadi prioritas utama kebijakan pemerintah Indonesia pasca reformasi. Hal ini terlihat salah satunya dalam Agenda Riset Nasional (ARN,2006) yang menyebutkan bahwa energi terbarukan adalah salah satu prioritas dalam pengembangan riset nasional, disamping bidang ketahanan pangan, teknologi informasi komunikasi, transportasi dan pertahanan.

PLTMh (Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro) merupakan salah satu sumber energi terbarukan (*renewable energy*) yang masih belum banyak dimanfaatkan di wilayah Indonesia. Berdasarkan data dari Departemen ESDM (ESDM,2003), Indonesia mempunyai potensi tenaga air sebesar 75.000 MW dan saat ini baru 13,5 % potensi tersebut termanfaatkan (ESDM, 2003). Oleh karena itu perlu ditingkatkan penggunaan PLTMh di daerah-daerah yang berpotensi untuk dibangun mikrohidro, sehingga kebutuhan energi listrik tidak lagi terlalu bergantung kepada PLN (Perusahaan Listrik Negara).

Salah satu komponen PLTMh adalah generator sebagai alat untuk mengubah energi mekanis poros turbin menjadi energi listrik. Generator yang banyak digunakan dalam PLTMh adalah generator sinkron (untuk daya terbangkit

> 10 kW) dan generator asinkron atau induksi (untuk daya terbangkit < 10 kW).

Ada beberapa alasan mengapa dipergunakan generator induksi untuk daya terbangkit PLTMh < 10 kW antara lain: generator sinkron dengan daya < 10 kW sangat sulit didapatkan di pasaran, mudah perawatannya, dan harganya lebih murah.

Salah satu cara untuk mendapatkan generator induksi adalah mengubah motor induksi menjadi generator induksi dengan cara memberikan suplai daya reaktif kedalam motor induksi. Suplai daya reaktif dapat berasal dari kapasitor atau dari PLN. Dalam penelitian ini, kami akan menggunakan kapasitor sebagai sumber daya reaktif. Sedangkan untuk menjaga kestabilan tegangan keluaran motor yang difungsikan sebagai generator induksi akibat dari perubahan beban konsumen, maka diperlukan sebuah alat kontrol tegangan (*Inducton Generator Induction*) dan beban komplemen (*Ballast Load*).

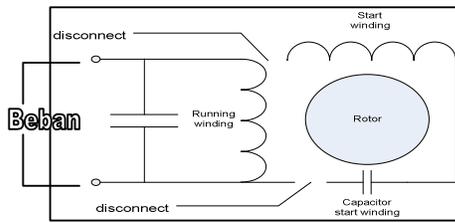
## METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan untuk membuat motor induksi sebagai generator listrik PLTMh adalah sebagai berikut.

### Pembuatan Motor Induksi Sebagai Generator

Motor induksi yang digunakan sebagai generator adalah motor induksi sangkar tupai 1

fasa, 1 hp, 220 Volt, kecepatan nominal 1420 rpm, daya nominal ( $P_n$ ) = 0.5 kW, efisiensi ( $\eta$ ) = 80%, faktor daya ( $\cos \Phi$ ) = 0.8.



**Gambar 1. Pemasangan Kapasitor pada MISG**

Pada MISG yang bekerja *stand alone* diperlukan kapasitor untuk membangkitkan arus eksitasi (Chapallaz, 2002). Gambar 1 memperlihatkan diagram pengawatan kapasitor pada motor induksi yang dioperasikan sebagai generator.

Daya keluaran motor induksi saat digunakan sebagai generator adalah:

$$P_{elg} = 0,55 * 0,5 \text{ kW} = 275 \text{ Watt}$$

Konstanta 0,55 diperoleh dari grafik perbandingan antara daya generator dengan daya nominal motor ( $P_{elg}/P_n$ ) pada gambar 2, sehingga daya maksimum generator yang diijinkan adalah 275 Watt atau sekitar 55% daya nominal motor.

Daya listrik masukan saat motor induksi berfungsi sebagai generator adalah:

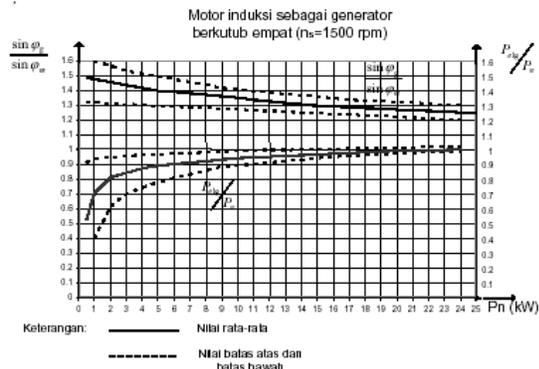
$$P_1 = \frac{P_n}{\eta} = \frac{0,5 \text{ kW}}{0,8} = 0,635 \text{ kW}$$

Daya reaktif motor pada saat beban nominal adalah:

$$\begin{aligned} \cos \Phi &= 0,8 \\ \Phi &= \arccos 0,8 = 36,87^\circ \end{aligned}$$

Daya reaktif motor pada saat beban nominal adalah:

$$Q_m = P_1 \tan \Phi = 0,635 \text{ kVAR}$$



**Gambar 2. Perbandingan  $P_{elg}$  dan  $P_n$  generator**

Dengan menggunakan grafik pada Gambar 2 dapat diketahui rasio antara kebutuhan daya reaktif motor dan generator yang diwakili oleh perbandingan  $\sin \Phi$ , yaitu:

$$\sin \Phi_g / \sin \Phi_m = 1,50$$

Kebutuhan daya reaktif generator adalah:

$$\begin{aligned} Q_g &= 1,50 \times Q_m = 1,5 \times 0,635 \\ &= 0,9525 \text{ kVAR} \end{aligned}$$

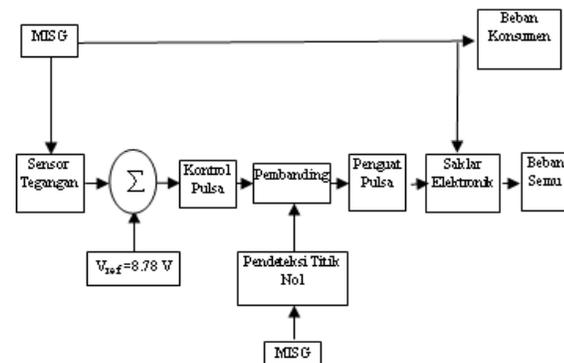
Kapasitor yang ditambahkan pada motor yang difungsikan sebagai generator adalah:

$$C = \frac{Q_g}{3U^2 \cdot 2\pi \cdot f} = \frac{0,9525}{3 \cdot 220^2 \cdot 2\pi \cdot 3,14 \cdot 50} = 20,89 \mu\text{F}$$

Kapasitor dengan nilai 20,89  $\mu\text{F}$  sulit diperoleh di pasaran, sehingga untuk mempermudah pembuatan motor sebagai generator digunakan kapasitor dengan nilai 22  $\mu\text{F}$ .

**Pembuatan Desain Sistem IGC**

Dari gambar 3 dapat dijelaskan bahwa motor induksi yang difungsikan sebagai generator (MISG) dihubungkan langsung pada beban konsumen.

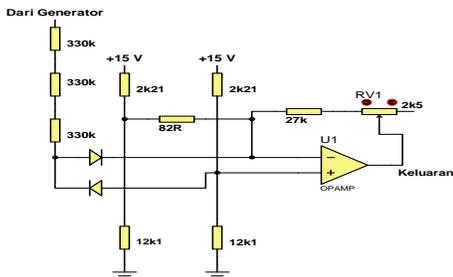


**Gambar 3. Diagram Blok Sistem IGC**

**Pembuatan Sensor Tegangan**

Tegangan keluaran generator harus diubah menjadi tegangan yang lebih kecil agar dapat diproses lebih lanjut. Rangkaian sensor tegangan menggunakan komponen utama *operational amplifier* seperti ditunjukkan pada gambar 4.

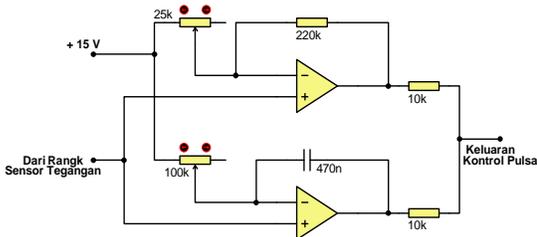
Dari rangkaian sensor tegangan generator di atas, besarnya tegangan keluaran untuk tegangan generator 220 V adalah sebesar 8.78 V. Sehingga tegangan keluaran 8.78 V ini nantinya akan dijadikan tegangan referensi untuk rangkaian kontrol pulsa.



Gambar 4. Rangkaian Sensor Tegangan

**Pembuatan Rangkaian Kontrol Pulsa**

Rangkaian ini berfungsi untuk membandingkan antara tegangan generator yang berubah terhadap beban konsumen (*actual voltage*) dengan tegangan yang diinginkan (*set point voltage*). Nilai *set point voltage* sebesar 220 V yang sudah diturunkan oleh rangkaian sensor tegangan adalah sebesar 8.78V. Berikut ini adalah rangkaian lengkap rangkaian kontrol pulsa.



Gambar 5. Rangkaian Kontrol Pulsa

Rangkaian kontrol pulsa akan mengeluarkan pulsa *high* jika tegangan generator lebih besar dari tegangan referensi. Kemudian pulsa ini diperkuat oleh rangkaian *proportional* dan diatur kecepatan peralihan dari pulsa *low* ke *high* oleh rangkaian *integrator*, begitu juga sebaliknya generator lebih kecil dari tegangan referensi, maka kontrol pulsa akan mengeluarkan pulsa *low*. Pulsa ini diperkuat oleh rangkaian *proportional* dan diatur kecepatan peralihan dari pulsa *high* ke *low* oleh rangkaian *integrator*. Nilai penguatan dari rangkaian *proportional* sesuai dengan rumus penguatan tak membalik (*non inverting*), yaitu (Robert,1992):

$$A_v = \frac{R_{20}}{RV_5} + 1$$

Jika nilai  $RV_5 = 25k$ , maka penguatan tegangannya sebesar:

$$A_v = \frac{220k}{25k} + 1 = 9,8 \text{ kali}$$

Waktu yang dibutuhkan oleh rangkaian *integrator* untuk berubah dari kondisi *high* menjadi *low* atau sebaliknya adalah:

$$V_0 = V_i \cdot \frac{t}{R.C}$$

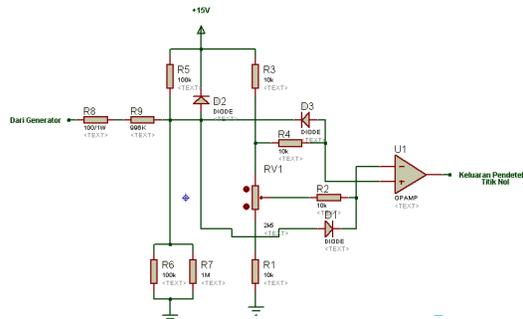
$$t = \frac{V_0 \cdot R.C}{V_i}$$

Pada saat  $V_i = 8.78 \text{ V}$  (tegangan generator 220 V),  $V_0$  terukur adalah 14V, maka:

$$t = \frac{14.100k.470n}{8,78} = 0,075 \text{ det ik}$$

**Pembuatan Rangkaian Pendeteksi Titik Nol (Zero Crossing Detektor)**

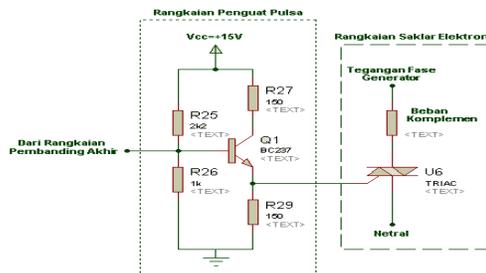
Rangkaian ini berfungsi untuk mengetahui titik nol dari gelombang sumber generator AC. Hal ini diperlukan untuk menentukan kapan sudut penyalaan pada triac dimulai. Rangkaian lengkapnya digambarkan berikut ini:



Gambar 6. Rangkaian Pendeteksi Titik Nol

**Pembuatan Rangkaian Penguat Pulsa**

Rangkaian penguat pulsa berfungsi menguatkan arus keluaran rangkaian pembanding akhir, karena arus keluarannya hanya 5 mA sedangkan untuk memicu TRIAC dibutuhkan arus *gate* sebesar 50 mA. Rangkaian lengkapnya dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Rangkaian Penguat Pulsa dan Saklar Elektronika

Rangkaian penguat pulsa di atas menggunakan transistor BC237 sebagai penguat arusnya, dimana transistor ini mempunyai nilai  $h_{FE}=120$ , sehingga apabila arus pada basis ( $I_b$ )= 5 mA, maka sesuai dengan rumus penguatan arus pada transistor yaitu (Malvino,1992):

$$I_c \cong I_e = h_{FE} \times I_b$$

$$= 120 \times 5 \text{ mA} = 600 \text{ mA}$$

(arus kolektor maksimal)

TRIAC hanya membutuhkan arus *gate* sebesar 50 mA, maka transistor hanya perlu mengeluarkan arus minimal 50 mA (Rashid,1999).  $R_c$  dan  $R_e$  dibutuhkan sebagai pembatas arus pada transistor. Nilai  $R_c$  dan  $R_e$  dapat dihitung dengan rumus:

$$V_{cc} = I_c \cdot R_c + V_{ce} + I_e \cdot R_e$$

$$= I_e (R_c + R_e) + V_{ce}$$

$$15 = 50 \cdot 10^{-3} (R_c + R_e) + 0.2$$

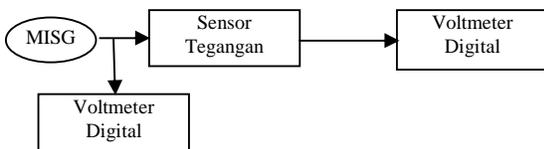
$$(R_c + R_e) = 296 \cong 300$$

Dari rumus di atas dapat ditentukan nilai  $R_c = R_e = 150 \Omega$ .

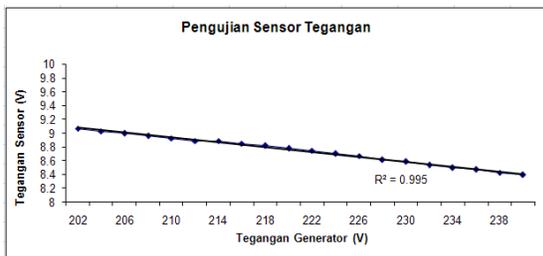
Rangkaian saklar elektronik berfungsi untuk melewatkan arus generator pada beban komplemen jika terdapat arus *gate* sebesar 50 mA. Rangkaian ini menggunakan TRIAC jenis BTA12 yang dapat melewatkan arus maksimal 12A dengan tegangan AC sampai dengan 600 V sehingga rangkaian IGC yang didesain mempunyai kemampuan maksimal mengatur beban dengan daya 2 kW.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**  
**Pengujian Rangkaian Sensor Tegangan**

Pengujian ini berhubungan dengan keluaran tegangan generator . Diagram blok pengujianya seperti Gambar 8.



**Gambar 8. Pengujian Sensor Tegangan**



**Gambar 9. Grafik Pengujian Sensor Tegangan**

Dari hasil pengujian didapatkan hasil seperti pada Tabel 1.

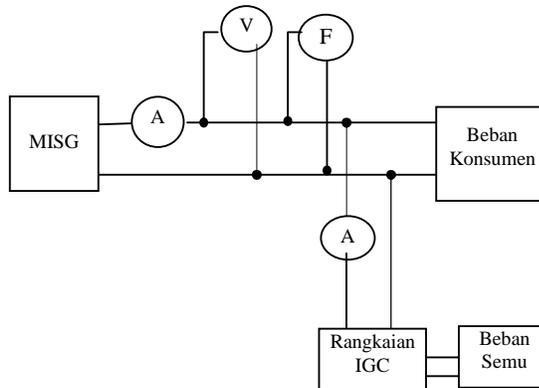
**Tabel 1. Hasil Pegujian Sensor Tegangan**

No	V <sub>Gen</sub> (V)	V <sub>Sensor</sub> (Volt)	No	V <sub>Gen</sub> (Volt)	V <sub>Sensor</sub> (Volt)
1	202	9,07	11	222	8,75
2	204	9,03	12	224	8,70
3	206	9,00	13	226	8,67
4	208	8,96	14	228	8,61
5	210	8,93	15	230	8,59
6	212	8,89	16	232	8,54
7	214	8,89	17	234	8,50
8	216	8,85	18	236	8,47
9	218	8,82	19	238	8,43
10	220	8,78	20	240	8,40

Berdasarkan grafik pengujian sensor tegangan pada Gambar 9, terlihat bahwa hasil pengujian sensor tegangan bersifat linier dengan nilai  $R^2 = 0,995$ . Hal ini menunjukkan bahwa sensor tegangan dapat mewakili parameter tegangan generator, yang selanjutnya dapat dijadikan referensi untuk rangkaian berikutnya.

**Pengujian Rangkaian Kontrol Beban Elektronik (IGC)**

Untuk mewujudkan pengujian ini digunakan diagram blok pengujian seperti pada Gambar 10.



**Gambar 10. Diagram Blok Pengujian IGC.**

**Tabel 2. Pengujian menggunakan rangkaian IGC**

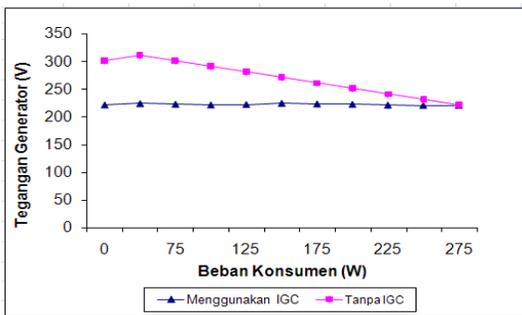
No.	I Kons (A)	I Kompl (A)	V Gen (V)	F Gen (Hz)	P Kons (W)
1	0,00	1,59	221,3	49,8	0
2	0,11	1,49	223,7	49,8	25
3	0,34	1,26	222,7	50,1	75
4	0,45	1,15	221,4	50,5	100
5	0,56	1,03	222,2	49,9	125
6	0,67	0,93	224,7	49,6	150
7	0,78	0,81	223,2	49,8	175
8	0,89	0,69	222,5	49,5	200
9	1,02	0,58	221,1	49,4	225
10	1,13	0,47	221,5	50,1	250
11	1,25	0,35	220,9	49,1	275

Hasil pengujian tanpa IGC dapat dilihat pada Tabel 3.

**Tabel 3 Pengujian tanpa menggunakan rangkaian IGC**

No.	I Kons (A)	V Gen (V)	F Gen (Hz)	P Kons (W)
1	0,00	300,9	70	0
2	0,08	310,8	67,9	25
3	0,25	300,6	65,6	75
4	0,34	290,3	62,5	100
5	0,45	280,7		125
6	0,55	270,6		150
7	0,67	260,2	56,8	175
8	0,79	250,5	54,8	200
9	0,94	240,3	52,5	225
10	1,08	230,5	51,1	250
11	1,25	220,7	49,9	275

Dari hasil pengujian, dapat digambarkan sebuah grafik berikut ini.



**Gambar 11. Grafik tegangan fungsi Beban**

Berdasarkan Gambar 11, terlihat bahwa tegangan generator cenderung konstan terhadap beban konsumen, apabila menggunakan IGC, dan nilai tegangannya berkisar antara 220,9V sampai dengan 224,7V. Berdasarkan hasil tersebut dapat dihitung nilai simpangan bakunya (*standard deviation*) pengukurannya dengan rumus:

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

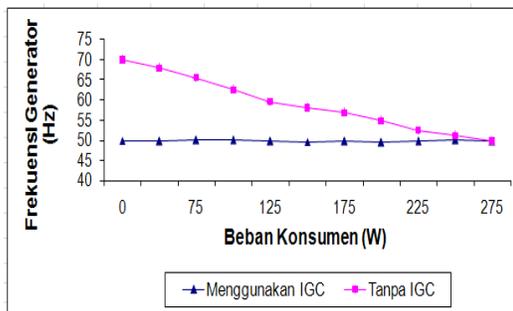
Prosentase ketidakseimbangannya juga dapat dihitung dengan rumus:

$$\% \text{ ketidakseimbangan} = \frac{\text{Simpangan baku}}{\text{Rata-rata}} \times 100\%$$

Hasil perhitungan simpangan baku dan prosentase ketidakseimbangannya dapat dilihat pada Tabel 4.

**Tabel 4. Hasil perhitungan simpangan baku dan prosentase ketidakseimbangan tegangan**

Tanpa IGC		Menggunakan IGC	
Simp Baku	% Ketakseimbangn	Simp Baku	% Ketakseimbangn
±30,9	11,46%	±1,31	0,61%



**Gambar 12. Grafik frekuensi fungsi beban**

Berdasarkan Gambar 12, terlihat bahwa frekuensi generator cenderung konstan terhadap beban konsumen, apabila menggunakan IGC, dan nilai frekuensinya berkisar antara 49,1 Hz sampai dengan 50,5 Hz.. Perhitungan simpangan baku dan prosentase ketidakseimbangannya dapat dilihat pada Tabel 5.

**Tabel 5. Hasil perhitungan simpangan baku dan prosentase ketidakseimbangan frekuensi**

Tanpa IGC		Menggunakan IGC	
Simp Baku	% Ketakseimbangn	Simp Baku	% Ketakseimbangn
±6,85	11,64%	±0,23	0,44%

**PENUTUP**

Berdasarkan eksperimen yang telah dilakukan maka berikut ini dapat diambil beberapa kesimpulan.

Tegangan keluaran MISG sangat dipengaruhi besar beban. Semakin besar beban, tegangan semakin kecil. Hal itu disebabkan generator induksi tidak memiliki sistem eksitasi yang dapat dikendalikan.

Rangkaian IGC dan beban komplemen dapat digunakan untuk mengendalikan tegangan sehingga kualitas tegangan dan frekuensi MISG menjadi lebih baik.

Pengendali tegangan menggunakan IGC dan beban penyeimbang pada dasarnya mengatur pembebanan sehingga MISG merasakan beban yang relatif konstan meskipun beban konsumen berubah-ubah.

Rangkaian IGC yang dibuat mampu memberikan kestabilan tegangan (meskipun beban konsumen berubah-ubah) dengan nilai tegangan sebesar 220,9V sampai dengan 224,7 V. Sedangkan kestabilan frekuensi dengan nilai sebesar 49,1 Hz sampai dengan 50,5 Hz.

#### **DAFTAR PUSTAKA**

Agenda Riset Nasional, 2006, "*Agenda Riset Nasional 2006-2009*", Dewan Riset Nasional (DRN), Jakarta, Indonesia.

Chapallaz, 2002, J.M., J.Dos Ghali, P. Eichenberger, G. Fisher, *Manual on Induction Motors Used as Generators*, GTZ, Eschborn.

ESDM, 2003, "*Kebijakan Pengembangan Energi Terbarukan dan Konservasi Energi (Energi Hijau)*", Departemen ESDM, Jakarta, Indonesia.

Malvino, 1992, "*Electronic Principles*", McGraw Hill.

Rasyid HM, 1999, "*Power Electronic, Devices and Application*", Prentice Hall, Inc., Bombay, India.

Robert F. Coughlin Frederick F. Driscoll, 1992, "*Operational Amplifier and Linier Integrated Circuit*", Printine-Hall, U.S.A.