

## Studi Tentang Penguat *Cascade* Dua Tingkat Menggunakan JFET

Tjahjo Kartiko Dirgantoro<sup>1)</sup>, Handry Khoswanto<sup>2)</sup>, Hany Ferdinando<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Alumni Jurusan Teknik Elektro, Universitas Kristen Petra – Surabaya

<sup>2)</sup> Jurusan Teknik Elektro, Universitas Kristen Petra – Surabaya

Siwalankerto 121-131 Surabaya – 60236

Email: {handry,hanyf}@petra.ac.id

### Abstrak

Sistem *cascade* dalam suatu penguat berarti mempunyai lebih dari satu tingkat dalam konfigurasi rangkaiannya. Penguat sistem *cascade* menggunakan JFET bertujuan untuk mendapatkan penguatan tegangan yang lebih besar dengan impedansi masukan yang besar pula. Kecuali penguat *cascade* CS-CS, penguat *cascade* menggunakan JFET tidak pernah dibahas dalam literatur yang ada. Pada penguat sistem *cascade* menggunakan JFET dua tingkat ini terdapat sembilan konfigurasi rangkaian, yaitu CS-CS, CS-CD, CS-CG, CD-CS, CD-CD, CD-CG, CG-CS, CG-CD, dan CG-CG. Dari kesembilan konfigurasi itu akan dilihat karakteristik penguatannya dan dibandingkan satu sama lain. Penelitian menggunakan JFET tipe 2N5457 dengan spesifikasi teknis  $I_{DSS} = 5$  mA dan  $V_{GS(off)} = -6$  V serta ditetapkan salah satu parameter DC bias pada daerah aktif yaitu  $I_{DQ} = 2$  mA. Pengujian yang dilakukan adalah dengan mengukur penguatan tegangan yaitu memberikan variasi tegangan masukan dari 50 mV ( $V_{p-p}$ ) sampai 1000 mV ( $V_{p-p}$ ) dan dilihat besar penguatan tegangannya pada tegangan keluaran. Pengujian dilakukan pada frekuensi 1 KHz. Dihasilkan beberapa rekomendasi, satu diantaranya yaitu bahwa penguat *cascade* CS-CS adalah penguat yang mempunyai penguatan tegangan terbesar.

**Kata kunci:** JFET, penguat *cascade*.

### Abstract

*Cascade amplifier has more than one stages on the circuit configurations. The purpose of cascade amplifier using JFET is to get larger voltage gain also with large input impedance. Except CS-CS cascade amplifier, cascade amplifier using JFET never studied in every literature. This research focuses on the two stage cascade amplifier using JFET for nine circuit configurations, i.e. CS-CS, CS-CD, CS-CG, CD-CS, CD-CD, CD-CG, CG-CS, CG-CD, and CG-CG. From those nine configurations, the interest is to see gain characteristic and to compare one another. This paper uses JFET 2N5457 type with specification  $I_{DSS} = 5$  mA and  $V_{GS(off)} = -6$  V also specified one of DC bias parameter in the active region that is  $I_{DQ} = 2$  mA. The voltage gain is measured by giving voltage input from 50 mV ( $V_{p-p}$ ) until 1000 mV ( $V_{p-p}$ ) at 1 KHz. There are some recommendations, one of them is that the CS-CS cascade amplifier is amplifier with the largest voltage gain.*

**Keywords:** JFET, cascade amplifier.

### Pendahuluan

Sistem *cascade* dalam suatu penguat berarti mempunyai lebih dari satu tingkat di dalam konfigurasi rangkaiannya, yaitu keluaran dari penguat tingkat pertama sebagai masukan ke penguat tingkat kedua, dan seterusnya. Sistem *cascade* dengan menggunakan FET jangan dibicarakan, sedangkan FET itu sendiri mempunyai keunggulan, diantaranya adalah impedansi masukan yang tinggi. Terdapat tiga jenis FET yang dibedakan berdasarkan struktur, karakteristik dan jenis isolasinya, yaitu *junction field-effect transistor* (JFET), *metal-oxide semikonduktor field-effect transistor* (MOSFET) dan *metal semicon-*

*ductor field-effect transistor* (MESFET)[1,2]. Pada JFET terdapat tiga jenis konfigurasi penguat, yaitu penguat *common gate* (CG), penguat *common drain* (CD), dan penguat *common source* (CS). Dengan menggunakan kombinasi dari konfigurasi penguat JFET di atas pada sistem *cascade*, akan didapatkan penguatan tegangan yang lebih besar [3].

Dalam literatur yang ada mengenai penguat sistem *cascade* menggunakan JFET, tidak pernah dijelaskan mengenai keseluruhan konfigurasi dan juga tentang konfigurasi mana yang paling baik serta konfigurasi mana yang kurang baik penguatannya (tidak bisa dilakukan) dari keseluruhan konfigurasi penguat *cascade*. Penjelasan yang ada, biasanya hanya mengenai dua konfigurasi penguat yang sama, yaitu CS-CS [1,2,3,4]. Dengan menggunakan penguat sistem *cascade* dua tingkat menggunakan JFET ini, akan dihasilkan sebanyak sembilan konfigurasi

**Catatan:** Diskusi untuk makalah ini diterima sebelum tanggal 1 Desember 2006. Diskusi yang layak muat akan diterbitkan pada Jurnal Teknik Elektro volume 7, nomor 1, Maret 2007.

penguat yaitu CG-CG, CD-CD, CS-CS, CG-CD, CD-CG, CG-CS, CS-CG, CD-CS, dan CS-CD. Pada masing-masing konfigurasi, akan ditentukan karakteristik masukannya dan dilihat karakteristik keluarannya.

Karena beberapa alasan tersebut, maka penelitian ini akan mempelajari tentang penguat sistem *cascade* dua tingkat dengan menggunakan komponen JFET dan melakukan perencanaannya. Serta menentukan dan membandingkan karakteristik masukan dan karakteristik keluaran dari masing-masing konfigurasi, untuk kemudian dihasilkan suatu rekomendasi untuk kemungkinan dilakukan penelitian selanjutnya.

**Junction Field-Effect Transistor (JFET)**

JFET mempunyai tiga terminal yaitu *source* (S), *drain* (D), dan *gate* (G). Ketiga terminal ini dapat dipandang ekuivalen dengan *emitter*, *collector* dan *base* pada transistor BJT. Bahan yang menghubungkan *source* dan *drain* adalah kanal (*channel*) [2]. Jika bahan ini tipe-p, maka devais disebut JFET kanal-p, demikian juga bila bahan tipe-n, maka disebut JFET kanal-n.

Konstruksi JFET berbeda dengan transistor bipolar. Pada transistor bipolar terdapat tiga bahan terpisah (dua bahan tipe-p, satu bahan tipe-n atau dua bahan tipe-n, satu bahan tipe-p), sedangkan pada JFET hanya mempunyai dua bahan yaitu satu bahan tipe-n dan satu bahan tipe-p [1]. Pada konstruksi JFET kanal-n, bagian terbesar dari struktur adalah bahan tipe-n yang membentuk saluran atau kanal (*channel*) antara lapisan dari bahan tipe-p. Bagian ujung atas dan bawah dari kanal tipe-n terhubung pada terminal *drain* (D) dan *source* (S) melalui suatu *ohmic contact*. Dua bahan tipe-p itu menyambung satu sama lain dan terhubung pada terminal *gate* (G). Daerah deplesi (*depletion region*) merupakan daerah kosong yang menghubungkan antara bahan tipe-n dan bahan tipe-p pada saat JFET tidak mendapatkan aliran tegangan. Demikian juga sebaliknya untuk konstruksi JFET kanal-p [5].

**Model FET Sinyal-Kecil (Small-Signal FET)**

Konsep dari analisa sinyal-kecil FET adalah untuk membuat rangkaian penguat sinyal-kecil yang menghasilkan penguatan tegangan (*voltage gain*) dengan impedansi masukan yang tinggi. FET bekerja dengan mengendalikan arus keluaran (*drain*) dari tegangan masukan yang kecil (*gate-source*) [6], hal inilah yang menyebabkan mengapa FET disebut devais terkendali tegangan. Untuk melakukan analisa AC dari rangkaian FET, perlu ditentukan terlebih dahulu rangkaian pengganti AC dari rangkaian FET tersebut. Hal yang utama dalam analisa AC rangkaian FET adalah bahwa tegangan AC digunakan pada

terminal *gate-source* untuk mengendalikan arus antara terminal *drain-source*.

Parameter penting yang terdapat pada FET adalah transkonduktansi ( $g_m$ ), yang didefinisikan sebagai arus *drain-source* AC dibagi dengan tegangan *gate-source* AC. Transkonduktansi dapat mengindikasikan efektif atau tidaknya tegangan *gate-source* dalam mengendalikan arus *drain*. Untuk menganalisis penguat JFET, diperlukan transkonduktansi yang didefinisikan sebagai [5]:

$$g_m = m = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{\Delta I_D}{\Delta V_{GS}} \tag{1}$$

Definisi  $g_m$  dengan menggunakan pendekatan grafik membutuhkan tingkat akurasi yang tinggi karena perubahan dari tiap penempatan titik akan merubah nilai  $g_m$ . Semakin besar grafik yang digunakan, maka tingkat akurasi akan semakin baik, tetapi hal itu merupakan masalah tersendiri. Karena keterbatasan tersebut, maka dapat digunakan pendekatan matematis, dimana dalam mendefinisikan  $g_m$  tidak perlu lagi menggambar grafik terlebih dulu, tetapi hanya menggunakan persamaan matematis yang relatif lebih sederhana, sebagai berikut:

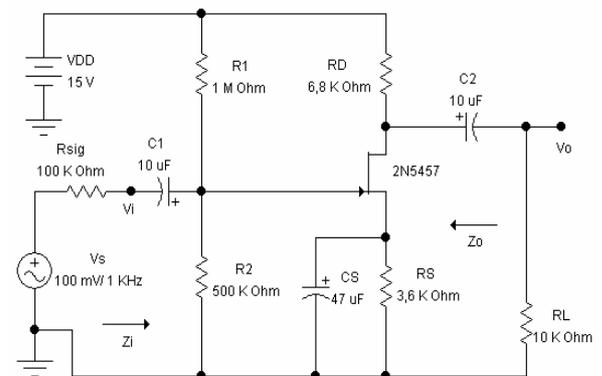
$$g_m = \frac{2I_{DSS}}{|V_{GS(off)}|} \left( 1 - \frac{V_{GS}}{V_{GS(off)}} \right) \tag{2}$$

Nilai maksimum transkonduktansi yang terjadi pada saat  $V_{GS} = 0 V$  disebut dengan  $g_{mo}$ , dan ditentukan dengan persamaan:

$$g_{mo} = \frac{2I_{DSS}}{|V_{GS(off)}|} \tag{3}$$

**Penguat Common Source (CS) [2]**

Rangkaian penguat *common source* ditunjukkan pada gambar 1. FET yang dipergunakan adalah 2N5457 [8].



Gambar 1. Penguat *common source*

impedansi masukan dan impedansi keluaran didefinisikan sebagai berikut:

$$Z_i = R_i \parallel R_2 \quad (4)$$

$$Z_o = R_D \parallel r_d \quad (5)$$

impedansi keluaran pada kondisi  $r_d \geq 10R_D$

$$Z_o = R_D \quad (6)$$

penguatan tegangan, adalah:

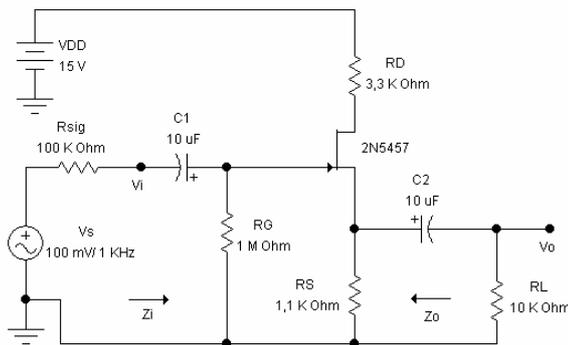
$$A_V = -g_m (r_d \parallel R_D \parallel R_L) \quad (7)$$

penguatan tegangan pada kondisi  $r_d \geq 10R_D$

$$A_V = -g_m (R_D \parallel R_L) \quad (8)$$

### Penguat *Common Drain* [2]

Rangkaian penguat *common drain* ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 2. Penguat *common drain*

impedansi masukan dan impedansi keluaran didefinisikan sebagai berikut:

$$Z_i = R_G \quad (9)$$

$$Z_o = r_d \parallel R_S \parallel 1/g_m \quad (10)$$

impedansi keluaran pada kondisi  $r_d \geq 10R_S$ , adalah:

$$Z_o = R_S \parallel 1/g_m \quad (11)$$

penguatan tegangan yaitu:

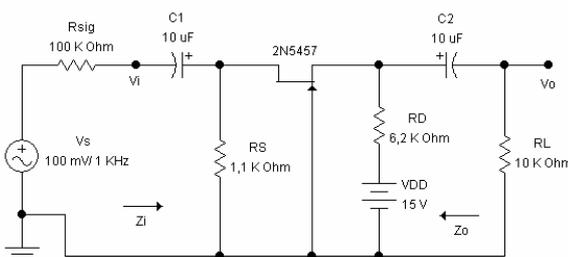
$$A_V = \frac{g_m (r_d \parallel R_S \parallel R_L)}{1 + g_m (r_d \parallel R_S \parallel R_L)} \quad (12)$$

penguatan tegangan pada kondisi  $r_d \geq 10R_S$

$$A_V = \frac{g_m (R_S \parallel R_L)}{1 + g_m (R_S \parallel R_L)} \quad (13)$$

### Penguat *Common Gate* [2]

Rangkaian penguat *common gate* ditunjukkan pada gambar 3.



Gambar 3. Penguat *common gate*

impedansi masukan didefinisikan sebagai berikut:

$$Z_i = R_S \parallel \left[ \frac{r_d + R_D}{1 + g_m r_d} \right] \quad (14)$$

impedansi masukan pada kondisi  $r_d \geq 10R_D$

$$Z_i = R_S \parallel 1/g_m \quad (15)$$

impedansi keluaran yaitu:

$$Z_o = R_D \parallel r_d \quad (16)$$

impedansi keluaran pada kondisi  $r_d \geq 10R_D$

$$Z_o = R_D \quad (17)$$

penguatan tegangan, yaitu:

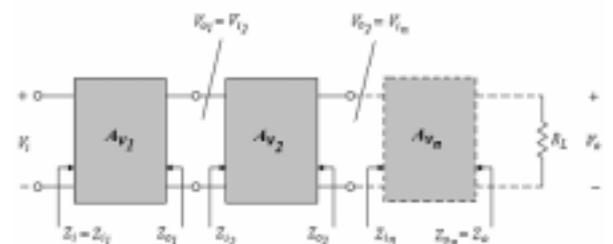
$$A_V = \frac{g_m (R_D \parallel R_L) + \frac{R_D}{r_d}}{1 + \frac{R_D}{r_d}} \quad (18)$$

penguatan tegangan pada kondisi  $r_d \geq 10R_D$

$$A_V = g_m (R_D \parallel R_L) \quad (19)$$

### Penguat Bertingkat (*Cascade Amplifier*)

Sistem penguat bertingkat (*cascade amplifier*) merupakan sistem penguatan pada transistor (BJT maupun FET) yang terdiri lebih dari satu tingkat di dalam konfigurasi rangkaiannya [7]. Penguat dengan menggunakan sistem *cascade* bertujuan untuk memperoleh bati tegangan yang lebih besar. Penguatan tegangan yang terjadi pada masing-masing tingkat adalah dalam kondisi terbebani (*under load condition*). Sistem *cascade* ini menggunakan keluaran dari penguat tingkat pertama sebagai masukan ke penguat tingkat kedua, dan seterusnya. Gambar 4. menunjukkan penguat dengan menggunakan sistem *cascade*.



Gambar 4. Penguat sistem *cascade* [2]

Dari gambar 4. diatas dapat dilihat bahwa  $A_{V1}$ ,  $A_{V2}$ , dan seterusnya merupakan penguatan tegangan dari masing-masing tingkat dalam kondisi terbebani (*under load condition*).  $V_{o1}$  ditentukan sebagai tegangan keluaran dari penguat tingkat pertama yang juga sebagai tegangan masukan ke penguat tingkat kedua ( $V_{o1} = V_{i2}$ ), dan seterusnya. Persamaan dari penguatan tegangan total dari sistem *cascade* ini adalah sebagai berikut:

$$A_V = A_{V1} \cdot A_{V2} \cdot A_{V3} \quad (20)$$

### Pengujian Penguat Cascade JFET

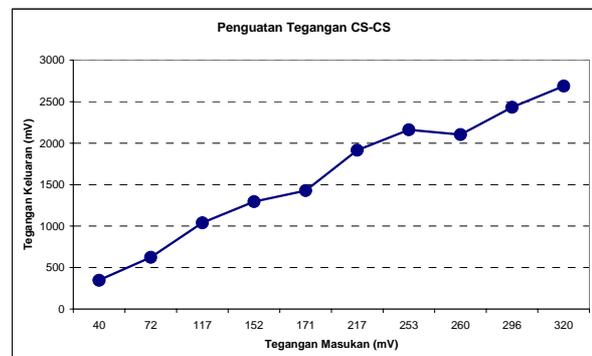
Pengujian penguat *cascade* JFET ini bertujuan untuk mengetahui besar penguatan (*gain*) tegangan dari kenaikan maupun penurunan tegangan keluaran terhadap variasi tegangan masukan dari penguat *cascade* JFET yang telah dirancang. Cara untuk melakukan pengujian penguat *cascade* JFET ini yaitu dengan menggunakan *function generator* yang dihubungkan dengan rangkaian penguat *cascade* JFET. Pada terminal masukan dan terminal keluaran dari penguat *cascade* JFET dihubungkan dengan *digital oscilloscope* agar dapat diketahui besar penguatan tegangan maupun bentuk sinyal masukan dan sinyal keluaran. Frekuensi dalam *function generator* diset pada nilai 1 KHz, sedangkan tegangan dinaikkan secara bertahap dari nilai 50 mV sampai 1000 mV.

### Pengujian Penguat CS-CS

Tabel 1. Tabel Hasil Pengukuran Penguat *Cascade* CS-CS

| $V_S$<br>(mV) | Tegangan ( $V_{P-P}$ ) |           | Gain<br>(Vo/Vi) | Gain<br>(dB) |
|---------------|------------------------|-----------|-----------------|--------------|
|               | Vin (mV)               | Vout (mV) |                 |              |
| 50            | 40                     | 348       | 8,7             | 18,79        |
| 100           | 72                     | 625       | 8,68            | 18,77        |
| 150           | 117                    | 1041      | 8,9             | 18,99        |
| 200           | 152                    | 1295      | 8,41            | 18,49        |
| 250           | 171                    | 1428      | 8,35            | 18,43        |
| 300           | 217                    | 1915      | 8,82            | 18,91        |
| 350           | 253                    | 2161      | 8,54            | 18,63        |
| 400           | 260                    | 2103      | 8,09            | 18,16        |
| 450           | 296                    | 2433      | 8,22            | 18,3         |
| 500           | 320                    | 2688      | 8,4             | 18,49        |

Berdasarkan tabel hasil pengukuran penguat *cascade* CS-CS di atas, maka didapatkan grafik perbandingan antara tegangan keluaran terhadap tegangan masukan seperti yang terlihat pada gambar 5.

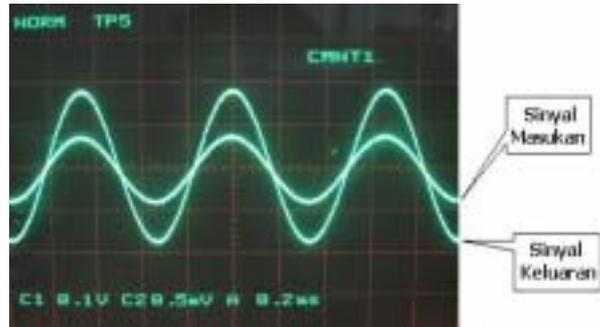


Gambar 5. Penguatan tegangan pada penguat *cascade* CS-CS

Berdasarkan tabel 1. dapat diketahui besar penguatan rata-rata dari penguat *cascade* CS-CS sebagai berikut:

$$\overline{A_V} = \frac{\sum \text{penguatan } (V_o/V_i)}{\sum \text{percobaan}} = \frac{85.11}{10} = 8,511$$

Bentuk sinyal masukan dan sinyal keluaran dari penguat ini pada tegangan sumber sebesar 300 mV/ 1 KHz, ditunjukkan pada gambar 6.



Gambar 6. Bentuk sinyal masukan dan sinyal keluaran penguat *cascade* CS-CS

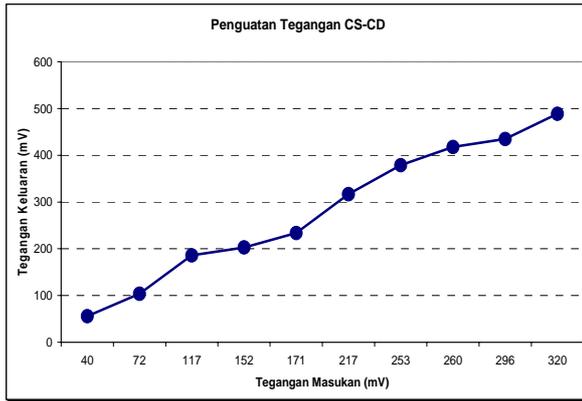
Dapat dilihat bahwa bentuk sinyal masukan dan bentuk sinyal keluaran penguat *cascade* CS-CS cukup baik dan tidak terdapat cacat serta tidak berkebalikan fasa. Dalam pengujian didapatkan bahwa sinyal tidak cacat mulai frekuensi 240 Hz sampai dengan frekuensi 2,7 KHz, sehingga didapatkan respon frekuensi (*frequency response*) pada penguat *cascade* CS-CS ini adalah 240 Hz – 2,7 KHz, atau sebesar 2,46 KHz.

### Pengujian Penguat CS-CD

Tabel 2. Tabel Hasil Pengukuran Penguat *Cascade* CS-CD

| $V_S$<br>(mV) | Tegangan ( $V_{P-P}$ ) |           | Gain<br>(Vo/Vi) | Gain<br>(dB) |
|---------------|------------------------|-----------|-----------------|--------------|
|               | Vin (mV)               | Vout (mV) |                 |              |
| 50            | 40                     | 56        | 1,4             | 2,92         |
| 100           | 72                     | 104       | 1,44            | 3,17         |
| 150           | 117                    | 186       | 1,59            | 4,03         |
| 200           | 152                    | 203       | 1,32            | 2,41         |
| 250           | 171                    | 234       | 1,37            | 2,73         |
| 300           | 217                    | 317       | 1,46            | 3,29         |
| 350           | 253                    | 379       | 1,5             | 3,52         |
| 400           | 260                    | 418       | 1,61            | 4,14         |
| 450           | 296                    | 435       | 1,47            | 3,35         |
| 500           | 320                    | 489       | 1,53            | 3,69         |

Grafik perbandingan antara tegangan keluaran terhadap tegangan masukan seperti yang terlihat pada gambar 7.

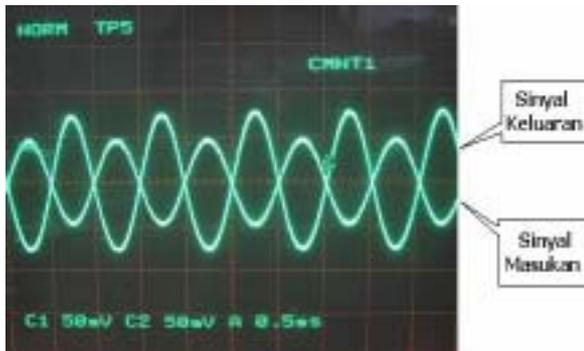


Gambar 7. Penguatan tegangan pada penguat *cascade* CS-CD

Berdasarkan tabel 2. dapat diketahui besar penguatan rata-rata dari penguat *cascade* CS-CD sebagai berikut:

$$\overline{A_v} = \frac{\sum \text{penguatan } (V_o/V_i)}{\sum \text{percobaan}} = \frac{14,69}{10} = 1,469$$

Bentuk sinyal masukan dan sinyal keluaran dari penguat ini pada tegangan sumber sebesar 150 mV/ 1 KHz, ditunjukkan pada gambar 8.



Gambar 8. Bentuk sinyal masukan dan keluaran penguat *cascade* CS-CD

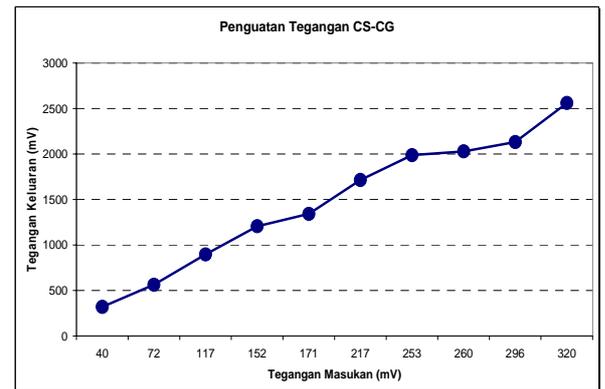
Dapat dilihat bahwa bentuk sinyal masukan dan bentuk sinyal keluaran penguat *cascade* CS-CD cukup baik dan tidak terdapat cacat yang berarti. Penguat *cascade* CS-CD ini memiliki penguatan tegangan yang tidak terlalu besar. Dalam pengujian didapatkan bahwa sinyal tidak cacat mulai frekuensi 200 Hz sampai dengan frekuensi 2,4 KHz, sehingga didapatkan respon frekuensi (*frequency response*) pada penguat *cascade* CS-CD ini adalah 200 Hz – 2,4 KHz, atau sebesar 2,2 KHz.

### Pengujian Penguat CS-CG

Tabel 3. Tabel Hasil Pengukuran Penguat *Cascade* CS-CG

| $V_s$<br>(mV) | Tegangan ( $V_{P-P}$ ) |                | Gain<br>( $V_o/V_i$ ) | Gain<br>(dB) |
|---------------|------------------------|----------------|-----------------------|--------------|
|               | $V_{in}$ (mV)          | $V_{out}$ (mV) |                       |              |
| 50            | 40                     | 319            | 7,98                  | 18,04        |
| 100           | 72                     | 563            | 7,82                  | 17,86        |
| 150           | 117                    | 896            | 7,66                  | 17,68        |
| 200           | 152                    | 1205           | 7,93                  | 17,99        |
| 250           | 171                    | 1342           | 7,85                  | 17,9         |
| 300           | 217                    | 1714           | 7,9                   | 17,95        |
| 350           | 253                    | 1987           | 8,02                  | 18,08        |
| 400           | 260                    | 2029           | 7,54                  | 17,55        |
| 450           | 296                    | 2131           | 7,2                   | 17,15        |
| 500           | 320                    | 2560           | 8                     | 18,06        |

Berdasarkan tabel hasil pengukuran penguat *cascade* CS-CG di atas, maka didapatkan grafik perbandingan antara tegangan keluaran terhadap tegangan masukan seperti yang terlihat pada gambar 9.

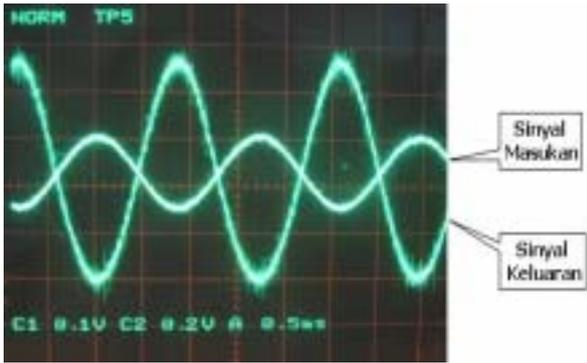


Gambar 9. Grafik Penguatan tegangan pada penguat *cascade* CS-CG

Berdasarkan tabel 3. dapat diketahui besar penguatan rata-rata dari penguat *cascade* CS-CG sebagai berikut:

$$\overline{A_v} = \frac{\sum \text{penguatan } (V_o/V_i)}{\sum \text{percobaan}} = \frac{77,9}{10} = 7,79$$

Bentuk sinyal masukan dan sinyal keluaran dari penguat ini pada tegangan sumber sebesar 200 mV/ 1 KHz, dapat dilihat pada gambar 10.



Gambar 10. Bentuk sinyal masukan dan keluaran penguat *cascade* CS-CG

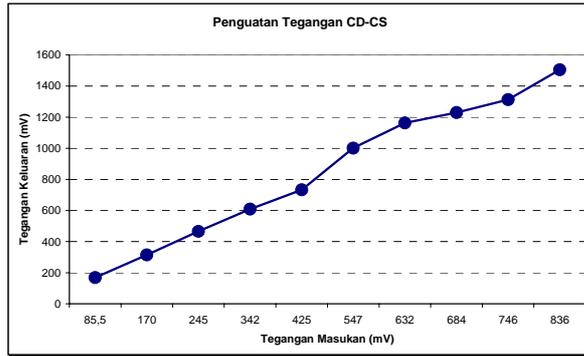
Penguat *cascade* CS-CG ini memiliki penguatan tegangan yang cukup besar. Bentuk sinyal keluaran berkebalikan fasa 180° dibanding bentuk sinyal masukan. Dapat dilihat bahwa bentuk sinyal keluaran penguat *cascade* CS-CG terdapat cacat pada tegangan sumber sebesar 200 mV/ 1 KHz. Dalam pengujian didapatkan bahwa sinyal tidak cacat mulai frekuensi 300 Hz sampai dengan frekuensi 2,8 KHz, sehingga didapatkan respon frekuensi (*frequency response*) pada penguat *cascade* CS-CG ini adalah 300 Hz – 2,8 KHz, atau sebesar 2,5 KHz.

### Pengujian Penguat CD-CS

Tabel 4. Tabel Hasil Pengukuran Penguat *Cascade* CD-CS

| $V_S$<br>(mV) | Tegangan ( $V_{P-P}$ ) |                   | Gain<br>( $V_o/V_i$ ) | Gain<br>(dB) |
|---------------|------------------------|-------------------|-----------------------|--------------|
|               | $V_{in}$<br>(mV)       | $V_{out}$<br>(mV) |                       |              |
| 100           | 85,5                   | 169               | 1,98                  | 5,93         |
| 200           | 170                    | 315               | 1,85                  | 5,34         |
| 300           | 245                    | 466               | 1,9                   | 5,58         |
| 400           | 342                    | 609               | 1,78                  | 5,01         |
| 500           | 425                    | 733               | 1,72                  | 4,71         |
| 600           | 547                    | 1001              | 1,83                  | 5,25         |
| 700           | 632                    | 1163              | 1,84                  | 5,3          |
| 800           | 684                    | 1230              | 1,9                   | 5,58         |
| 900           | 746                    | 1313              | 1,76                  | 4,91         |
| 1000          | 836                    | 1505              | 1,8                   | 5,11         |

Berdasarkan tabel hasil pengukuran penguat *cascade* CD-CS di atas, maka didapatkan grafik perbandingan antara tegangan keluaran terhadap tegangan masukan seperti yang terlihat pada gambar 11.

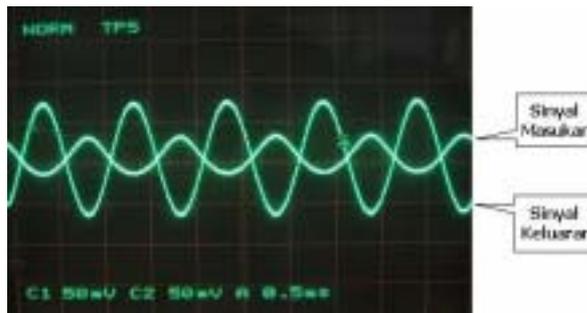


Gambar 11. Grafik Penguatan tegangan pada penguat *cascade* CD-CS

Berdasarkan tabel 4. dapat diketahui besar penguatan rata-rata dari penguat *cascade* CD-CS sebagai berikut:

$$A_v = \frac{\sum \text{penguatan } (V_o/V_i)}{\sum \text{percobaan}} = \frac{18,36}{10} = 1,836$$

Bentuk sinyal masukan dan sinyal keluaran dari penguat ini pada tegangan sumber 100 mV/ 1 KHz, dapat dilihat pada gambar 12.



Gambar 12. Bentuk sinyal masukan dan keluaran penguat *cascade* CD-CS

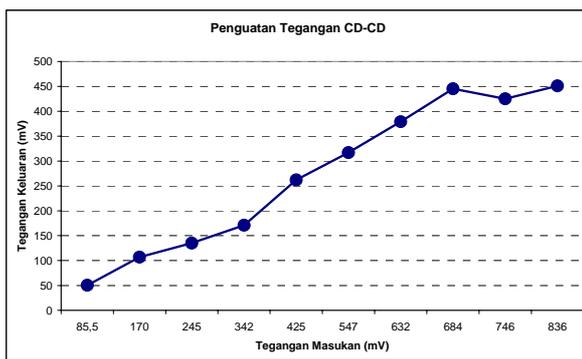
Dapat dilihat bahwa bentuk sinyal masukan dan bentuk sinyal keluaran penguat *cascade* CD-CS cukup baik dan tidak terdapat cacat yang berarti. Bentuk sinyal keluaran berkebalikan fasa 180° dibanding bentuk sinyal masukan. Penguat *cascade* CD-CS ini memiliki penguatan tegangan yang tidak terlalu besar. Dalam pengujian didapatkan bahwa sinyal tidak cacat mulai frekuensi 260 Hz sampai dengan frekuensi 2,2 KHz, sehingga didapatkan respon frekuensi (*frequency response*) pada penguat *cascade* CD-CS ini adalah 260 Hz – 2,2 KHz, atau sebesar 1,94 KHz.

### Pengujian Penguat CD-CD

Tabel 5. Tabel Hasil Pengukuran Penguat *Cascade* CD-CD

| $V_S$<br>(mV) | Tegangan ( $V_{P-P}$ ) |                   | Gain<br>( $V_o/V_i$ ) | Gain<br>(dB) |
|---------------|------------------------|-------------------|-----------------------|--------------|
|               | $V_{in}$<br>(mV)       | $V_{out}$<br>(mV) |                       |              |
| 100           | 85,5                   | 50,5              | 0,59                  | -4,58        |
| 200           | 170                    | 107               | 0,63                  | -4,01        |
| 300           | 245                    | 135               | 0,55                  | -5,19        |
| 400           | 342                    | 171               | 0,5                   | -6,02        |
| 500           | 425                    | 262               | 0,62                  | -4,15        |
| 600           | 547                    | 317               | 0,58                  | -4,73        |
| 700           | 632                    | 379               | 0,6                   | -4,44        |
| 800           | 684                    | 445               | 0,65                  | -3,74        |
| 900           | 746                    | 425               | 0,57                  | -4,88        |
| 1000          | 836                    | 451               | 0,54                  | -5,35        |

Berdasarkan tabel hasil pengukuran penguat *cascade* CD-CD di atas, maka didapatkan grafik perbandingan antara tegangan keluaran terhadap tegangan masukan seperti yang terlihat pada gambar 13.



Gambar 13. Grafik Penguatan tegangan pada penguat *cascade* CD-CD

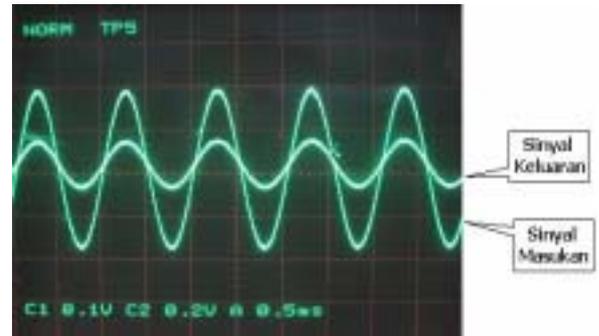
Berdasarkan tabel 5. dapat diketahui besar penguatan rata-rata dari penguat *cascade* CD-CD sebagai berikut:

$$A_V = \frac{\sum \text{penguatan } (V_o/V_i)}{\sum \text{percobaan}} = \frac{5,83}{10} = 0,583$$

Bentuk sinyal masukan dan bentuk sinyal keluaran dari penguat ini pada tegangan sumber sebesar 500 mV/ 1 KHz, dapat dilihat pada gambar 14.

Penguat *cascade* CD-CD ini memiliki bentuk sinyal masukan dan bentuk sinyal keluaran penguat *cascade* CD-CD baik dan tidak terdapat cacat. Hal ini menunjukkan bahwa penguat *cascade* CD-CD adalah penguat cukup baik untuk aplikasi rangkaian linier. Dalam pengujian didapatkan bahwa sinyal tidak cacat mulai frekuensi 200 Hz sampai frekuensi 2,8 KHz,

sehingga didapatkan respon frekuensi (*frequency response*) pada penguat *cascade* CD-CD ini adalah 200 Hz – 2,8 KHz, atau sebesar 2,6 KHz.



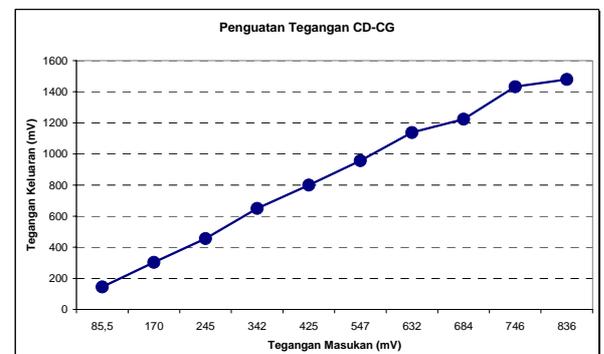
Gambar 14. Bentuk sinyal masukan dan keluaran penguat *cascade* CD-CD

### Pengujian Penguat CD-CG

Tabel 6. Tabel Hasil Pengukuran Penguat *Cascade* CD-CG

| $V_S$<br>(mV) | Tegangan ( $V_{P-P}$ ) |                   | Gain<br>( $V_o/V_i$ ) | Gain<br>(dB) |
|---------------|------------------------|-------------------|-----------------------|--------------|
|               | $V_{in}$<br>(mV)       | $V_{out}$<br>(mV) |                       |              |
| 100           | 85,5                   | 145               | 1,7                   | 4,61         |
| 200           | 170                    | 303               | 1,78                  | 5,01         |
| 300           | 245                    | 456               | 1,86                  | 5,39         |
| 400           | 342                    | 650               | 1,9                   | 5,58         |
| 500           | 425                    | 800               | 1,88                  | 5,48         |
| 600           | 547                    | 957               | 1,75                  | 4,86         |
| 700           | 632                    | 1138              | 1,8                   | 5,11         |
| 800           | 684                    | 1224              | 1,79                  | 5,06         |
| 900           | 746                    | 1432              | 1,92                  | 5,67         |
| 1000          | 836                    | 1479              | 1,77                  | 4,96         |

Berdasarkan tabel hasil pengukuran penguat *cascade* CD-CG di atas, maka didapatkan grafik perbandingan antara tegangan keluaran terhadap tegangan masukan seperti yang terlihat pada gambar 15.

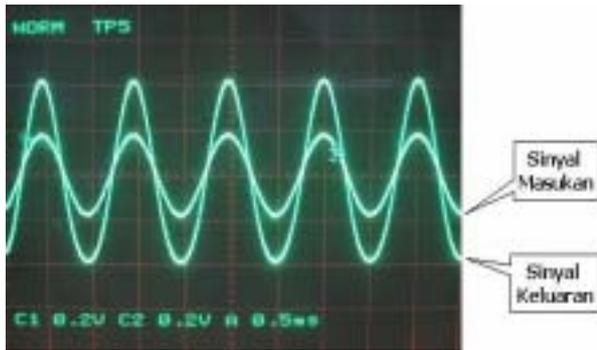


Gambar 15. Penguatan tegangan pada penguat *cascade* CD-CG

Berdasarkan tabel 6. dapat diketahui besar penguatan rata-rata dari penguat *cascade* CD-CG sebagai berikut:

$$\overline{A_v} = \frac{\sum \text{penguatan } (V_o/V_i)}{\sum \text{percobaan}} = \frac{18,15}{10} = 1,815$$

Bentuk sinyal masukan dan bentuk sinyal keluaran dari penguat ini pada tegangan sumber sebesar 500 mV/ 1 KHz, dapat dilihat pada gambar 16.



Gambar 16. Bentuk sinyal masukan dan keluaran penguat *cascade* CD-CG

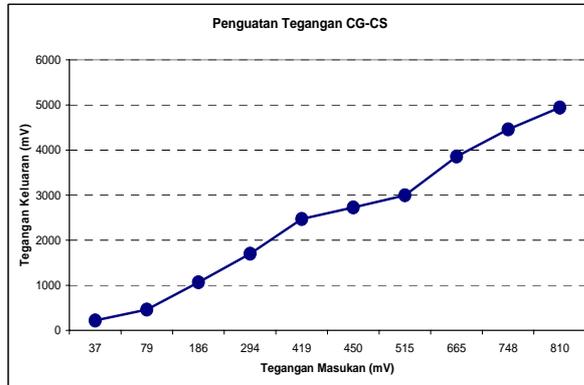
Penguat *cascade* CD-CG ini memiliki penguatan tegangan yang cukup besar. Dapat dilihat bahwa bentuk sinyal masukan dan bentuk sinyal keluaran penguat *cascade* CD-CG cukup baik dan tidak terdapat cacat yang berarti. Dalam pengujian didapatkan bahwa sinyal tidak cacat mulai frekuensi 320 Hz sampai frekuensi 2,6 KHz, sehingga didapatkan respon frekuensi (*frequency response*) pada penguat *cascade* CD-CG ini adalah 320 Hz – 2,6 KHz, atau sebesar 2,28 KHz.

### Pengujian Penguat CG-CS

Tabel 7. Tabel Hasil Pengukuran Penguat *Cascade* CG-CS

| VS (mV) | Tegangan (V <sub>P-P</sub> ) |                       | Gain (V <sub>o</sub> /V <sub>i</sub> ) | Gain (dB) |
|---------|------------------------------|-----------------------|--|-----------|
|         | V <sub>in</sub> (mV)         | V <sub>out</sub> (mV) |  |           |
| 50      | 37                           | 219                   | 5,91                                   | 15,43     |
| 100     | 79                           | 461                   | 5,84                                   | 15,33     |
| 250     | 186                          | 1068                  | 5,74                                   | 15,18     |
| 400     | 294                          | 1700                  | 5,78                                   | 15,24     |
| 500     | 419                          | 2472                  | 5,9                                    | 15,42     |
| 600     | 450                          | 2727                  | 6,06                                   | 15,65     |
| 700     | 515                          | 2997                  | 5,82                                   | 15,3      |
| 750     | 665                          | 3857                  | 5,8                                    | 15,27     |
| 900     | 748                          | 4458                  | 5,96                                   | 15,5      |
| 1000    | 810                          | 4941                  | 6,1                                    | 15,71     |

Berdasarkan tabel hasil pengukuran penguat *cascade* CG-CS di atas, maka didapatkan grafik perbandingan antara tegangan keluaran terhadap tegangan masukan seperti yang terlihat pada gambar 17.

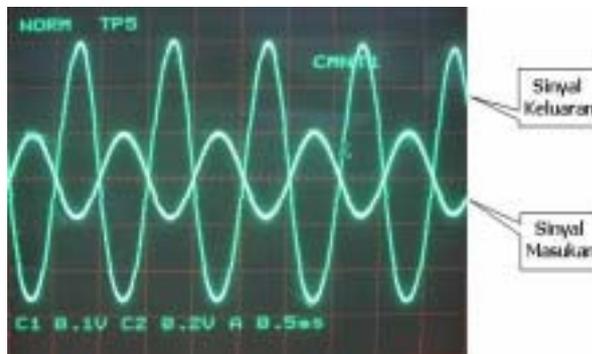


Gambar 17. Penguatan tegangan pada penguat *cascade* CG-CS

Berdasarkan tabel 7. dapat diketahui besar penguatan rata-rata dari penguat *cascade* CG-CS sebagai berikut:

$$\overline{A_v} = \frac{\sum \text{penguatan } (V_o/V_i)}{\sum \text{percobaan}} = \frac{58,91}{10} = 5,891$$

Bentuk sinyal masukan dan bentuk sinyal keluaran dari penguat ini pada tegangan sumber sebesar 400 mV/ 1 KHz, dapat dilihat pada gambar 18.



Gambar 18. Bentuk sinyal masukan dan keluaran penguat *cascade* CG-CS

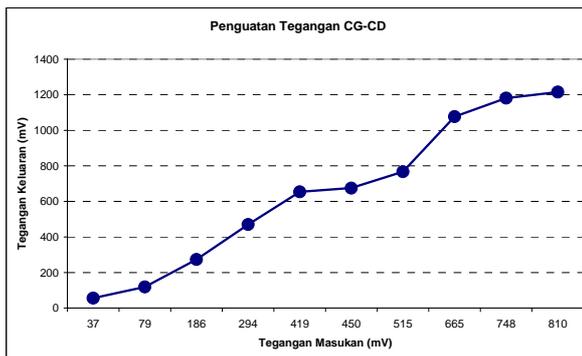
Penguat *cascade* CG-CS ini memiliki penguatan tegangan yang tidak terlalu besar. Bentuk sinyal masukan dan bentuk sinyal keluaran penguat *cascade* CG-CS cukup baik dan tidak terdapat cacat yang berarti. Dalam pengujian didapatkan bahwa sinyal tidak cacat mulai frekuensi 300 Hz sampai frekuensi 2,5 KHz, sehingga didapatkan respon frekuensi (*frequency response*) pada penguat *cascade* CG-CS ini adalah 300 Hz – 2,5 KHz, atau sebesar 2,2 KHz.

### Pengujian Penguat CG-CD

Tabel 8. Tabel Hasil Pengukuran Penguat *Cascade* CG-CD

| $V_S$<br>(mV) | Tegangan ( $V_{P-P}$ ) |                | Gain<br>( $V_o/V_i$ ) | Gain<br>(dB) |
|---------------|------------------------|----------------|-----------------------|--------------|
|               | $V_{in}$ (mV)          | $V_{out}$ (mV) |                       |              |
| 50            | 37                     | 56             | 1,52                  | 3,64         |
| 100           | 79                     | 119            | 1,51                  | 3,58         |
| 250           | 186                    | 273            | 1,47                  | 3,35         |
| 400           | 294                    | 470            | 1,6                   | 4,08         |
| 500           | 419                    | 654            | 1,56                  | 3,86         |
| 600           | 450                    | 675            | 1,5                   | 3,52         |
| 700           | 515                    | 767            | 1,49                  | 3,46         |
| 750           | 665                    | 1077           | 1,62                  | 4,19         |
| 900           | 748                    | 1181           | 1,58                  | 3,97         |
| 1000          | 810                    | 1215           | 1,5                   | 3,52         |

Berdasarkan tabel hasil pengukuran penguat *cascade* CG-CD di atas, maka didapatkan grafik perbandingan antara tegangan keluaran terhadap tegangan masukan seperti yang terlihat pada gambar 19.



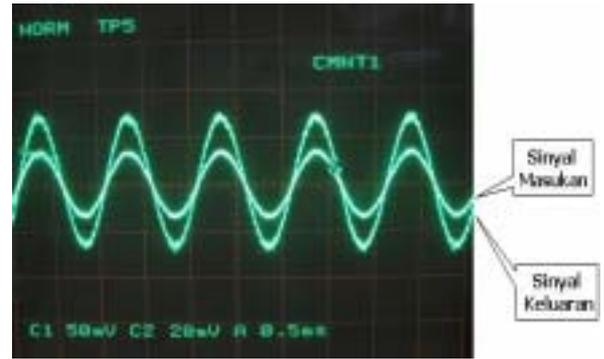
Gambar 19. Penguatan tegangan pada penguat *cascade* CG-CD

Berdasarkan tabel 8. dapat diketahui besar penguatan rata-rata dari penguat *cascade* CG-CD sebagai berikut:

$$A_v = \frac{\sum \text{penguatan } (V_o/V_i)}{\sum \text{percobaan}} = \frac{15,35}{10} = 1,535$$

Bentuk sinyal masukan dan bentuk sinyal keluaran dari penguat ini pada tegangan sumber sebesar 100 mV/60 KHz, dapat dilihat pada gambar 20.

Bentuk sinyal masukan dan bentuk sinyal keluaran penguat *cascade* CG-CD cukup baik dan tidak terdapat cacat yang berarti. Dalam pengujian didapatkan bahwa sinyal tidak cacat mulai frekuensi 260 Hz sampai frekuensi 2,7 KHz, sehingga didapatkan respon frekuensi (*frequency response*) pada penguat *cascade* CG-CD ini adalah 260 Hz – 2,7 KHz, atau sebesar 2,44 KHz.



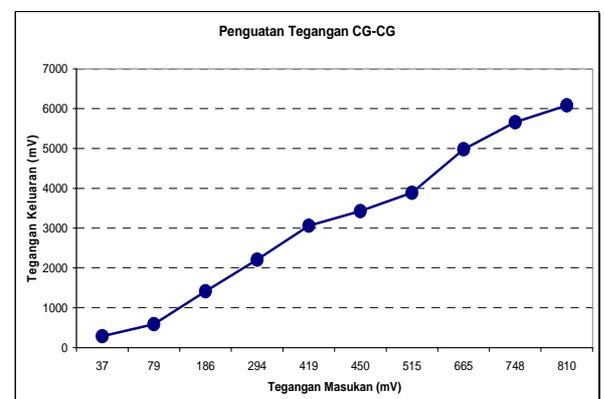
Gambar 20. Bentuk sinyal masukan dan keluaran penguat *cascade* CG-CD

### Pengujian Penguat CG-CG

Tabel 9. Tabel Hasil Pengukuran Penguat *Cascade* CG-CG

| $V_S$<br>(mV) | Tegangan ( $V_{P-P}$ ) |                | Gain<br>( $V_o/V_i$ ) | Gain<br>(dB) |
|---------------|------------------------|----------------|-----------------------|--------------|
|               | $V_{in}$ (mV)          | $V_{out}$ (mV) |                       |              |
| 50            | 37                     | 288,5          | 7,8                   | 17,84        |
| 100           | 79                     | 588            | 7,44                  | 17,43        |
| 250           | 186                    | 1414           | 7,6                   | 17,62        |
| 400           | 294                    | 2211           | 7,52                  | 17,52        |
| 500           | 419                    | 3060           | 7,3                   | 17,27        |
| 600           | 450                    | 3429           | 7,62                  | 17,64        |
| 700           | 515                    | 3888           | 7,55                  | 17,56        |
| 750           | 665                    | 4981           | 7,49                  | 17,49        |
| 900           | 748                    | 5662           | 7,57                  | 17,58        |
| 1000          | 810                    | 6083           | 7,51                  | 17,51        |

Berdasarkan tabel hasil pengukuran penguat *cascade* CG-CG di atas, maka didapatkan grafik perbandingan antara tegangan keluaran terhadap tegangan masukan seperti yang terlihat pada gambar 21.

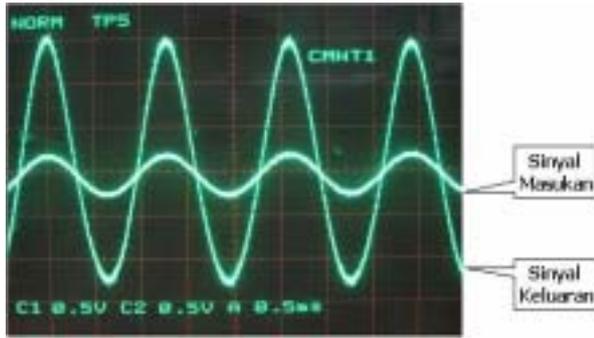


Gambar 21. Penguatan tegangan pada penguat *cascade* CG-CG

Berdasarkan tabel 9. dapat diketahui besar penguatan rata-rata dari penguat *cascade* CG-CG sebagai berikut:

$$\overline{A_v} = \frac{\sum \text{penguatan } (V_o/V_i)}{\sum \text{percobaan}} = \frac{75,4}{10} = 7,54$$

Bentuk sinyal masukan dan bentuk sinyal keluaran dari penguat ini pada tegangan sumber sebesar 500 mV/ 1 KHz, dapat dilihat pada gambar 22.



Gambar 22. Bentuk sinyal masukan dan keluaran penguat *cascade* CG-CG

Penguat *cascade* CG-CG ini memiliki penguatan tegangan yang cukup besar. Dapat dilihat bahwa bentuk sinyal masukan dan bentuk sinyal keluaran penguat *cascade* CG-CG tidak terdapat cacat yang berarti. Dalam pengujian didapatkan bahwa sinyal tidak cacat mulai frekuensi 250 Hz sampai frekuensi 2,9 KHz, sehingga didapatkan respon frekuensi (*frequency response*) pada penguat *cascade* CG-CG ini adalah 250 Hz – 2,9 KHz, atau sebesar 2,65 KHz.

**Kesimpulan**

Dalam pengujian yang dilakukan pada penguat *cascade* JFET, didapatkan bahwa penguatan tegangan terbesar adalah pada penguat *cascade* CS-CS yaitu sebesar 8,511 sedangkan pada perencanaan dihasilkan penguatan sebesar 16, yang berarti jauh lebih kecil dari perencanaan. Penguatan tegangan terkecil adalah pada penguat *cascade* CD-CD yaitu sebesar 0,583 sedangkan pada perencanaan dihasilkan penguatan sebesar 0,4 yang berarti mendekati dengan perencanaan. Penguat *cascade* yang menggunakan *common drain* dalam konfigurasi, penguatannya selalu menjadi lebih kecil karena penguat *common drain* selalu mempunyai penguatan yang lebih kecil dari 1. Perbandingan karakteristik penguat *cascade* JFET ditunjukkan pada tabel 10.

Tabel 10. Tabel Perbandingan Karakteristik Penguat *Cascade* JFET

| Konfigurasi | Penguatan (Vo/Vi) |              | Impedansi |          | Respon Frekuensi |
|-------------|-------------------|--------------|-----------|----------|------------------|
|             | Perencanaan       | Implementasi | Masukan   | Keluaran |                  |
| CS-CS       | 16                | 8,511        | 392 KΩ    | 7,13 KΩ  | 2,46 KHz         |
| CS-CD       | 2                 | 1,469        | 357 KΩ    | 0,89 KΩ  | 2,2 KHz          |
| CS-CG       | 16                | 7,79         | 376 KΩ    | 6,96 KΩ  | 2,5 KHz          |
| CD-CS       | 3,2               | 1,836        | 1,34 MΩ   | 6,74 KΩ  | 1,94 KHz         |
| CD-CD       | 0,4               | 0,583        | 1,13 MΩ   | 0,82KΩ   | 2,6 KHz          |
| CD-CG       | 3,2               | 1,815        | 1,25 MΩ   | 7,21 KΩ  | 2,28 KHz         |
| CG-CS       | 16                | 5,891        | 0,68 KΩ   | 7,05 KΩ  | 2,2 KHz          |
| CG-CD       | 2                 | 1,535        | 0,97 KΩ   | 0,79 KΩ  | 2,44 KHz         |
| CG-CG       | 16                | 7,54         | 0,88 KΩ   | 6,87 KΩ  | 2,65 KHz         |

Dari tabel 10. dapat dihasilkan beberapa rekomendasi mengenai penguat *cascade* dua tingkat menggunakan JFET, diantaranya adalah:

- Penguat *cascade* yang mempunyai penguatan tegangan terbesar adalah penguat CS-CS, sedangkan penguat *cascade* yang mempunyai penguatan tegangan terkecil adalah penguat CD-CD.
- Penguat *cascade* yang mempunyai impedansi masukan terbesar adalah penguat yang menggunakan *common drain* sebagai tingkat pertamanya (karena dalam perencanaan, penguat *common drain* menggunakan konfigurasi bias sendiri sebagai DC biasanya).
- Penguat *cascade* yang mempunyai impedansi keluaran terkecil adalah penguat yang menggunakan *common drain* sebagai tingkat keduanya.
- Penguat *cascade* yang mempunyai impedansi masukan dan impedansi keluaran terkecil adalah penguat CG-CD.
- Bila ingin merancang penguat dengan penguatan yang besar dengan impedansi masukan yang juga besar, dapat digunakan penguat *cascade* CS-CS atau CS-CG. Perbedaannya adalah pada bentuk sinyalnya. Bila pada penguat CS-CG, sinyal keluaran mempunyai fasa yang berkebalikan 180° dari sinyal masukan, tetapi pada penguat CS-CS, sinyal keluaran mempunyai fasa yang sama dengan sinyal masukan.
- Bila ingin merancang penguat dengan penguatan yang besar dengan impedansi masukan kecil, dapat digunakan penguat *cascade* CG-CS atau CG-CG. Perbedaannya adalah pada bentuk sinyalnya. Bila pada penguat CG-CS, sinyal keluaran mempunyai fasa yang berkebalikan 180° dari sinyal masukan, tetapi pada penguat CG-CG, sinyal keluaran mempunyai fasa yang sama dengan sinyal masukan.
- Penguat *cascade* yang mempunyai respon frekuensi (*frequency response*) terbesar adalah penguat CG-CG yaitu 2,65 KHz, sedangkan yang mempunyai respon frekuensi (*frequency response*) terkecil adalah penguat CD-CS yaitu 1,94 KHz.

### Daftar Pustaka

- [1] Aminian, Ali, and Marian Kazimierczuk. *Electronic Devices*. New Jersey: Pearson Prentice-Hall, Inc. 2004.
- [2] Boylestad, Robert, and Louis Nashelky. *Electronic Devices And Circuit Theory*. 9th ed. New Jersey: Pearson Prentice-Hall, Inc. 2006.
- [3] Floyd, Thomas L. *Electronic Devices*. 4th ed. New Jersey: Prentice Hall International, Inc. 1996.
- [4] Kuphaldt, Tony R. *Lessons In Electric Circuits*. September, 13. 2005.[http://www.faqs.org/docs/electric/semi/semi\\_5.html](http://www.faqs.org/docs/electric/semi/semi_5.html)
- [5] Malvino, Albert Paul. *Prinsip-Prinsip Elektronika*. (Alb. Joko Santoso). Jakarta: Salemba Teknik. 2003.
- [6] Widodo, Thomas Sri. *Elektronika Dasar*. Jakarta: Salemba Teknik. 2002.
- [7] Neamen, Donald A. *Electronic Circuit Analysis and Design*. Chicago: Times Mirror Higher Education Group, Inc. 1996.
- [8] On Semiconductor. *2N5457 JFETs General Purpose N-Channel Depletion*. November, 21. 2005. Datasheet. <<http://www.alldatasheet.com/datasheet/view/2764/ON/2N54567.pdf>