

PERANCANGAN *PREAMPLIFIER* PITA LEBAR UNTUK PENERIMA OPTIK

Oleh: Lilik Eko Nuryanto

Staf Pengajar Jurusan Teknik Elektro – Politeknik Negeri Semarang
Jl. Prof. H. Soedarto, SH, Tembalang Semarang – 50275

Abstrak

Perancangan ini menunjukkan Penguat Awal transimpedansi pita lebar (wideband transimpedance preamplifier) untuk penerima optik. Pengaruh dari bootstrapping pada pita lebar dan sumber noise (khususnya noise panas yang dihasilkan oleh tahanan umpan balik (feedback resistor), R_f) telah diobservasi. Juga telah diobservasi bahwa resistansi seri umpan balik negatif (R_{em}) dapat meningkatkan bandwidth penerima (receiver). Resistansi umpan balik (R_f) dan I_{c2} shot noise pada frekuensi tinggi menjadi sumber dominan noise. Hasil perkiraan komputer dibandingkan dengan perhitungan secara teori difokuskan pada pita lebar dari penerima (receivers). Tingkat kesensitifan dari penerima (receiver) juga telah dihitung untuk tingkat kesalahan 10^{-9} .

Kata Kunci : *Wideband, Preamplifier, receivers, optik, noise*

1. Pendahuluan

1.1. Penerima Optik

Tujuan dari suatu penerima (*receiver*) dalam sistem komunikasi fiber optik adalah untuk meng-ekstrak informasi dari pembawa optik yang menyimpang pada detektor. Pada sistem digital, penerima tersebut harus menghasilkan urutan pulsa elektrik ("satu" dan "nol") yang dengan tepat mereproduksi informasi digital yang terkesan pada sinyal cahaya pemancar (*transmitter*). Dalam sistem modulasi analog, penerima harus memperkuat output detektor dan men-demodulasi informasi analog dari gelombang yang diperkuat.

Penerima terdiri dari detektor yang mengubah cahaya yang masuk menjadi sinyal listrik, diikuti oleh amplifier yang cocok yang kemudian diikuti oleh tahap tertentu lainnya tergantung pada aplikasi. Detektor dalam makalah ini akan menjadi PIN - fotodiode dan ini diumpangkan ke preamplifier yang mempekerjakan BJT (*Bipolar Junction Transistor*).

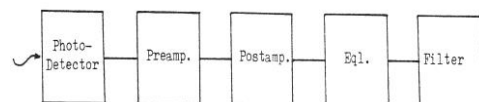
Tujuan dari makalah ini adalah untuk merancang dan mensimulasikan (dengan komputer) "Preamplifier Pita Lebar untuk Penerima Optik" berdasarkan penguat diferensial (*ECL* atau pasangan ekor panjang) dengan keseluruhan umpan balik negatif paralel (*shunt negative feedback*)-dinamakan penguat transimpedansi (Z_T).

Bootstrapping juga akan dipertimbangkan untuk mengurangi efek dari kapasitansi photodiode C_d , sehingga memungkinkan nilai R_f (resistor umpan balik) menjadi meningkat, jadi mengurangi kebisingan (*noise*) yang diperkenalkan oleh preamplifier tersebut. Diagram blok yang lebih rinci dari penerima optik standar ditunjukkan pada Gambar 1.1 dan Gambar 1.2.



Gambar 1.1. Komponen Penerima Optik Dasar

Konfigurasi ini berguna untuk kedua aplikasi analog maupun digital, tapi untuk sistem digital suatu sirkuit keputusan juga akan diperlukan. Masing-masing blok akan dijelaskan lebih rinci.



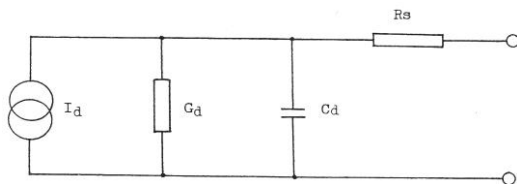
Gambar 1.2. Diagram Blok Penerima Optik Standar

1.1.1. Detektor Cahaya (*Photodetector*)

Dalam kebanyakan sistem serat optik, detektor cahaya (*photodetector*) adalah p-i-n atau longsoran fotodiode, meskipun pada

prinsipnya sebuah *phototransistor* atau *photomultiplier* dapat digunakan.

Dalam operasi photodiode, yang dibias arah mundur, menyerap radiasi insiden, menghasilkan pasangan elektron-lubang yang melayang ke elektroda detektor menghasilkan arus dalam sirkuit eksternal. Rangkaian ekuivalen detektor tersebut ditampilkan pada Gambar 1.3.



Gambar 1.3. Rangkaian Ekuivalen Untuk Photodiode Yang Dibias Arah Mundur

Konduktansi paralel kecil, G_d , merupakan kemiringan karakteristik pembiasan arah mundur. R_s adalah resistansi dari semikonduktor massal dan kontak, dan biasanya kurang dari sepuluh ohm. Kedua parameter tersebut dapat diabaikan meninggalkan C_d , kapasitansi sambungan p-n, disebut kapasitansi penipisan lapisan.

1.1.2. Preamplifier dan Postamplifier

Photocurrent yang dihasilkan oleh detektor harus dikonversi ke sinyal yang dapat digunakan untuk diproses lebih lanjut dengan jumlah minimum *noise* ditambahkan. *Preamplifier* dapat didefinisikan sebagai tahap pertama atau tahap amplifikasi mengikuti photodetektor. Dengan demikian akan menjadi sumber dominan *noise* yang ditambahkan ke sinyal dan karenanya perancangan akan menjadi faktor utama dalam menentukan sensitivitas dari penerima (*receiver*).

Postamplifier, ditunjukkan pada Gambar 1.2, memberikan sisa penguatan sinyal. Ini bisa mendahului atau mengikuti *equalizer* atau dapat dimasukkan ke dalam fungsi dari *equalizer* dan *filter*. Karena tidak akan memberikan kontribusi *noise* yang signifikan dalam sistem yang dirancang dengan baik, hal tersebut ditunjukkan

secara skematik terletak antara *preamplifier* dan *equalizer*.

Postamplifier dapat berisi fitur seperti *automatic level control* untuk menjaga tingkat sinyal output konstan serta menjepit sirkuit untuk referensi sinyal ke tingkat tegangan tertentu.

1.1.3 Equalizer dan Filter

Fungsi transfer dari kombinasi *preamplifier* - *postamplifier* mungkin seperti bentuk gelombang sinyal terdistorsi, atau sinyal insiden mungkin terdistorsi karena efek dispersif dalam medium serat. Peran *equalizer* adalah untuk menghilangkan) distorsi sinyal linear tersebut, memberikan bentuk pulsa yang wajar untuk *filter* akhir.

Elemen terakhir di penerima adalah *filter*. *Filter* tersebut akan beroperasi pada kedua sumber sinyal dan sumber *noise*, dan fungsi utamanya adalah untuk memaksimalkan rasio *signal-to-noise* sambil menjaga fitur penting dari sinyal.

1.2. Konfigurasi Rangkaian Preamplifier

Dua bentuk yang paling umum digunakan konfigurasi rangkaian untuk *preamplifier* adalah penguat FET *common source* dan penguat bipolar *common emitter*. Dalam makalah ini, hanya konfigurasi *amplifier* bipolar *common emitter* yang dipertimbangkan. Pilihan konfigurasi rangkaian untuk *preamplifier* sebagian besar tergantung pada aplikasi sistem, dan masing-masing konfigurasi memiliki karakteristik yang akan memberikan kontribusi untuk konfigurasi *preamplifier* tertentu. Dua konfigurasi *preamplifier* yang digunakan secara komersial adalah *preamplifier* impedansi tinggi dan *preamplifier* transimpedansi.

1.2.1 Preamplifier Impedansi Tinggi

Pendekatan ini menawarkan sensitivitas tinggi dengan mengurangi semua sumber *noise* menjadi minimum. *Noise* panas dikurangi dengan menggunakan resistor

bias detektor besar, sehingga membentuk impedansi tinggi. Ketika resistansi input besar, atmitansi input didominasi oleh kapasitansi input dan output detektor terintegrasi secara efektif. Sehingga, Ekualisasi diperlukan seperti yang ditunjukkan dengan *preamplifier* pada Gambar 1.4, di mana R_i adalah resistansi masukan dan C_i adalah kapasitansi masukan. *Preamplifier* ini juga mengalami pengurangandynamic range yang tergantung pada jumlah integrasi dan ekualisasi selanjutnya yang digunakan. (Ref.1)

1.2.2. Preamplifier Transimpedansi

Transimpedansi atau penguat umpan balik paralel (*shunt feedback amplifier*) adalah perancangan *front end* yang paling umum digunakan dalam aplikasi serat optik. *Preamplifier* Transimpedansi sebagian besar mengatasi kelemahan dari pendekatan impedansi tinggi. Ditunjukkan secara skematis pada Gambar 1.5, di mana R_f adalah resistansi umpan balik, pada dasarnya adalah konverter arus ke tegangan dan impedansi *front end* dikurangi dengan umpan balik negatif. Hal ini dapat membuatbandwidth lebar, memberikan rentang dinamis yang lebih besar dibandingkan dengan pendekatan impedansi tinggi dan garis coding tidak diperlukan ketika menggunakan *preamplifier* transimpedansi.

Tidak diperlukan ekualisasi. Kinerja noise tergantung pada ketahanan umpan balik, menjadi sumber utama noise panas. Menambah nilai resitansi umpan balik akan mengurangi kontribusi noise tetapi tidak dapat ditingkatkan tanpa batas karena masalah stabilitas dalam lingkaran tertutup (*close loop*) dan karena bandwidth-nya akan berkurang.

Break-frekuensi (f_b) dari rangkaian ditunjukkan pada Gambar 1.5 dapat ditulis

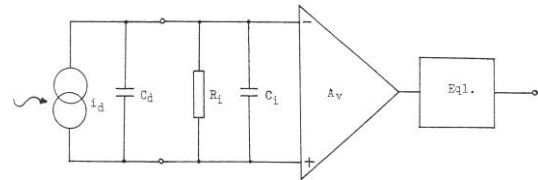
$$f_b = \frac{1}{2 \pi C_{in} \left(\frac{R_f}{1 + |A_{vo}|} // r_{\pi} \right)} \quad (1)$$

dimana :

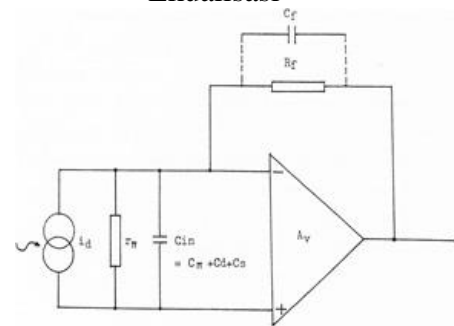
$$C_{in} = C_d + C_{\pi} + C_s + 2C_u + (1 + |A_{vo}|) C_f$$

$$A_{vo} = \frac{V_o}{V_i}$$

dan tahap pertama terdiri dari pengaturan *cascode*.



Gambar 1.4. Representasi Sederhana dari Amplifier Impedansi Tinggi dengan Ekualisasi



Gambar 1.5. Representasi Sederhana dari Preamplifier Transimpedansi

2. Perancangan Preamplifier

Seperti disebutkan dalam bagian 1 penguat transimpedansi akan digunakan untuk merancang konfigurasi *front end* yang menggunakan BJT. Sebuah perancangan transimpedansi menawarkan bandwidth yang lebar, besar jangkauan sinyal dinamisnya dan dapat digunakan dalam sistem di mana garis coding tidak diizinkan. Hal ini juga memiliki keunggulan, dibandingkan dengan amplifier impedansi tinggi, adalah bahwa hal itu tidak memerlukan *equalizer*.

Perancangan yang disajikan di sini adalah versi akhir dan telah dibantu oleh penggunaan simulasi komputer menggunakan SPICE(Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis). Kebutuhan bandwidth telah ditetapkan menjadi sekitar 35 MHz.

2.1. Penerima Optik (Optical Receiver) Yang Diterapkan

Gambar 2.1 menunjukkan perancangan penerima berdasarkan pada penguat diferensial dengan keseluruhan umpan balik negatif paralel (*shunt negative feedback*). Penerima pada dasarnya terdiri dari fotodiode diikuti oleh preamplifier. *Self-biasing* dicapai dengan cara menggunakan umpan balik negatif melalui R_f (resistansi umpan balik).

Boostrapping diperkenalkan dengan menghubungkan C_B , (kapasitor *bootstrap*), untuk mengurangi efek dari dioda kapasitansi C_d , dan karenanya memungkinkan nilai R_f ditingkatkan, sehingga mengurangi *noise* yang diperkenalkan oleh *preamplifier* tersebut. Pengikut emitor (*Emitter Followers*) digunakan sebagai tahap ketiga dan keempat memungkinkan jalur *bootstrapping* dan umpan balik menjadi terhubung. Penguat diferensial menerapkan sepasang ekor panjang (*long tail pair*) dengan beban *cascode* (*cascode amplifier*: Q_2 / Q_4 adalah tahap *commonemitor* yaitu dipasangkan langsung ke tahap *common* basis yang dibentuk oleh Q_1 / Q_3).

Keuntungan utama dari pengaturan *cascode* adalah bahwa ia memiliki kapasitansi masukan kecil, suatu pertimbangan penting dalam amplifier frekuensi tinggi. Kapasitansi input kecil karena penguatan tegangan dari Q_2 / Q_4 (tahap *commonemitor*) adalah kecil (mendekatisatu), yang berarti bahwa kapasitansi *Miller* diminimalkan. Kebanyakan penguatan tegangan dicapai dalam tahap *common-basis*. Penguatan tegangan dari Q_2 / Q_4 kecil karena resistansi beban efektif dalam rangkaian kolektor adalah resistansi masukan kecil dari tahap *common-basis*.

R_5 dan R_6 memungkinkan tegangan V_1 dan V_{o2} sama dengan satu dan karenanya menghilangkan kapasitansi dioda, C_d .

R_{10} dan R_{11} mengontrol nilai arus kolektor di setiap sisi penguat diferensial harus seimbang.

2.2. Perancangan Preamplifier BJT

Transistor Q_1, Q_2, Q_3, Q_4, Q_5 , dan Q_6 adalah perangkat BFT25 yang dipilih. Pemilihan nilai komponen adalah sebagai berikut :

Arus kolektor Q_1 dan Q_3 dipilih untuk memiliki arus seimbang 0,5 mA. Sehingga total arus yang mengalir melalui R_{E1} adalah 1 mA.

Nilai R_{E1} dipilih sebesar $2K\Omega$. Hal ini memberikan tegangan R_{E1} sebesar 2 V. Untuk mendapatkan nilai R_2 , tegangan kolektor-emitor dari Q_1 dan Q_2 harus diasumsikan memiliki nilai wajar.

Katakanlah $V_{ce1} = 1,5$ V dan $V_{ce2} = 2$ V

Kemudian

$$R_2 = \frac{V_{cc} - v_{ce1} - V_{ce2} - V_{RE1}}{I_{c1}}$$

Sehingga

$$R_2 = \frac{6 - 1,5 - 2 - 2}{0,5 \times 10^{-3}} = 1k\Omega$$

Nilai R_3 dan R_4 kemudian dapat dihitung sebagai berikut:

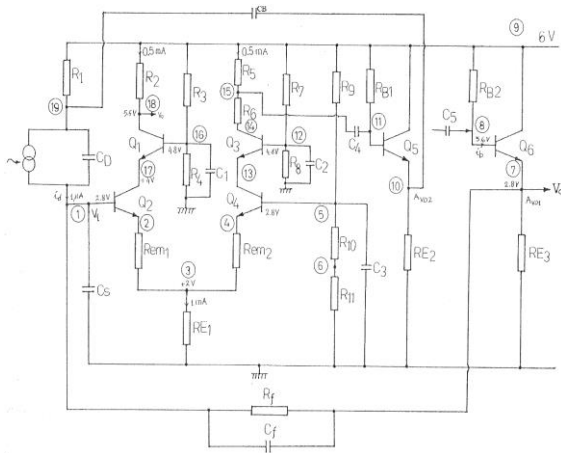
$$V_{e1} = V_{c2} = 4$$
 V

$V_{be1} = 0,8$ V, tegangan maju basis-emitor dari Q_1

Sehingga :

$$\begin{aligned} V_{b1} &= V_{e1} + V_{be1} \\ &= 4 + 0,8 \\ &= 4,8$$
 V

Dengan menerapkan metode pembagi tegangan:



Gambar 2.1 Penerima Optik BJT Menggunakan Preamplifier Transimpedansi

$$\frac{R_4}{R_4 + R_3} x V_{cc} = V_{b1}$$

Karena itu :

$$\frac{R_4}{R_4 + R_3} x 6 = 4.8V$$

Mengambil $R_3 = 10 \text{ K}\Omega$, maka

$$\frac{R_4}{R_4 + 10K} x 6 = 4.8$$

$$\therefore R_4 = 40k\Omega$$

Metode yang sama digunakan untuk menemukan R_9 dan $(R_{10} + R_{11})$ tapi $V_{b4} = 2,8 \text{ V}$.

Mengambil $R_9 = 10 \text{ K}\Omega$, maka $(R_{10} + R_{11}) = 8,75 \text{ K}\Omega$.

Karena identik sirkuit, nilai berikut dapat dibuat :

$$R_7 = R_3$$

$$R_8 = R_4 R_{E2} = R_{E3}$$

$$R_5 + R_6 = R_2 \quad R_{B1} = R_{B2}$$

Nilai R_1 sebesar $57 \text{ }\Omega$ dipilih untuk memungkinkan kapasitor *bootstrapping*, C_B , untuk dihubungkan ke katoda PIN-Photodiode.

Seperti disebutkan sebelumnya bahwa R_5 dan R_6 dipilih sedemikian rupa sehingga penguatan tegangan $A_{vo2} = 1$ dan

karenanya memungkinkan untuk menghilangkan C_d . Juga R_{10} dan R_{11} dipilih untuk mengontrol arus kolektor dari penguat diferensial menjadi seimbang.

Ditemukan bahwa selama simulasi komputer bahwa R_5 dan R_6 masing-masing harus 192.5Ω dan 807.5Ω untuk memenuhi kebutuhan *bootstrapping*. Dan R_{10} dan R_{11} masing-masing harus $6,8 \text{ K}\Omega$ dan $613 \text{ }\Omega$ untuk menjaga agar arus kolektor seimbang.

Tahap pengikut emitor diberi resistor $80 \text{ k}\Omega$, R_{B2} , memberikan arus basis yang memadai dan dirancang untuk memiliki arus kolektor sebesar $1,2 \text{ mA}$.

Nilai R_{B2} dan R_{E3} di pengikut emitor telah dihitung sebagai berikut:

$$h_{FE} = \frac{I_C}{I_B} ; \text{ penguatan arus DC}$$

$$h_{FE} = 40$$

$$\therefore I_B = \frac{I_C}{h_{FE}} = \frac{1.2mA}{40} = 30\mu A$$

sedangkan,

$$V_{e6} = V_{b2} = 2,8 \text{ V dan } V_{b6} = 2,8 + 0,8 = 3.6V$$

Karena itu,

$$R_{B2} = \frac{V_{CC} - V_{b6}}{I_B} = \frac{6 - 3.6}{30 \times 10^{-6}} = 80k\Omega$$

$$R_{E3} = \frac{V_{e6}}{I_{C6}} = \frac{2.8}{1.2 \times 10^{-3}} = 2.33k\Omega$$

C_1, C_2, C_3, C_4 , dan C_5 telah dipilih masing-masing 10 nF , nilai kapasitansi chip yang tersedia. C_B dipilih menjadi 100 nF . Kapasitansi, C_s , dan kapasitansi umpan balik, C_f , masing-masing diasumsikan 1 pF dan $0,1 \text{ pF}$.

R_f dapat ditentukan dari ekspresi untuk frekuensi, f_b dari Persamaan (1):

Namun, R_f sebesar 30 K Ω adalah nilai akhir yang dipilih sebagai hasil simulasi komputer dari sirkuit. Ini mencapai *bandwidth* 33 MHz.

Rincian perancang ditunjukkan pada Tabel 1 sebagai berikut :

Table 1. Rincian Perancangan *Preamplifier BJT*

Q ₁ , BFT25	Ic ₁ = Ic ₃ = 0.5 mA
Q ₂ , BFT25	Ic ₅ = Ic ₆ = 0.5 mA
Q ₃ , BFT25	
Q ₄ , BFT25	
Q ₅ , BFT25	
Q ₆ , BFT25	
Vcc = 6V	
R ₁ = 57 Ω	R _{B1} = 80 k Ω
R ₂ = 1 Ω	R _{B2} = 80 k Ω
R ₃ = 10 Ω	R _f = 30 k Ω
R ₄ = 40 Ω	
R ₅ = 192.5 Ω	Cd = 6 pf
R ₆ = 807.5 Ω	C ₁ = 10 nF
R ₇ = 10 Ω	C ₂ = 10 nF
R ₈ = 40 Ω	C ₃ = 10 nF
R ₉ = 10 Ω	C ₄ = 10 nF
R ₁₀ = 6.8 Ω	C ₅ = 10 nF
R ₁₁ = 613 Ω	C _s = 10 pF
Rem ₁ = 1 Ω	C _f = 0.1 pF
Rem ₂ = 1 Ω	CB = 100 nF
R _{E1} = 2 K Ω	
R _{E2} = 2.33 K Ω	
R _{E3} = 2.33 K Ω	

Rancangan Penerima Optik BJT Menggunakan Preamplifier Transimpedansi tersebut ditunjukkan pada Gambar 2.1.

3. Hasil Pengukuran Receiver

Penerima (*receiver*) telah dirancang dan kinerja relatifnya ditentukan dengan simulasi komputer. Sekarang tetap membangun *receiver* dan melihat bagaimana penerima tersebut bekerja dalam praktek. Untuk memfasilitasi/ memudahkan pengujian, pulsa yang sesungguhnya dikirim dari laser yang digunakan. Pengukuran tegangan DC tersebut telah ditemukan benar/ sesuai, tetapi ketika laser

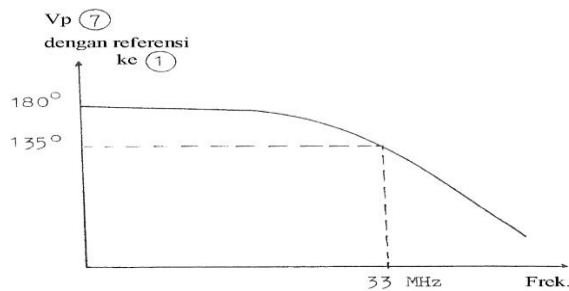
diterapkan, penerima tersebut ditemukan tidak bekerja sebagaimana mestinya. Karena kekurangan waktu, proses *debugging* belum selesai. Sehingga pembahasan ini terutama dari hasil simulasi komputer.

Penerima tersebut diberi daya dan tingkat tegangan DC pada setiap titik/ *node* diukur dan dibandingkan terhadap nilai prediksi komputer. Hasilnya ditunjukkan pada Tabel 2. Hal ini dapat dilihat bahwa nilai yang diukur mendekati dengan nilai-nilai yang diprediksi.

Table 2. Level Pembiasan DC dari *Receiver*

Node	Tegangan Prediksi [V]	Tegangan Pengukuran [V]
1	-3.4913	-3.495
2	-4.2438	-4.278
3	-4.2443	-4.278
4	-4.2438	-4.278
5	-3.4913	-3.497
6	-5.7925	-5.796
7	-3.1702	-3.285
8	-2.3906	-2.464
9	0.0000	0.000
10	-3.1588	-3.120
11	-2.3793	-2.320
12	-1.2836	-1.319
13	-2.0355	-2.096
14	-0.4179	-0.408
15	-0.0804	-0.093
16	-1.2835	-1.309
17	-2.0354	-2.080
18	-0.4177	-0.408
19	0.0000	0.000

Pergeseran fasa yang diperoleh dari *node* 7 dan 10 ditunjukkan pada Gambar 3.1. Dapat dilihat bahwa *node* 7 memiliki pergeseran fasa 180 $^\circ$ dan *node* 10 memiliki pergeseran fasa nol, seperti yang diharapkan.



Gambar 3.1 Pergeseran fasa yang diperoleh dari *node* 7 dengan referensi ke *node* 1 untuk $(R_5+R_6)= 1\text{ K}\Omega$

Senior, J., 1985, *Optical Fiber Communications*, New York : Prentice Hall International, Chap. 10, 427 - 438.

Smith, R.G. Personick, S.D., 1980, *Receiver Design For Optical Fiber Communication Systems*, New York : Springer-Verlag, 97 - 126.

4. Penutup

Sebuah *preamplifier* pita lebar yang menggunakan *BJT* telah dirancang dan disimulasikan dengan komputer. Dalam perancangan *preamplifier* pita lebar tersebut telah ditemukan bahwa dengan memperkenalkan *bootstrapping* kapasitor (C_B) ke dalam rangkaian, efek kapasitansi dioda (C_d) bisa dihilangkan. Hal ini memungkinkan nilai resistansi umpan balik (R_f) ditingkatkan (untuk mempertahankan *bandwidth* yang dibutuhkan) dan dengan demikian mengurangi *noise* diperkenalkan oleh *preamplifier*.

Juga telah diobservasi bahwa resistansi seri umpan balik negatif (R_{em}) dapat meningkatkan *bandwidth* penerima (*receiver*).

Resistansi umpan balik (R_f) dan I_{C2shot} *noise* pada frekuensi tinggi menjadi sumber dominan *noise*.

Sensitivitas dari penerima telah dihitung dari komputer diprediksi respon kebisingan dan ditemukan untuk menjadi -37,685 dBm.

DAFTAR PUSTAKA

- Bar-Lev, A, 1993, *Semiconductor and Electronic Devices*, New York : Prentice Hall International, Chap. 15, 301 - 306.
- Getreu, I, 1976, *Modelling The Bipolar Transistor*, New York : Tektronix, Inc., Chap. 3, 169 - 175.