

2017

TIM DOSEN TEKNIK TELEKOMUNIKASI



MODUL PRAKTIKUM TELEKOMUNIKASI 2



UNIVERSITAS PENDIDIKAN INDONESIA
FAKULTAS PENDIDIKAN TEKNOLOGI DAN KEJURUAN

| Jl. Dr. Setabudhi No. 207, Lab. Telekomunikasi FPTK Lantai 5 UPI, Bandung

DAFTAR ISI

| | |
|--------------------------------------|----|
| DAFTAR ISI..... | 2 |
| JOBSHEET 1..... | 3 |
| FILTER ANALOG FREKUENSI TINGGI | 3 |
| JOBSHEET 2..... | 12 |
| FILTER DIGITAL..... | 12 |
| JOBSHEET 3..... | 28 |
| SYSTEM VUE..... | 28 |
| JOBSHEET 4..... | 46 |
| AMPLITUDO MODULATION | 46 |
| JOBSHEET 5..... | 73 |
| FREQUENCY MODULATION | 73 |

JOBSHEET 1

FILTER ANALOG FREKUENSI TINGGI

A. Tujuan

1. Mahasiswa mampu memahami prinsip kerja filter analog untuk aplikasi system komunikasi.
2. Mahasiswa mampu menentukan jenis filter analog yang sesuai untuk tujuan tertentu pada system komunikasi.
3. Mahasiswa mampu membuat grafik tanggapan frekuensi dari sebuah filter analog.

B. Alat dan Bahan

1. 1 set Osiloskop lengkap dengan konektornya.
2. Audio Generator
3. Kapasitor Variable
 - a. 500 pF 2 buah
 - b. 10 nF 1 buah
 - c. 1 nF 1 buah
4. Resistor
 - a. 1 K Ω
 - b. 47 K Ω
 - c. 100 K Ω
5. Induktor 140 μ H 2 buah
6. Dioda AA118 1 buah
7. Multimeter 1 buah
8. Jumper
9. Billboard

C. Landasan Teori

Dikatakan filter aktif karena selain menggunakan beberapa resistor dan kapasitor juga menggunakan beberapa komponen aktif seperti OpAmp, dengan penguatan yang bisa diatur sesuai dengan yang kita inginkan. Besarnya nilai tanggapan biasa dinyatakan dalam volt ataupun dalam dB dengan bentuk respon yang berbeda pada setiap jenis filter. Besar nilai respon dapat diperoleh dari perhitungan fungsi alih:

$$H_s = \left| \frac{V_{out}}{V_{in}} \right|$$

Dengan: H_s = Fungsi alih

V_{out} = Tegang keluran

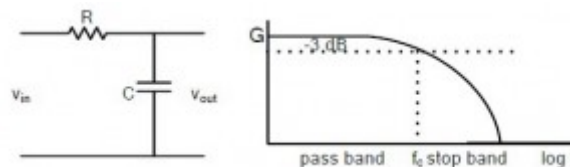
V_{in} = Tegangan masukan

Setiap filter mempunyai frekuensi cutoff yaitu frekuensi di 0,707 atau -3 dB.

Ada 4 jenis filter yang biasa digunakan :

1. Low Pass Filter

Low Pass Filter (LPF) atau Filter Lolos Bawah adalah filter yang hanya melewatkan sinyal dengan frekuensi yang lebih rendah dari frekuensi cut-off (f_c) dan akan melemahkan sinyal dengan frekuensi yang lebih tinggi dari frekuensi cut-off (f_c). Pada filter LPF yang ideal sinyal dengan frekuensi diatas frekuensi cut-off (f_c) tidak akan dilewatkan sama sekali (tegangan output = 0 volt). Rangkaian low pass filter RC merupakan jenis filter pasif, dengan respon frekuensi yang ditentukan oleh konfigurasi R dan C yang digunakan. Rangkaian dasar LPF dan grafik respon frekuensi LPF dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Rangkaian Dasar dan Respon Frekuensi LPF

Frekuensi cut-off (f_c) dari filter pasif lolos bawah (Low Pass Filter, LPF) dengan RC dapat dituliskan dalam persamaan matematik sebagai berikut.

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC}$$

Rangkaian filter pasif LPF RC diatas terlihat seperti pembagi tegangan menggunakan R. Dimana pada filter LPF RC ini teganga output diambil pada titik pertemuan RC. Tegangan output (V_{out}) filter pasif LPF seperti terlihat pada rangkaian diatas dapat diekspresikan dalam persamaan matematis sebagai berikut.

$$V_{out} = \frac{1/j\omega C}{1/(j\omega C + R)} \cdot V_{in}$$

Besarnya penguatan tegangan (G) pada filter pasif yang ideal maksimum adalah 1 = 0dB yang hanya terjadi pada frekuensi sinyal input dibawah frekuensi cut-off (fc). Penguatan tegangan (G) filter LPF RC pasif dapat dituliskan dalam persamaan matematis sebagai berikut.

$$G = \left| \frac{V_{out}}{V_{in}} \right|$$

Dan penguatan tegangan (G) LPF RC dapat dituliskan dalam satuan dB sebagai berikut.

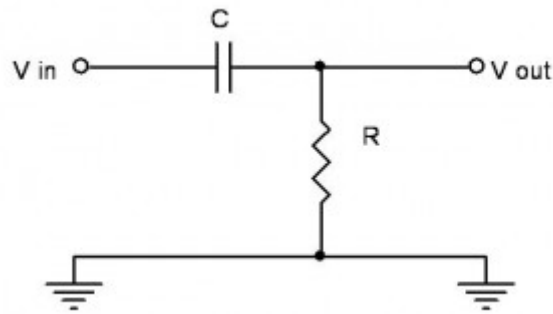
$$G = 20 \log \left(\frac{V_{out}}{V_{in}} \right) = 20 \log \left(\frac{1}{1 + \omega^2 R^2 C^2} \right)$$

Pada filter lolos bawah (low pass filter, LPF) terdapat beberapa karakteristik mendasar sebagai berikut.

- Pada saat frekuensi sinyal input lebih rendah dari frekuensi cut-off (fc) ($f_{in} \ll f_c$) maka penguatan tegangan / Gain (G) = 1 atau G=0dB.
- Pada saat frekuensi sinyal input sama dengan frekuensi cut-off (fc) ($f_{in} = f_c$) maka $\omega = 1/RC$ sehingga penguatan tegangan / Gain (G) menjadi -3 dB atau terjadi pelemahan tegangan sebesar 3 dB.
- Pada saat frekuensi sinyal input lebih tinggi dari frekuensi cut-off (fc) ($f_{in} \gg f_c$) maka besarnya penguatan tegangan (G) = $1/\omega RC$ atau $G = -20 \log \omega RC$.
- Sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa Filter Lolos Rendah (Low Pass Filter, LPF) hanya meloloskan sinyal dengan frekuensi yang lebih rendah dari frekuensi cut-off (fc) saja.

2. High Pass Filter

Filter high-pass atau sering juga disebut dengan filter lolos atas adalah suatu rangkaian yang akan melewatkan suatu isyarat yang berada diatas frekuensi cut-off (ω_c) sampai frekuensi cut-off (ω_c) rangkaian tersebut dan akan menahan isyarat yang berfrekuensi dibawah frekuensi cut-off (ω_c) rangkaian tersebut. Filter high-pass dasar disusun dengan rangkaian RC seperti pada gambar 2.



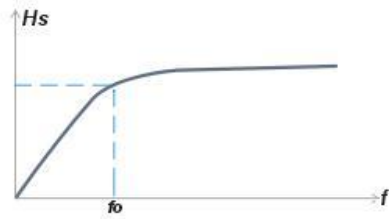
Gambar 2. Contoh Rangkaian High Pass Filter

Prinsip kerja dari filter high pass atau filter lolos atas adalah dengan memanfaatkan karakteristik dasar komponen C dan R, dimana C akan mudah melewatkan sinyal AC sesuai dengan nilai reaktansi kapasitifnya dan komponen R yang lebih mudah melewatkan sinyal dengan frekuensi yang rendah. Prinsip kerja rangkaian filter lolos atas atau high pass filter (HPF) dengan RC dapat diuraikan sebagai berikut, apabila rangkaian filter high pass ini diberikan sinyal input dengan frekuensi diatas frekuensi cut-off (ω_c) maka sinyal tersebut akan di lewatkan ke output rangkaian melalui komponen C. Kemudian pada saat sinyal input yang diberikan ke rangkaian filter lolos atas atau high pass filter memiliki frekuensi di bawah frekuensi cut-off (ω_c) maka sinyal input tersebut akan dilemahkan dengan cara dibuang ke ground melalui komponen R.

Frekuensi resonansi dari filter high-pass mengikuti nilai time constant (τ) dari rangkaian RC tersebut. Sehingga frekuensi cut-off dari filter tersebut adalah :

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC}$$

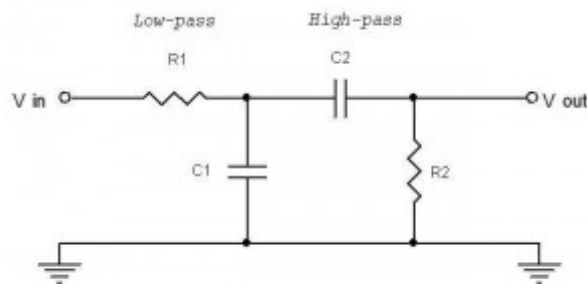
Grafik karakteristik dari high pass filter (HPF) atau filter lolos atas dengan komponen RC dapat digambarkan dengan perbandingan antara tegangan output filter terhadap frekuensi yang diberikan kepada rangkaian filter high pass (HPF) tersebut. Untuk lebih jelasnya grafik karakteristik filter high pass (HPF) ditunjukkan pada gambar 3.



Gambar 3. Respon Frekuensi High Pass Filter

3. Band Pass Filter

Filter band-pass adalah sebuah rangkaian yang dirancang hanya untuk melewatkan isyarat dalam suatu pita frekuensi tertentu dan untuk menahan isyarat diluar jalur pita frekuensi tersebut. Jenis filter ini memiliki tegangan keluaran maksimum pada satu frekuensi tertentu yang disebut dengan frekuensi resonansi (ω_r) Jika frekuensinya berubah dari frekuensi resonansi maka tegangan keluarannya turun, ada satu frekuensi diatas frekuensi resonansi (ω_r) dan satu dibawah (ω_r) dimana gainnya tetap 0,707 Ar. Frekuensi ini diberi tanda (ω_h) frekuensi cutoff atas dan (ω_l) frekuensi cutoff bawah. Pita frekuensi antara (ω_h) dan (ω_l) adalah band width (B). Contoh Rangkaian Band Pass Filter dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Rangkaian Band Pass Filter

Nilai frekuensi cut-off atas ditentukan oleh filter high-pass sebagai berikut:

$$f_{ch} = \frac{1}{2\pi R_2 C_2}$$

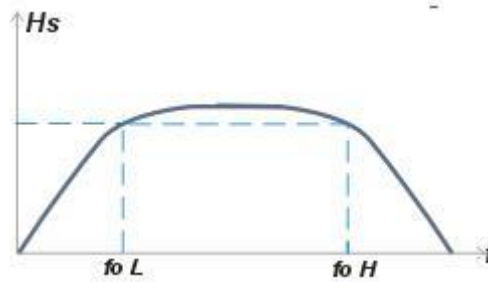
dan frekuensi cut-off bawah ditentukan oleh filter low-pass sebagai berikut:

$$f_{cl} = \frac{1}{2\pi R_1 C_1}$$

sehingga besarnya bandwidth adalah:

$$B = f_{ch} - f_{cl}$$

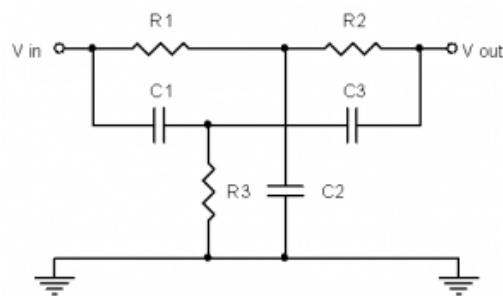
Grafik respon frekuensi Band Pass Filter dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5. Respon Frekuensi Band Pass Filter

4. Band Stop Filter

Band stop filter (BPF), band elimination filter, band reject filter dan sering juga disebut dengan notch filter atau filter tolak jalur memiliki pengertian yang sama sebagai filter yang memiliki karakteristik akan menahan sinyal dengan frekuensi sesuai frekuensi cut-off rangkaian dan akan melewatkan sinyal dengan frekuensi di luar frekuensi cut-off rangkaian filter tersebut baik dibawah atau diatas frekuensi cut-off rangkaian filter. Band stop filter merupakan kebalikan dari band pass filter. Seperti pada filter band-pass, filter band-elimination atau band stop filter (BPF) RC juga disusun dari dua buah filter low-pass dan filter high-pass yang disusun secara parallel seperti terlihat pada gambar berikut. Rangkaian band stop filter (BPF) ini merupakan contoh sederhana dari filter pasif band stop seperti tampak pada gambar 6.

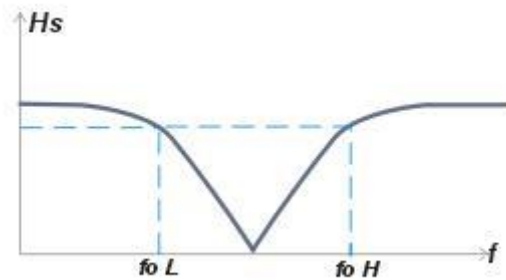


Gambar 6. Rangkaian Band Stop Filter

Filter low-pass disusun oleh R1,R2 dan C2 dengan konfigurasi “T” dan filter high-pass disusun oleh C1,C3 dan R3 dengan susunan “T” sehingga filter ini sering disebut dengan filter “Twin T”. Dengan menentukan nilai $R1,R2 = 2 \cdot R3$ dan nilai $C1,C3 = 0,5 \cdot C2$ maka besarnya frekuensi cutoff pada filter “Twin T” adalah.

$$f_c = \frac{1}{4\pi R_3 C_2}$$

Karakteristik dari filter band stop atau filter band elimination ini dapat dilihat pada gambar 7.

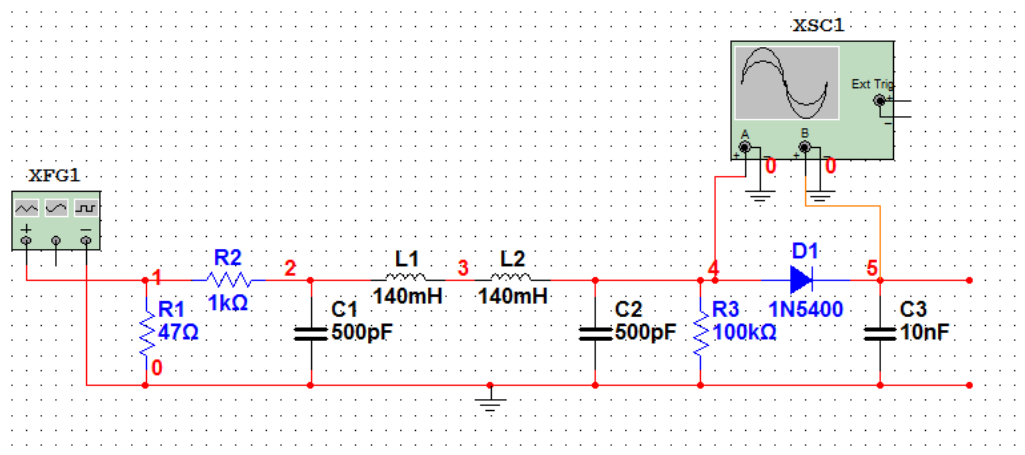


Gambar 7. Respon Frekuensi Band Stop Filter

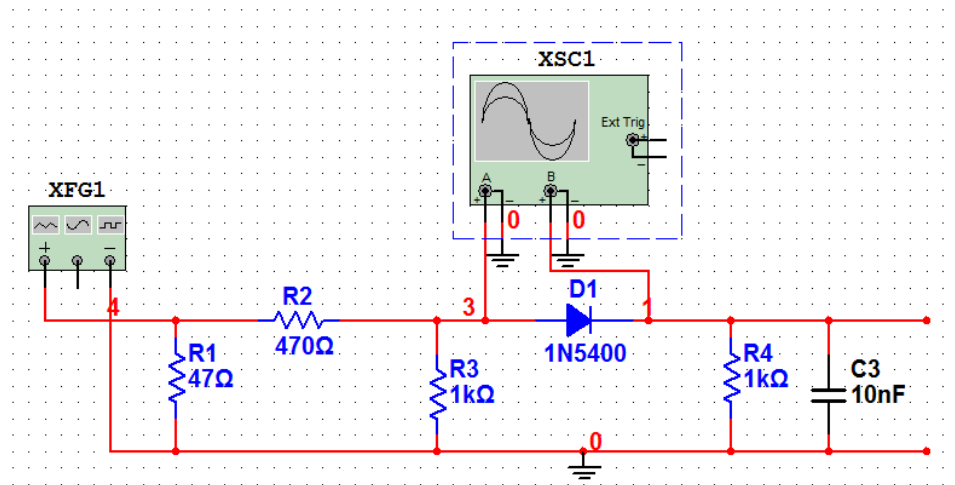
Dari grafik karakteristik dari band stop filter diatas terlihat bahwa tegangan dari sinyal input pada frekuensi cut-off rangkaian filter akan dilemahkan dari level aslinya dan sinyal dengan frekuensi di luar frekuensi cut-off baik diatas atau dibawah frekuensi cut-off akan dilewakan ke output rangkaian filter band sop (BPF) RC tersebut.

D. Rangkaian

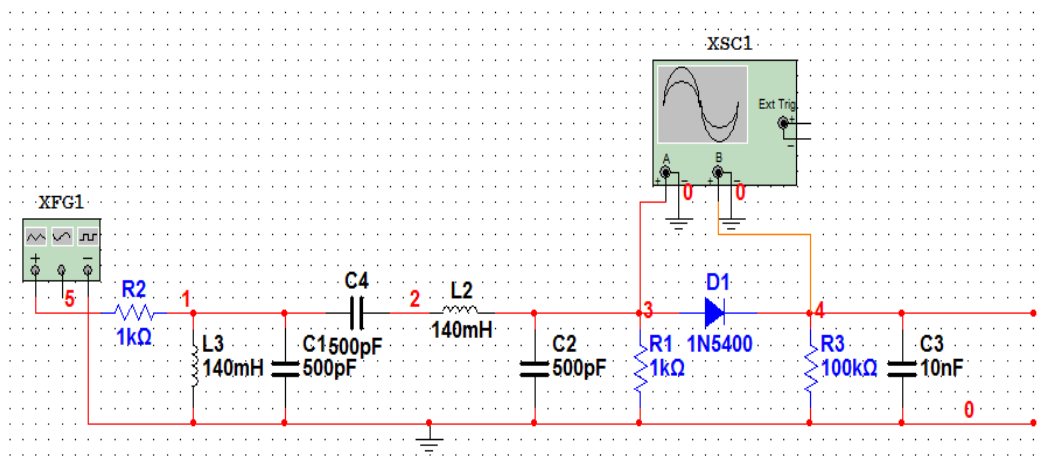
a. Low Pass Filter



b. High Pass Filter



c. Band Pass Filter



E. Prosedur Percobaan

1. Rangkailah rangkaiannya sesuai dengan rangkaian yang digambar
2. Ukurlah tegangan pada masing-masing Y1 dan Y2.
3. Isilah tabel dibawah ini dengan merubah nilai frekuensi seperti berikut
4. Buatlah grafik respon Y1 dan Y2

F. Tabel Hasil Praktikum

I. Low Pass Filter

| | | | | | | | |
|-----------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|------------|
| F | 10 K | 100 K | 200 K | 300 K | 350 K | 500 K | 1 M |
| Y1 | | | | | | | |
| Y2 | | | | | | | |

II. High Pass Filter

| | | | | | | | |
|-----------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|------------|
| F | 10 K | 100 K | 200 K | 300 K | 350 K | 500 K | 1 M |
| Y1 | | | | | | | |
| Y2 | | | | | | | |

III. Band Pass Filter

| | | | | | | | |
|-----------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|------------|
| F | 10 K | 100 K | 200 K | 300 K | 350 K | 500 K | 1 M |
| Y1 | | | | | | | |
| Y2 | | | | | | | |

IV. Band Stop Filter

| | | | | | | | |
|-----------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|------------|
| F | 10 K | 100 K | 200 K | 300 K | 350 K | 500 K | 1 M |
| Y1 | | | | | | | |
| Y2 | | | | | | | |

JOBSHEET 2

FILTER DIGITAL

A. JUDUL

Filter Digital

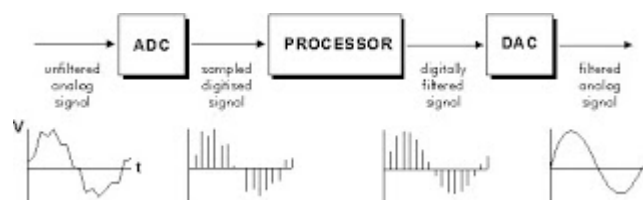
B. TUJUAN

Setelah melakukan praktikum, mahasiswa diharapkan dapat :

1. Menjelaskan filter digital
2. Menjelaskan perbedaan antara filter IIR dan FIR
3. Mendesain filter IIR dan FIR dengan menggunakan software MATLAB

C. TEORI DASAR

Dalam elektronika, filter digital adalah sebuah sistem yang melakukan operasi perhitungan diskrit-waktu sinyal untuk mengurangi atau meningkatkan aspek-aspek tertentu dari sinyal. Filter digital bekerja berdasarkan data masukan diskrit dari cuplikan-cuplikan sinyal kontinu, yang kemudian diubah oleh converter analog ke digital ADC (analog-ke-digital) menjadi data digital biner. Data –data inilah yang nantinya akan di manipulasi kinerja dan spectrum sinyalnya dengan prosesor digital. Hasil dari data digital di kembalikan ke dalam bentuk analog jika diinginkan dengan converter digital to analog DAC (digital analog converter) untuk mengubah sinyal kembali ke bentuk analog. Penerapannya filter digital pada pengolahan sinyal dapat digunakan dalam noise reduction, image processing, anti aliasing dan menghilangkan pseudoimage pada multirate processing, matched filtering, dan osilator digital. Perhatikan bahwa dalam filter digital, sinyal direpresentasikan oleh urutan angka, bukan tegangan atau arus.



Gambar 1. Proses pengolahan sinyal digital

Beberapa keunggulan dari filter digital setelah melalui proses pengolahan sinyal adalah

- Pengaturan frekuensi cuplikan sehingga daerah kerja yang dapat dipilih sangat lebar (meliputi frekuensi rendah dan frekuensi tinggi). Termasuk frekuensi sangat rendah sehingga dapat digunakan untuk aplikasi elektronika biomedis.
- Respon fasa yang benar-benar linear.
- Karena menggunakan *programmable processor*, respon frekuensi dapat dipilih secara langsung secara otomatis.
- Beberapa sinyal masukan dapat disimpan untuk keperluan selanjutnya.
- Berkembangnya *teknologi pico* memungkinkan penggunaan *hardware* yang lebih kecil, konsumsi daya yang kecil, menekan biaya produksi, dan *single chip*.

FILTER IIR

Filter IIR merupakan tipe filter digital dengan respon impuls tak terbatas. Filter IIR sesuai dengan filter analog yang biasanya memiliki respon impuls dengan panjang tak hingga. Filter IIR memiliki fungsi sistem dalam domain z sebagai berikut.

$$H(z) = \frac{Y(z)}{X(z)} = \frac{b_0 + b_1z^{-1} + b_2z^{-2} + b_3z^{-3} + \dots}{1 + a_1z^{-1} + a_2z^{-2} + a_3z^{-3} + \dots}$$

dengan a merupakan koefisien *denominator* sedangkan b merupakan koefisien *numerator*. Desain filter IIR dapat dilakukan dengan cara mentransformasikan filter analog ke dalam filter digital menggunakan *complex-valued mapping*. Untuk dapat mendesain filter *frequency selective* yang dikehendaki diperlukan transformasi *frequency-band*.

Yang perlu diingat disini bahwa infinite impulse response (IIR) dalam hal ini bukan berarti filter yang bekerja dari nilai negatif tak hingga sampai positif tak hingga. Pengertian sederhana untuk infinite impulse respon filter disini adalah bahwa output filter merupakan fungsi dari kondisi input sekarang, input sebelumnya dan output di waktu sebelumnya. Konsep ini kemudian lebih kita kenal sebagai recursive filter, yang mana melibatkan proses feedback dan feed forward. Dalam bentuk persamaan beda yang menghubungkan input dengan output dinyatakan seperti persamaan berikut ini.

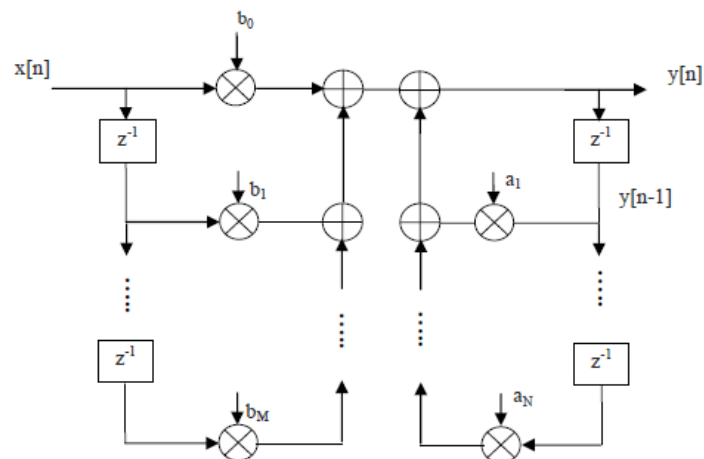
$$y[n] = \sum_{l=1}^N a_l y[n-l] + \sum_{k=0}^M b_k x[n-k]$$

Dimana :

- $\{b_k\}$ koefisien feed forward
- $\{a_l\}$ koefisien feed back
- banyaknya (total koefisien) = $M+N+1$
- N ditetapkan sebagai orde filter IIR

Untuk implementasi sebuah low pass filter bersifat narrow-band menggunakan sebuah filter IIR merupakan pilihan yang sangat sulit tetapi masih mungkin dilakukan. Satu alasannya adalah penentuan orde yang tepat sehingga menghasilkan bentuk yang tajam pada respon frekuensi relative sulit. Pada domain unit circle bidang-z sering ditandai dengan letak pole-pole yang ada diluar lingkaran, hal ini secara fisis memberikan arti bahwa filter yang dihasilkan tidak stabil.

Untuk merealisasikan ke dalam sebuah program simulasi atau perangkat keras maka bentuk persamaan diatas dapat disederhanakan ke dalam diagram blok di bawah ini.



Gambar 2. Diagram blok filter IIR

FILTER FIR

Filter FIR adalah salah satu tipe dari filter digital yang dipakai pada aplikasi Digital Signal Processing (DSP). FIR kepanjangan dari Finite Impulse Response. Mengapa disebut respons impulsnya terbatas (finite)? Karena *tidak ada feedback* didalam filter, jika anda memasukkan sebuah impulse (yaitu sebuah sinyal '1' diikuti dengan banyak sinyal '0'), sinyal nol akan keluar setelah sinyal 1 melewati semua delay line dengan koefisiennya.

Keuntungan filter FIR antara lain adalah stabil dan memiliki fasa yang linier. Sedangkan kerugiannya adalah filter FIR terkadang membutuhkan lebih banyak memory dan/atau perhitungan untuk mencapai karakteristik respon filter yang diberikan. Dan juga, respon tertentu tidak mudah dilaksanakan untuk diimplementasikan dengan filter FIR.

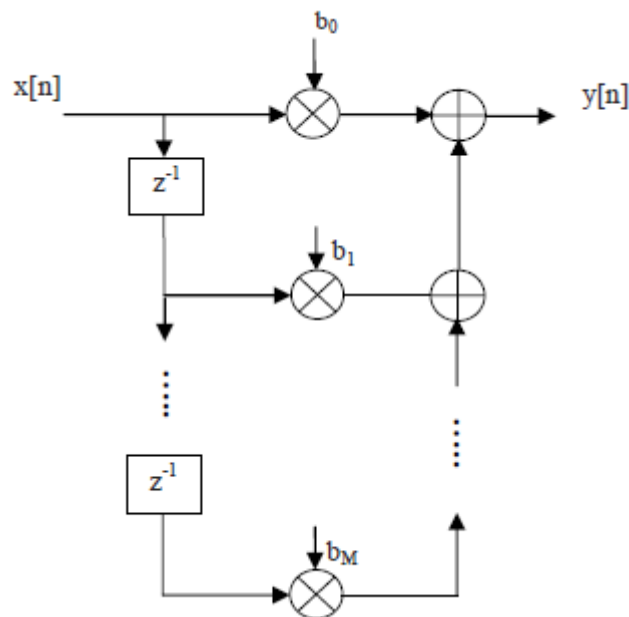
Sebuah finite impulse respon filter (filter FIR) memiliki hubungan input dan output dalam domain waktu diskrit sebagai berikut:

$$y[n] = \sum_{k=0}^M b_k x[n-k] = \sum_{k=0}^M h[k] x[n-k]$$

Dimana :

- $\{b_k\}$ = koefisien feed forward
- banyaknya (total koefisien) $L = M + 1$
- M ditetapkan sebagai orde filter FIR

Dalam realisasi diagram blok akan dapat digambarkan seperti pada gambar berikut ini :



Gambar 3. Diagram blok filter FIR

Untuk tujuan simulasi perangkat lunak kita bisa memanfaatkan fungsi standar berikut ini: $B = \text{FIR1}(N, W_n)$.

Ini merupakan sebuah langkah untuk merancang filter digital FIR dengan orde sebesar N , dan frekuensi cut off W_n . Secara *default* oleh Matlab ditetapkan bahwa perintah tersebut

akan menghasilkan sebuah *low pass filter* (LPF). Perintah ini akan menghasilkan koefisien-koefisien filter sepanjang $(N+1)$ dan akan disimpan pada vektor B. Karena dalam domain digital, maka nilai frekuensi *cut off* harus berada dalam rentang $0 < W_n < 1.0$. Nilai 1.0 akan memiliki ekuivalensi dengan nilai 0,5 dari *sampling rate* ($fs/2$). Yang perlu anda ketahui juga adalah bahwa B merupakan nilai real dan memiliki fase yang linear. Sedangkan *gain* ternormalisasi filter pada W_n sebesar -6 dB.

Keuntungan IIR dibandingkan dengan FIR :

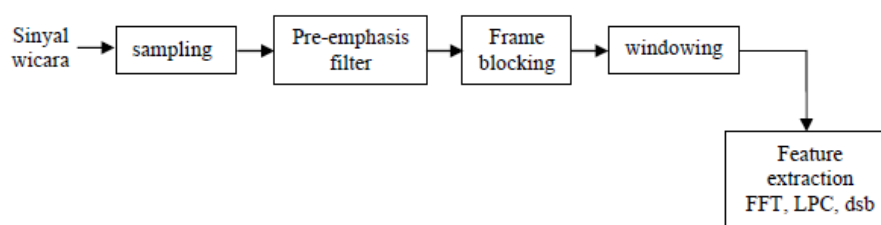
- Pada filter IIR orde tinggi dapat menghasilkan respon frekuensi yang tajam / curam (hampir mendekati ideal).
- Membutuhkan koefisien yang lebih sedikit untuk respon frekuensi yang curam sehingga dapat mengurangi jumlah waktu komputasi.

Keuntungan FIR dibandingkan IIR:

- Selalu stabil
- Dapat dirancang untuk memiliki fase yang linier
- Lebih mudah diimplementasikan ke hardware
- Respon impuls memiliki durasi yang terbatas.

FILTER PRE-EMPHASIS

Dalam proses pengolahan sinyal wicara pre emphasis filter diperlukan setelah proses sampling. Tujuan dari pemfilteran ini adalah untuk mendapatkan bentuk spectral frekuensi sinyal wicara yang lebih halus. Dimana bentuk spectral yang relatif bernilai tinggi untuk daerah rendah dan cenderung turun secara tajam untuk daerah fekuensi diatas 2000 Hz.



Gambar 4. Posisi Pre-Emphasis pada sistem pengolah wicara

Filter *pre-emphasis* didasari oleh hubungan input/output dalam domain waktu yang dinyatakan dalam persamaan beda seperti berikut:

$$y(n) = x(n) - ax(n-1) \quad (3)$$

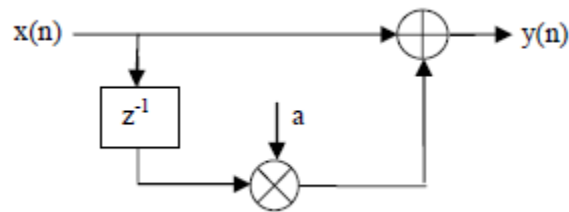
Dimana:

a merupakan konstanta filter *pre-emphasis*, biasanya bernilai $0.9 < a < 1.0$

Dalam bentuk dasar operator z sebagai unit filter, persamaan diatas akan memberikan sebuah *transfer function* filter *pre-emphasis* seperti berikut.

$$H(z) = 1 - az^{-1} \quad (4)$$

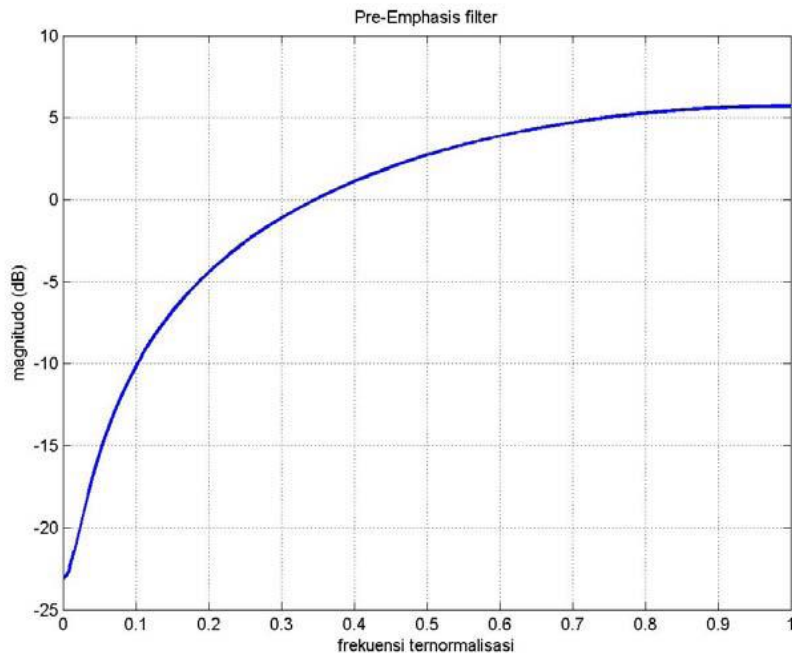
Bentuk ini kemudian akan memberikan dasar pembentukan diagram blok yang menggambarkan hubungan input dan output seperti pada di bawah ini.



Gambar 5. Diagram blok filter pre-emphasis

Dengan memanfaatkan perangkat lunak Matlab kita akan dengan mudah mendapatkan bentuk respon frekuensi filter pre-emphasis.

```
clear all;
w=0:.01:3.14;
a=0.93;
H=1-a*exp(-j*w);
plot(w/3.14,20*log10(abs(H)), 'linewidth',2)
grid
axis([0 1.00 -25 10])
xlabel('frekuensi ternormalisasi')
ylabel('magnitudo (dB)')
title('Pre-Emphasis filter')
```



Gambar 6. Respon frekuensi filter pre-emphasis

Dengan nilai $a = 0,93$ akan mampu melakukan penghalusan *spectral* sinyal wicara yang secara umum mengalami penurunan sebesar 6 dB/octav.

PERBANDINGAN FILTER ANALOG DAN DIGITAL

Filter digital tidak terpengaruh pada desain filter analog komponen non-linearities atau yang sangat menyulitkan. Analog filter terdiri dari komponen elektronik yang tidak sempurna, nilai-nilai yang ditetapkan untuk batas toleransi (misalnya nilai-nilai resistor sering memiliki toleransi terhadap $+ / - 5\%$) dan juga berubah dengan temperatur dan drift terhadap waktu.

Filter digital dapat digunakan dalam desain filter respon impulse yang terbatas. Analog filter tidak memiliki kemampuan yang sama, karena filter respon impulse yang terbatas memerlukan unsur penundaan. Mengandalkan filter digital tidak dapat pada sirkuit analog. Filter digital akan memperkenalkan ke sinyal suara analog selama melewati penyaringan rendah, (konversi analog ke digital) dan mungkin memperkenalkan gangguan digital karena kuantisasi. Dengan filter analog, setiap komponen merupakan sumber kebisingan termal, sehingga kompleksitas filter tumbuh, begitu pula suara.

Namun, filter digital melakukan pengenalan latensi mendasar yang lebih tinggi ke sistem. Dalam sebuah filter analog, latensi sering diabaikan. Dalam filter digital, latensi adalah fungsi dari jumlah penundaan elemen dalam sistem. Digital filter juga cenderung lebih terbatas dalam bandwidth dari analog filter. Bandwidth tinggi memerlukan filter digital ADC / DAC untuk diproses. Dalam kasus yang sangat sederhana, lebih efektif untuk menggunakan filter analog. Menggunakan filter digital memerlukan sirkuit overhead yang cukup besar, seperti yang dibahas sebelumnya, termasuk dua low pass filter analog.

D. ALAT DAN BAHAN

- Satu unit PC atau Laptop
- Software MATLAB

E. PERCOBAAN

Untuk lebih memahami mengenai filter digital. Silahkan Anda untuk mencoba latihan-latihan di bawah ini dan tampilkanlah grafik respon dari frekuensi tersebut.

1. Kita akan mencoba merancang sebuah *low pass filter* (LPF) IIR dengan memanfaatkan filter *Butterworth*. Frekuensi cut off ditetapkan sebesar 2000 Hz. Dalam hal ini frekuensi sampling adalah 10000 Hz. Langkah realisasi dalam Matlab adalah sebagai berikut.

```
clear all;
R=0.2;
N=16;
Wn=0.2;
figure(1);
[B,A] = butter(N,Wn);
[H,w]=freqz(B,A,N);
len_f=length(H);
f=1/len_f:1/len_f:1;
plot(f,20*log10(abs(H)), 'linewidth', 2)
```

2. Pada contoh kedua ini kita akan mencoba merancang sebuah filter IIR untuk high pass filter (HPF). Tetap dengan frekuensi cut off 2000 Hz, dan frekuensi sampling 10000. Langkah pemrogramannya adalah dengan sedikit memodifikasi bagian berikut.

```

clear all;
R=0.2;
N=16;
Wn=0.2;
figure(1);
[B,A] = butter(N,Wn, 'high');
[H,w]=freqz(B,A,N);
len_f=length(H);
f=1/len_f:1/len_f:1;
plot(f,20*log10(abs(H)), 'linewidth', 2)

```

3. Kita akan merancang sebuah LPF dengan menggunakan filter FIR dengan frekuensi cut off sebesar 2000 Hz. Frekuensi sampling yang ditetapkan adalah 10000 Hz. Orde filter ditetapkan sebesar 32. Maka langkah pembuatan programnya adalah sebagai berikut:

```

fs=10000;
Wn = .20;
N = 32;
LP = fir1(N,Wn);
[H_x,w]=freqz(LP);
len_f=length(H_x);
f=1/len_f:1/len_f:1;
plot(f,20*log10(abs(H_x)))
grid

```

4. Kita akan merancang sebuah Band Pass Filter (BPF) menggunakan filter FIR dengan frekuensi cut off sebesar 2000 Hz (untuk daerah rendah) dan 5000 Hz (untuk daerah tinggi). Frekuensi sampling yang ditetapkan adalah 10000 Hz. Orde filter ditetapkan sebesar 32. Beberapa bagian program diatas perlu modifikasi seperti berikut.

```

fs=10000;
Wn1 = [.20, .50];
N = 32;

```

```

BP = fir1(N,Wn1);
[H_x,w]=freqz(BP);
len_f=length(H_x);
f=1/len_f:1/len_f:1;
plot(f,20*log10(abs(H_x)))
grid

```

5. Kita akan merancang sebuah High Pass Filter (HPF) menggunakan filter dengan frekuensi cut off sebesar 5000 Hz (untuk daerah tinggi). Frekuensi sampling yang ditetapkan adalah 10000 Hz. Orde filter ditetapkan sebesar 32. Beberapa bagian program diatas perlu modifikasi seperti berikut.

```

fs=10000;
Wn2 = .50;
N = 32;
HP = fir1(N,Wn2,'high');
[H_x,w]=freqz(HP);
len_f=length(H_x);
f=1/len_f:1/len_f:1;
plot(f,20*log10(abs(H_x)))
grid

```

6. Desain low pass filter digital didesain dengan menggunakan berbagai prototype tiga jenis filter digital seperti Butterworth , *Chebyshev tipe 1* dan *elliptic* . Filter optimum dipilih berdasarkan dari implementasi yang diinginkan termasuk tiga kriteria yang terutama: kompleksitas, respon besran dan respon fasa.

- Frekuensi *Cutoff* = 1000Hz
- Frekuensi *Sample* = 8000Hz
- Ripple passband = 0,5dB
- Stopband attenuasi = 60dB
- Band Transisi = 100Hz

Matlab Code (Chebyshev):

```

% Lowpass digital filter with chebyshev-I analog prototype
% Digital Filter specifications:
wp = 0.125*2*pi; % digital passband frequency in Hz
(normalized)
ws = 0.1375*2*pi;% digital stopband frequency in Hz
(normalized)
Rs = 0.5;          % passband ripple in dB
As = 20;          % stopband attenuation in dB
% Analog Prototype Specifications:
Fs = 1; T = 1/Fs;
OmegaP = (2/T)*tan(wp/2); % prewars prototype passband
frequency
OmegaS = (2/T)*tan(ws/2); % prewars prototype passband
frequency
% Analog Chebyshev-1 Prototype Filter Calculation:
[c,d] = cheby1(OmegaP,OmegaS,Rs,As,'stop');
% Bilinear Transformation:
[b,a] = bilinear(cs,ds,Fs);
[db,mag,pha,grd,w] = freqz(b,a);
plot (w*8000/2/pi,db) ;
xlabel( 'frequency (Hz) '); ylabel ('decibels'); title
('magnitude in dB');

```

7. Desain High Pass Filter digital.

Di bawah ini adalah kode program Matlab untuk desain Chebyshev highpass digital filter dengan band transisi passband dengan frekuensi 1100hz.

```

% highpass Chebyshev Digital Filter
ws = [0.125 *2*pi]; % digital stopband frequency in rad/s
wp = [0.1375*2*pi]; % digital passband frequency in rad/s
Rs = 0.5;          % passband ripple in dB
As = 20;
[N, wn] = cheblord(wp/pi,ws/pi,Rs,As) ;
[b, a] = cheby1 (N, Rs, wn, 'high') ;

```

```
[db,mag,pha,grd,w] = freqz_m(b,a) ;
plot(w*8000/2/pi,db) ;
axis ( [800 1200 -22 1] );
```

8. *Band pass filter* ditentukan dengan menggunakan dua fungsi. Untuk filter bandpass frekuensi ditentukan dengan w_p dan w_s yaitu frekuensi passband dan frekuensi stopband yang keduanya merupakan dua elemen vektor yang dapat menyebabkan dua frekuensi passband dan dua frekuensi stopband, Matlab di bawah ini mendesain filter bandpass digital cheby2tik

```
% Bandpass Elliptic Digital Filter
ws = [0 .3*pi 0.75*pi] %Stopband edge frequency
ws = [0 .4* pi 0.6*pi] %Passband edge frequency
Rs = 0.5; %Passband ripple in dB
As = 20; %Stopband attenuation in dB
[N, wn] = ellipord(wp/pi,ws/pi,Rs,As) ;
[b, a] = ellip(N, Rs, As ;wn) ;
[h,omega]=freqz(b,a);
gain=20*log10(abs(h));
plot(omega/pi,gain);
grid;
xlabel('frequency (Hz)'); ylabel('decibels');
title('magnitude in db Respons');
```

9. Filter Band Stop Analog Butterworth

```
clc;
close all;
clear all;
format long
rp=input ('enter the passband ripple...');
rs=input ('enter the stopband ripple...');
wp=input ('enter the passband freq...');
ws=input ('enter the stopband freq...');
fs=input ('enter the sampling ripple...');
```

```

w1=2*wp/fs;
w2=2*ws/fs;
[n]=buttord (w1,w2,rp,rs,'s');
wn=[w1 w2];
[b,a]=butter(n,wn,'stop','s');
w=0:.01:pi;
[h,om]=freqs(b,a,w);
m=20*log10(abs(h));
an=angle(h);
subplot(2,1,1);
plot(om/pi,m);
ylabel('Gain in dB --. ');
xlabel('(a) Normalised Frequency --. ');
subplot(2,1,2);
plot(om/pi,an);
xlabel('(b) Normalised Frequency --. ');
ylabel('Phase in Radians --. ');

```

10. Band Stop Chebyshev tipe-1

```

clc;
close all;
clear all;
format long;
rp=input ('enter the passband ripple :');
rs=input('enter the stopband ripple :');
wp=input ('enter the passband frequency :');
ws=input ('enter the passband frequency :');
fs=input ('enter the sampling frequency :');
w1=2*wp/fs;
w2=2*ws/fs;
[n]=cheblord(w1,w2,rp,rs,'s');
wn=[w1,w2];
[b,a]=cheby1(n,rp,wn,'stop','s');
w=0:.01:pi;

```



```

[h,om]=freqs(b,a,w);
m=20*log10(abs(h));
an=angle(h);
subplot(2,1,1);plot(om/pi,m);
ylabel('Gain (dB)');
xlabel('(a) normalized frequency');
subplot(2,1,2);
plot(om/pi,an);
xlabel('(b) normalized frequency');
ylabel('phase in passband radian');

```

11. Band Stop Chebyshev tipe-2

```

clc;
close all;
clear all;
format long
rp=input('enter the passband ripple...');
rs=input('enter the stopband ripple...');
wp=input('enter the passband freq...');
ws=input('enter the stopband freq...');
fs=input('enter the sampling freq...');
w1=2*wp/fs;w2=2*ws/fs;
[n]=cheb2ord(w1,w2,rp,rs,'s');
wn=[w1 w2];
[b,a]=cheby2(n,rs,wn,'stop','s');
w=0:.01:pi;
[h,om]=freqs(b,a,w);
m=20*log10(abs(h));
an=angle(h);
subplot(2,1,1);
plot(om/pi,m);
ylabel('Gain in dB --. ');
xlabel('(a) Normalised frequency --. ');
subplot(2,1,2);

```

```

plot(om/pi, an);
ylabel('Phase in radians --. ');
xlabel('(b) Normalised frequency --. ')

```

12. Band Stop Digital Butterworth

```

clc;
close all;
clear all;
format long
rp=input('enter the passband ripple = ');
rs=input('enter the stopband ripple = ');
wp=input('enter the passband freqz = ');
ws=input('enter the stopband freqz = ');
fs=input('enter the sampling freqz = ');
w1=2*wp/fs;
w2=2*ws/fs;
[n]=buttord(w1,w2,rp,rs);
wn=[w1 w2];
[b,a]=butter(n,wn,'stop');
w=0:.01:pi;
[h,om]=freqz(b,a,w);
m=20*log10(abs(h));
w1=2*wp/fs;
w2=2*ws/fs;
[n]=cheb2ord(w1,w2,rp,rs);
wn=[w1 w2];
[b,a]=cheby2(n,rs,wn,'stop');
w=0:.1/pi:pi;
[h,om]=freqz(b,a,w);
m=20*log10(abs(h));
an=angle(h);
subplot(2,1,1);
plot(om/pi,m);
ylabel('Gain in dB --. ');

```

```
xlabel('(a) Normalised frequency --.');
```

```
subplot(2,1,2);
```

```
plot(om/pi,an);
```

```
xlabel('(b) Normalised frequency --.');
```

```
ylabel('Phase in radians --.');
```

F. Referensi

Vinay K. Ingle, John G. Proakis. *Digital Signal Processing using MATLAB*. Brook Cole/Thomson Learning. 2000.

Thab B. Welch, Cameron H. G. Wright, Michael G. Morrow. *Real-time Digital Signal processing from MATLAB to C with TMS320C6x DSK*. Taylor & Francis Group. 2006.

Tri Budi Santoso, Miftahul Huda. *Modul 4 Praktikum Pengolahan Informasi Wicara*.

Modul III Implementasi Filter IIR dan FIR Laboratorium Pengolahan Sinyal Digital Institut Teknologi Telkom.

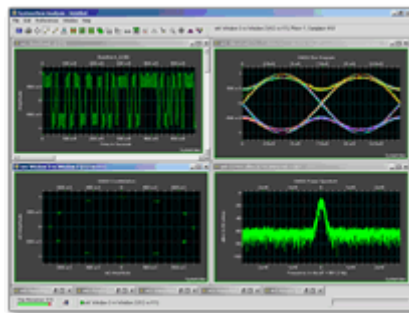
JOBSHEET 3

SYSTEM VUE

SystemVue adalah sebuah lingkungan yang paling menarik dan inovatif untuk desain baseband dan sistem komunikasi bandpass. SystemVue memiliki kemampuan profesional yang luas yang mendukung pemrosesan sinyal digital (DSP) di dsp microprocessor dan diprogram gate array (PGA), desain radio frekuensi analog (rf), dan desain standar seperti IEEE 802.11g, bluetooth dan uwb. SystemVue juga dapat digunakan untuk mensimulasikan thypical blok diagram representasi dari dasar-dasar sistem komunikasi.

Dapat menampilkan ilustrasi sinyal waktu dan spektrum baik kinerja ideal dan terdegradasi akibat aditif kebisingan dan sistem non-linearities. SystemVue juga memiliki kemampuan suara memanfaatkan wav file untuk input dan output. Suara dapat digunakan untuk memperluas analisis untuk penilaian aural kinerja sistem komunikasi.

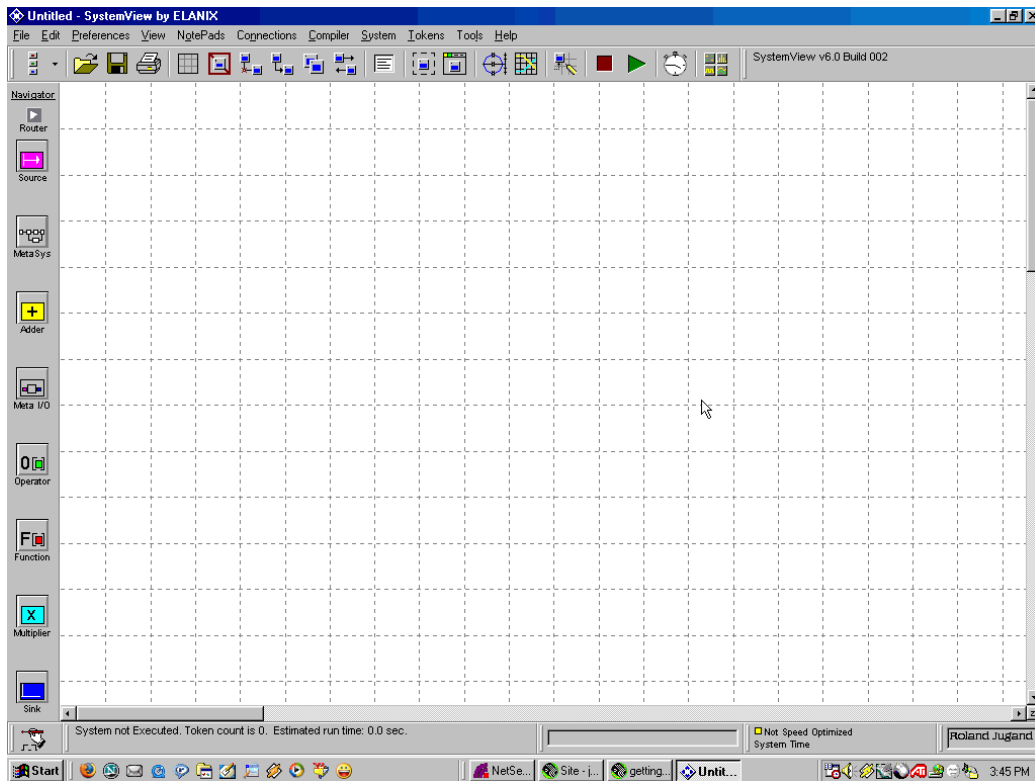
Lingkungan simulasi SystemVue yang disajikan di sini secara cepat-start untuk memulai penyelidikan desain sistem komunikasi. Namun, SystemVue menyediakan bantuan navigator luas yang menjelaskan setiap operasi dan semua token dari berbagai perpustakaan, yang dapat digunakan sebagai suplemen dan referensi. Catatan aplikasi SystemVue dan contoh dari teks ini semua tersedia dari opsi bantuan menu jendela desain.



Gambar 1. Tampilan SystemVue

1. Work Space

Ketika Anda mulai SystemVue, ruang kerja yang kosong akan terbuka. Ruang kerja memiliki toolbar perintah pada toolbar atas dan Model token sisi kiri ruang kerja. Alat ini digunakan untuk membuat model simulasi dan mengamati bagaimana mereka bekerja.



Gambar 2. Halaman kerja SystemVue

Daripada menjelaskan semua komponen ini secara rinci, kita hanya akan menyoroti beberapa token (ikon) pada toolbar dan kemudian membuat model pertama kami.

2. Token Toolbar



Gambar 3. Token Toolbar

Toolbar Token berisi semua komponen yang dibutuhkan untuk membuat model sistem.

2.1 Source Token

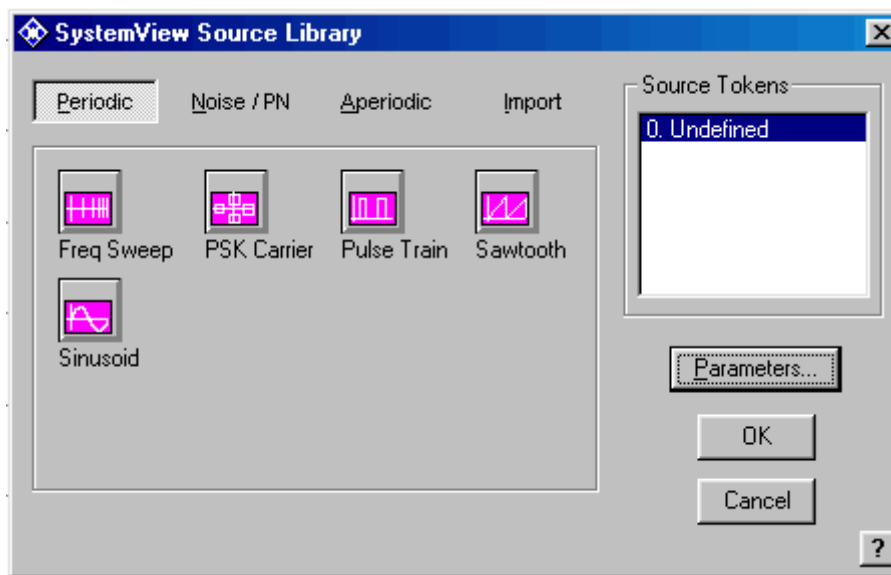


Source Token menghasilkan sinyal. Mereka adalah setara dengan function generator, data, noise sources, dan lain-lain. Source Token hanya memiliki output. (Mereka tidak memiliki masukan.)

Ada empat kelompok sumber sinyal token di perpustakaan, antara lain :

- Periodic (berkala)
- Noise / PN (kebisingan)
- Aperiodic, dan
- Import (mengimpor)

Masing-masing memiliki beberapa variasi.



Gambar 4. Jenis-jenis Source Token

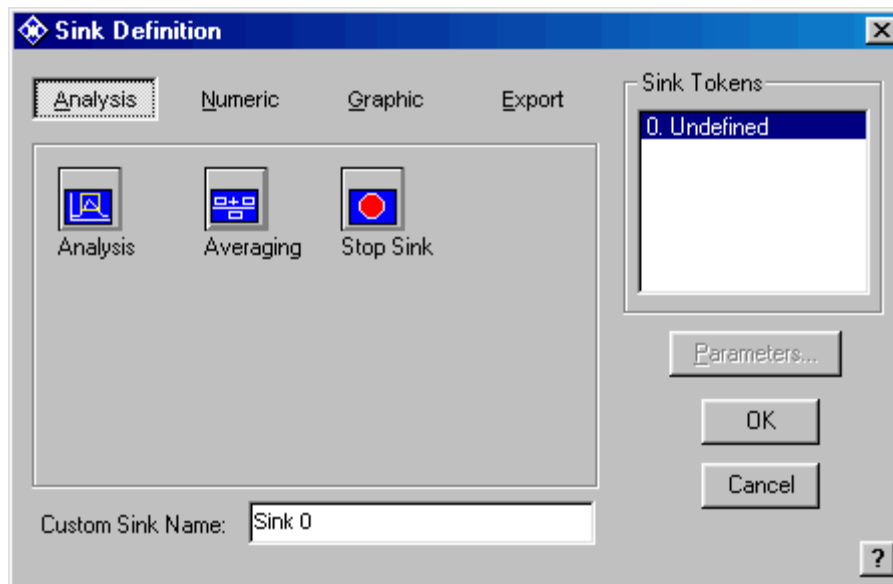
2.2 Sink Tokens

Sink Token adalah setara dengan osiloskop, spectrum analyzer, dan lain-lail. Selalu memberikan nama Sink Token yang bermakna. Nama ini digunakan untuk label layar.

Ada empat jenis Sink Token, antara lain :

- Analysis (analisa)
- Numeric (angka)
- Graphic (grafis)
- Export (ekspor)

Masing-masing memiliki beberapa variasi.



Gambar 5. Jenis-jenis Sink Token



2.3 Adder Token

Token ini memungkinkan Anda untuk menambahkan dua (atau lebih) sinyal bersama untuk membentuk satu output. Urutan koneksi penting, apakah Anda terhubung ke input atau output. Di SystemVue, urutan koneksi selalu sama, dari output ke input.



2.4 Multiplier Token

Token ini memungkinkan Anda untuk memperbanyak dua (atau lebih) sinyal bersama untuk membentuk satu output.

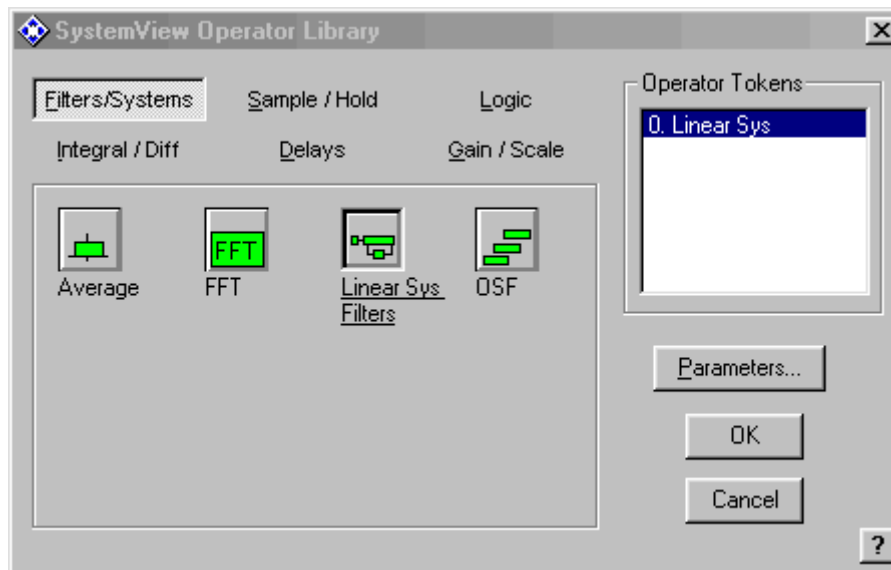


2.5 Operator Token

Ada enam kelompok Operator Token, antara lain :

- Filters / Systems (Filter / Sistem)
- Integral / Diff (Integral / Diff)
- Sample / Hold (Contoh / Tahan)
- Delay (penundaan)
- Logic (logika)
- Gain / Scale (penguatan / skala)

Masing-masing memiliki beberapa variasi.



Gambar 6. Jenis-jenis Operator Token

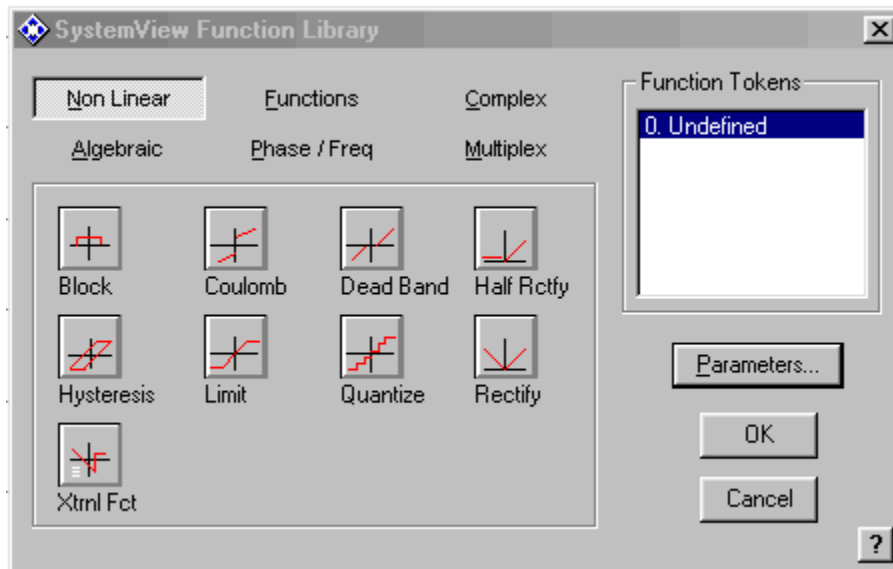


2.6 Function Token

Ada enam kelompok Function Token, antara lain :

- Non Linear
- Algebraic (aljabar)
- Functions (fungsi)
- Phase / Frequency (Fase / Frekuensi)
- Complex (kompleks)
- Multiplex

Masing-masing memiliki beberapa variasi.



Gambar 7. Jenis-jenis Function Token

3. Command Toolbar

Command Toolbar memungkinkan Anda untuk menghubungkan ke token dan menginstruksikan komputer untuk menjalankan model.




Gambar 8. Command Toolbar

3.1 Connect Tokens



Untuk menghubungkan token, Anda harus:

- Pilih ikon token terhubung pada command toolbar 
- Pilih token pertama (output)
- Pilih token kedua (masukan)

Di SystemVue, urutan koneksi selalu sama, dari output dari satu token ke masukan token yang lain. Tidak perlu untuk benar-benar menentukan input atau output sejak SystemVue mengasumsikan bahwa Anda telah memilih output dari token pertama yang telah Anda pilih dan ingin menghubungkannya ke masukan dari token kedua yang telah Anda pilih.

3.2 Disconnect Tokens



Untuk melepaskan token:

- Pilih ikon disconnect token pada command toolbar
- Pilih token pertama (output)
- Pilih token kedua (masukan)

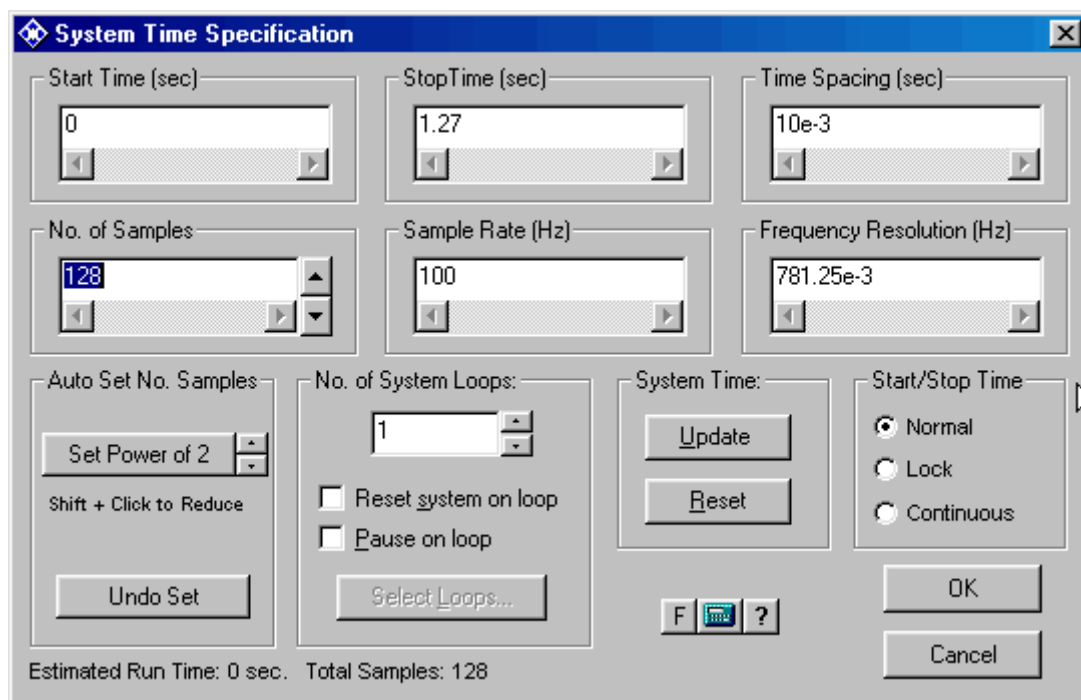


Di SystemVue, urutan pemutusan selalu sama, dari output dari satu token ke masukan token yang lain. Sekali lagi, tidak perlu untuk benar-benar menentukan input atau output sejak SystemVue mengasumsikan bahwa Anda telah memilih output dari token pertama yang telah Anda pilih dan ingin melepaskan dari masukan dari token kedua yang telah Anda pilih.



3.3 System Time

System Time memberitahu komputer bagaimana melakukan analisis. Ini mungkin adalah bagian yang paling sulit dari program untuk digunakan, karena membutuhkan pemahaman tentang bagaimana analisis sinyal digital bekerja. Jika Anda meminta komputer untuk melakukan hal yang konyol, itu akan memberikan hasil yang konyol.



Gambar 9. System Time Spesification

3.4 Run System



Memilih ikon ini menginstruksikan komputer untuk menjalankan simulasi.

3.5 Analysis Window



Memilih ikon ini akan menampilkan array yang menakjubkan grafik dan plot.

4. Sinewave (Gelombang Sinus)

Yang paling sederhana dari semua sumber sinyal adalah sinewave. Ini memiliki tiga atribut utama:

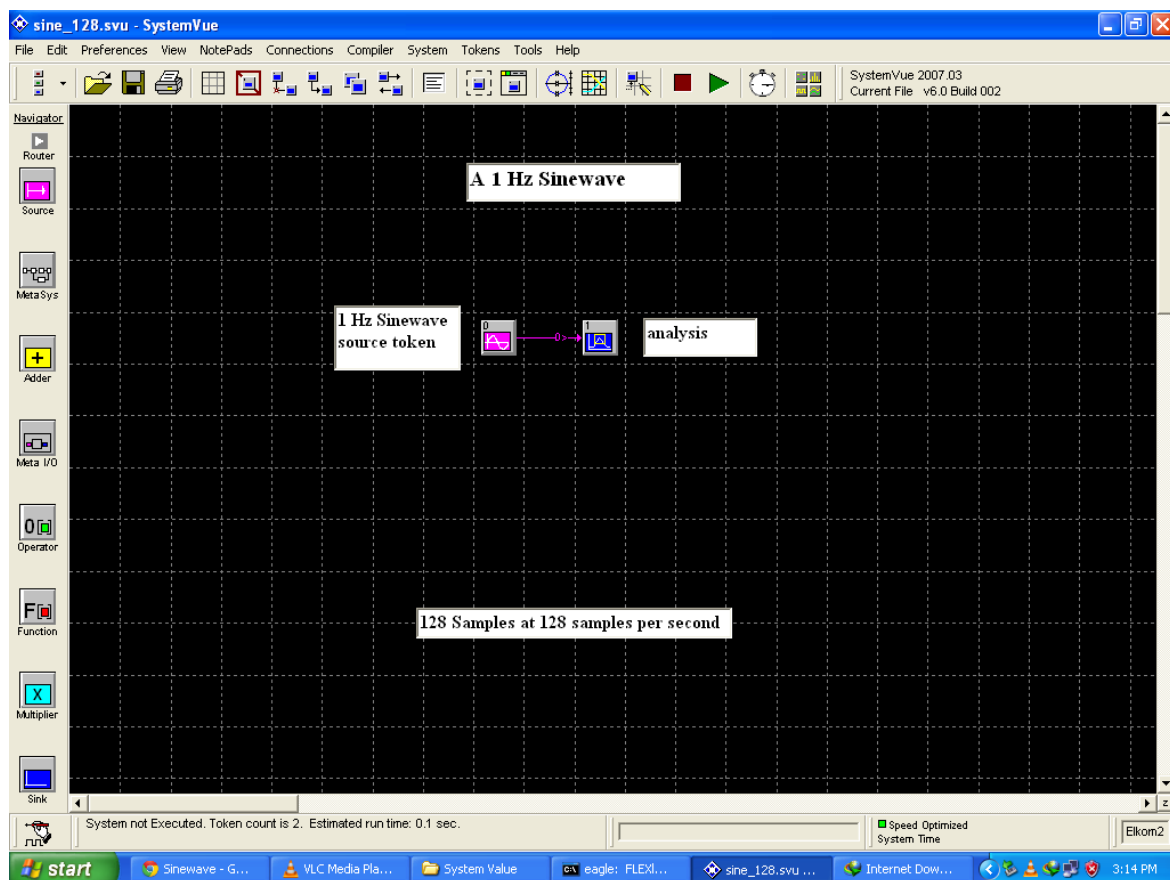
- Amplitudo
- Frekuensi
- Phase

Instrumen yang paling penting yang digunakan untuk mengukur sinewaves adalah:



- Multimeter
- Osiloskop
- Spectrum analyzer.

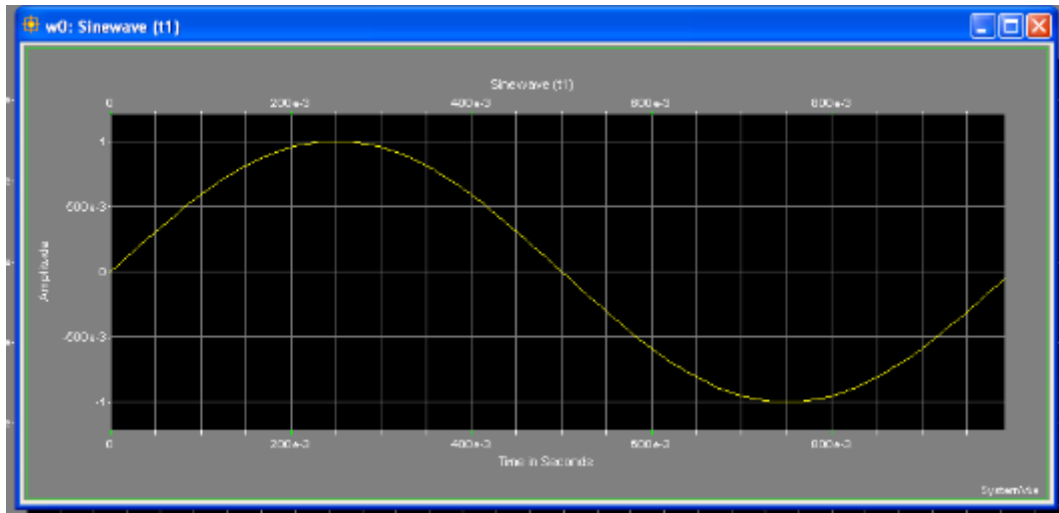
4.1 Time Domain (Oscilloscope)

Model ini menghasilkan gelombang sinus 1 Hz.



Gambar 10. Model rangkaian Time Domain


- Klik tombol sistem run  untuk menjalankan simulasi.
- Klik tombol jendela analisis  untuk menampilkan hasil. Domain waktu adalah tampilan default.

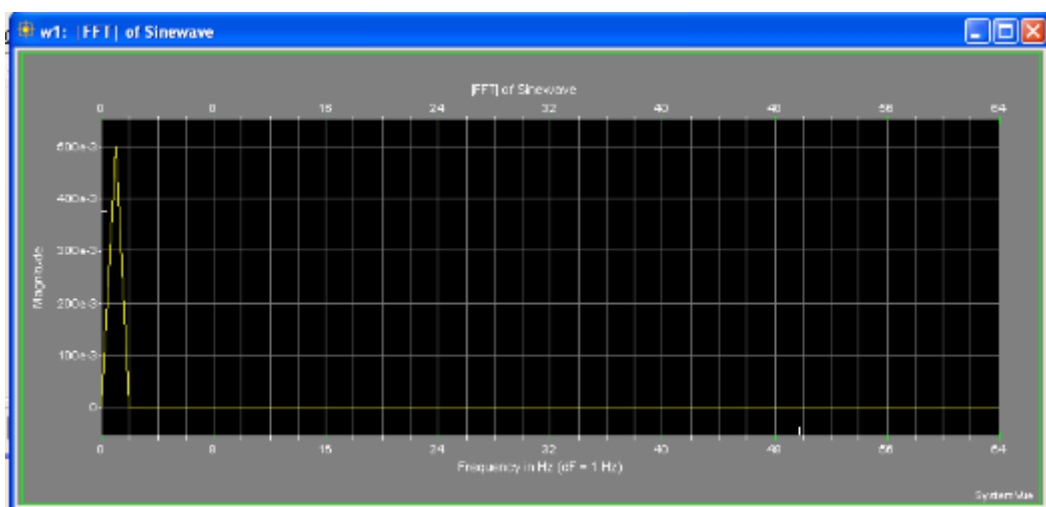


Gambar 11. Hasil analisis Time Domain

4.2 Frequency Domain (Spectrum Analyzer)

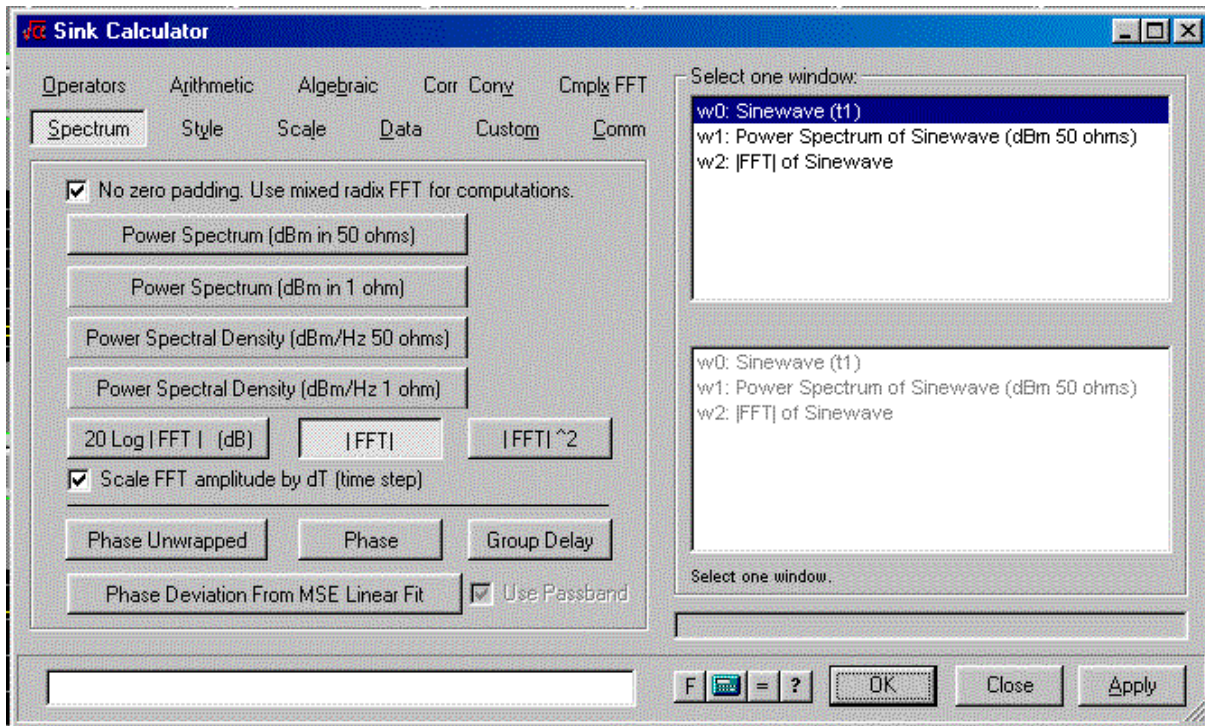
Berbeda dengan tampilan domain waktu, komputer harus diberitahu untuk menghasilkan tampilan domain frekuensi (spektrum analyzer). Hal ini dicapai dengan menggunakan token

Sink Kalkulator  ditemukan di bagian bawah jendela analisis. Ini membuka Jendela Kalkulator Sink. Dalam file ini, besarnya FFT telah diminta dan dihasilkan.



Gambar 11. Hasil analisis Frequency Domain

4.3 Sink Calculator Window



Gambar 12. Sink Calculator

Ini adalah alat analisis yang sangat kuat. Pada tahap ini kita tertarik pada fitur Spectrum. Perhatikan berbagai jenis analisis spektrum.

Spektrum Daya (dBm pada 50 ohm) perhitungan menghasilkan hasil yang sama sebagai penganalisis spektrum standar.

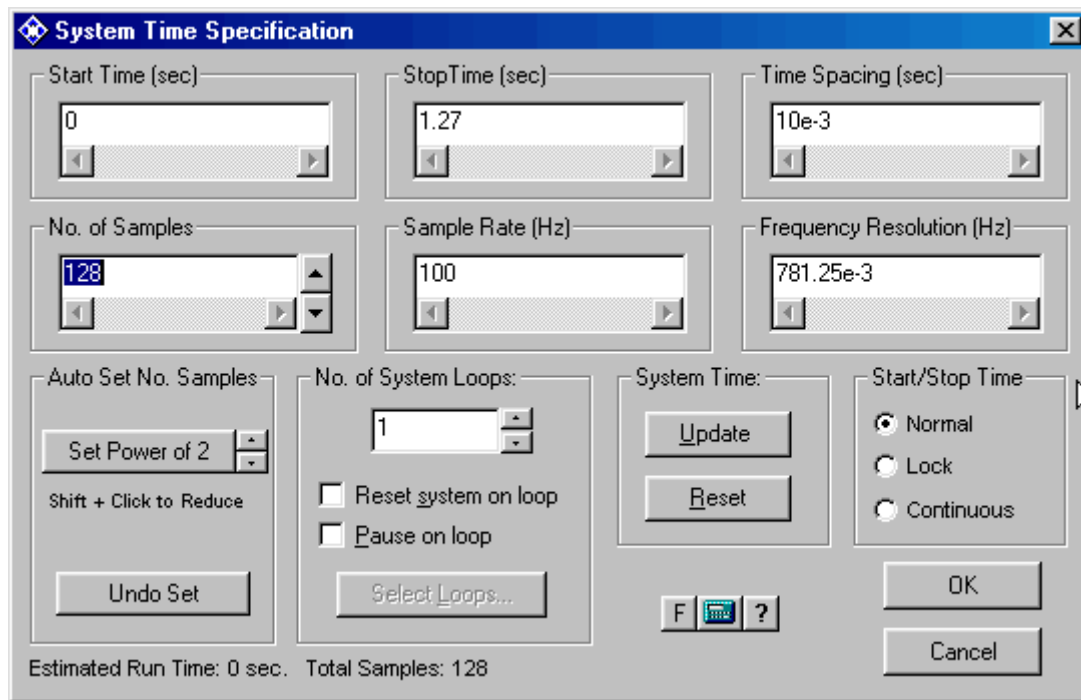
Untuk menghitung Spektrum Daya (dBm di 50 ohm):

- Pilih kalkulator Sink Token  [Token Kalkulator]
- Pilih Spectrum
- Pilih Spectrum Daya (dBm pada 50 ohm)
- Pilih Sinewave dari Select satu jendela

4.4 Define System Time



Menyiapkan waktu sistem dengan benar sangat penting untuk menghasilkan spektrum yang bermakna.



Gambar 13. System Time Spesification

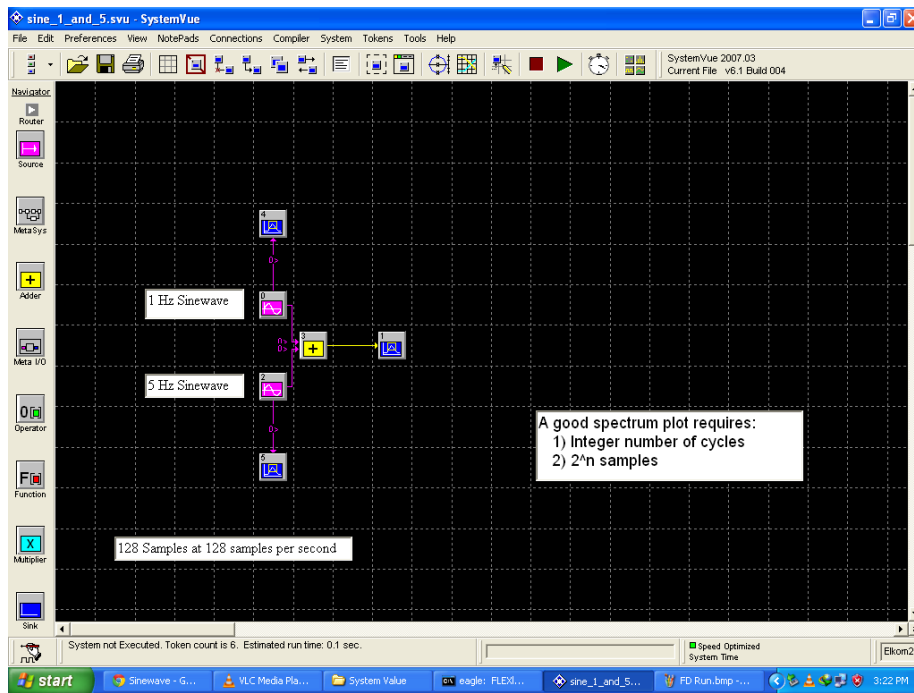
Jumlah sampel harus Set Power of 2 (dalam hal ini 128). Ini mengoptimalkan fungsi matematika yang dikenal sebagai FFT (Fast Fourier Transform), yang mengubah domain waktu ke dalam domain frekuensi. Nomor apapun dapat digunakan, tetapi memilih salah satu dari Power Set 2 nilai, mengurangi jumlah artefak perhitungan yang merupakan hasil tak terelakkan dari analisis komputer digital.

4.5 Modifikasi Model

Sebuah sinewave hanya memiliki satu komponen spektral. Meskipun amplitudo (tegangan) dari (1 volt peak) sinewave dalam domain waktu adalah 1, besarnya absolut dihitung dalam domain frekuensi $\frac{1}{2}$. Ini 'perbedaan' adalah hasil alami dari FFT. The magnitiude mutlak dihitung adalah fungsi dari durasi waktu yang ditetapkan oleh Waktu Sistem. Namun, Spectrum Power independen dari waktu sistem.

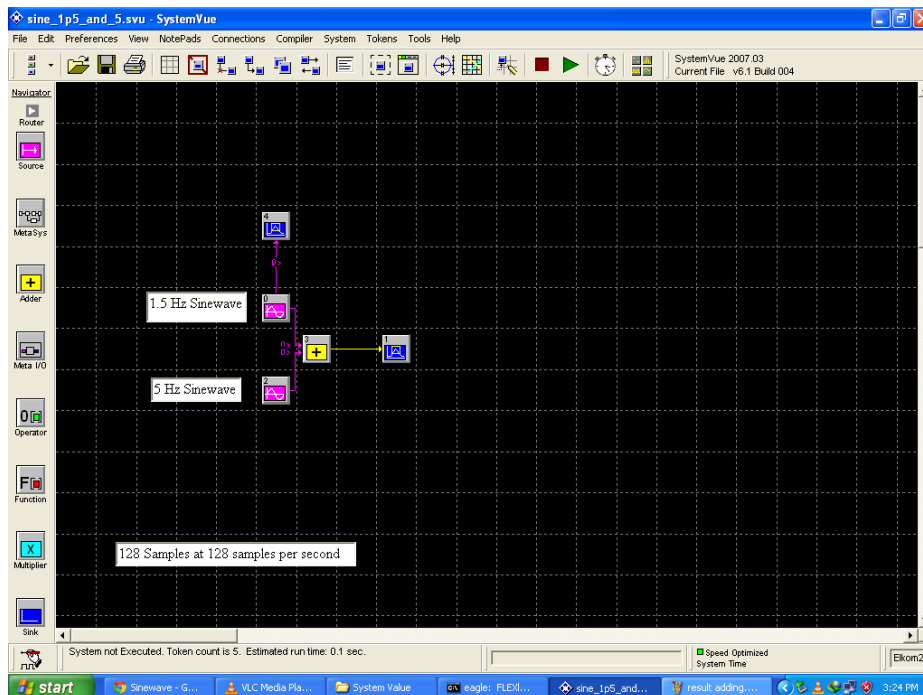
Peningkatan jumlah sampel meningkatkan resolusi frekuensi domain dari spektrum.

Menambahkan sinewaves lebih.

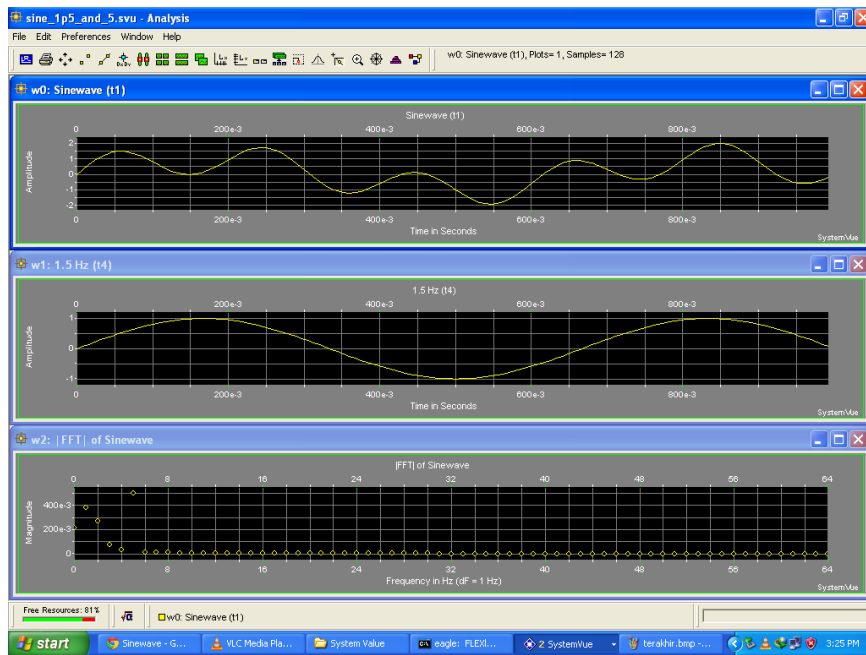


Gambar 14. Penambahan sinewave

Jika sampel terlalu sedikit diambil, artefak spektral akan dibuat.



Gambar 15. Model akhir



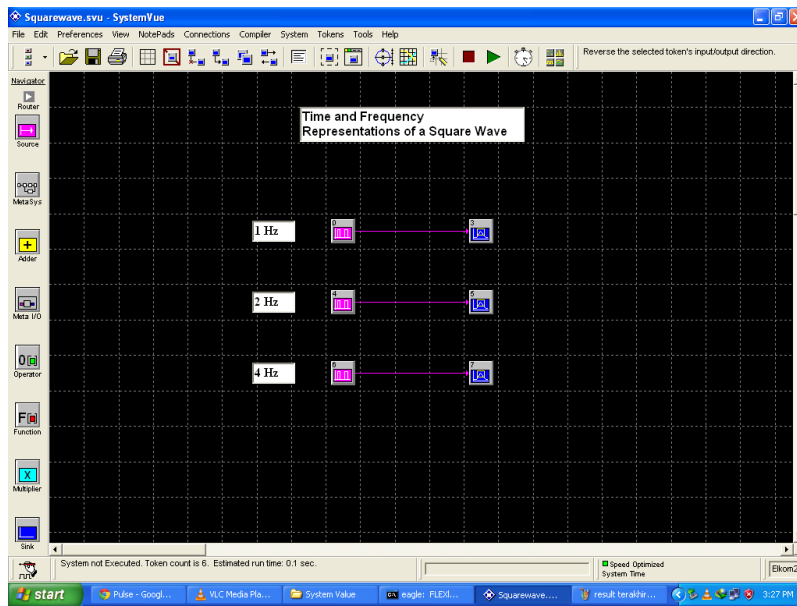
Gambar 16. Hasil analisis

5. Pulse

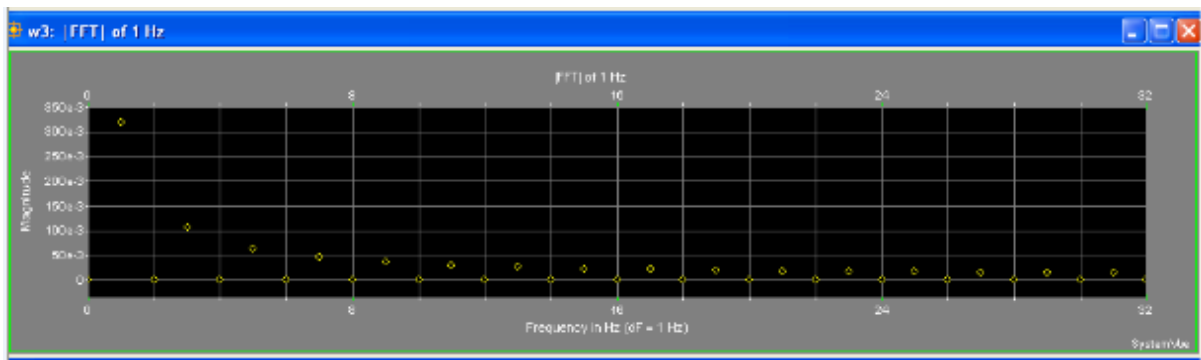
Semua bentuk gelombang berulang dapat didekomposisi menjadi sinewaves. Frekuensi dasar memiliki periode yang sama dengan gelombang yang sedang dianalisis. Dalam kasus pulsa persegi panjang sederhana, semua komponen frekuensi yang harmonik (kelipatan integer) dari fundamental. Amplitudo komponen (bentuk keseluruhan dari amplop harmonik) mengikuti sinc atau fungsi.

5.1 Square Waves (Gelombang Persegi)

Gelombang persegi terdiri dari harmonik ganjil dari fundamental.



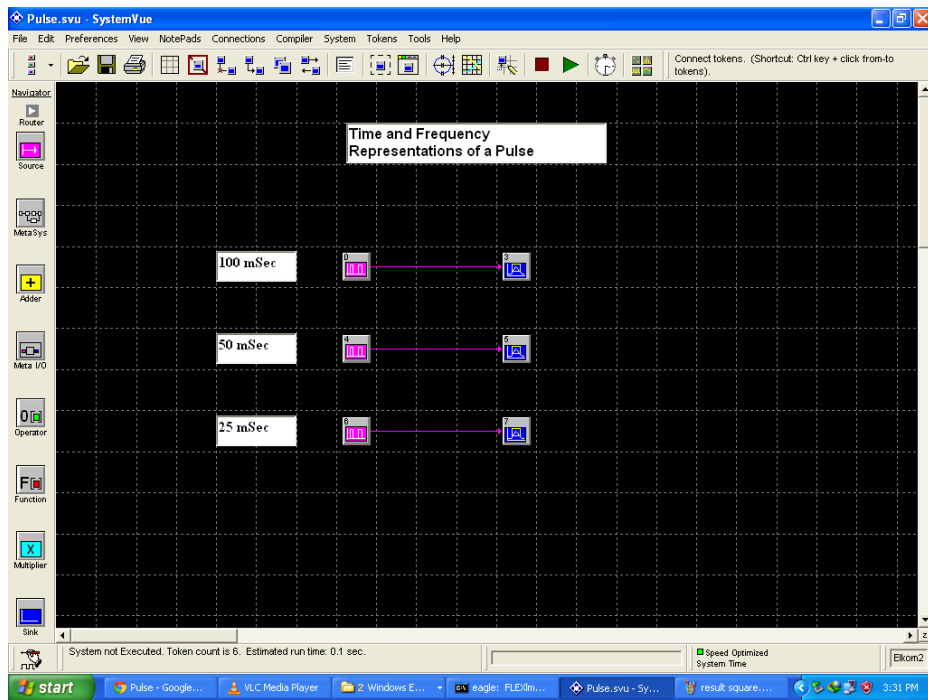
Gambar 17. Model square waves



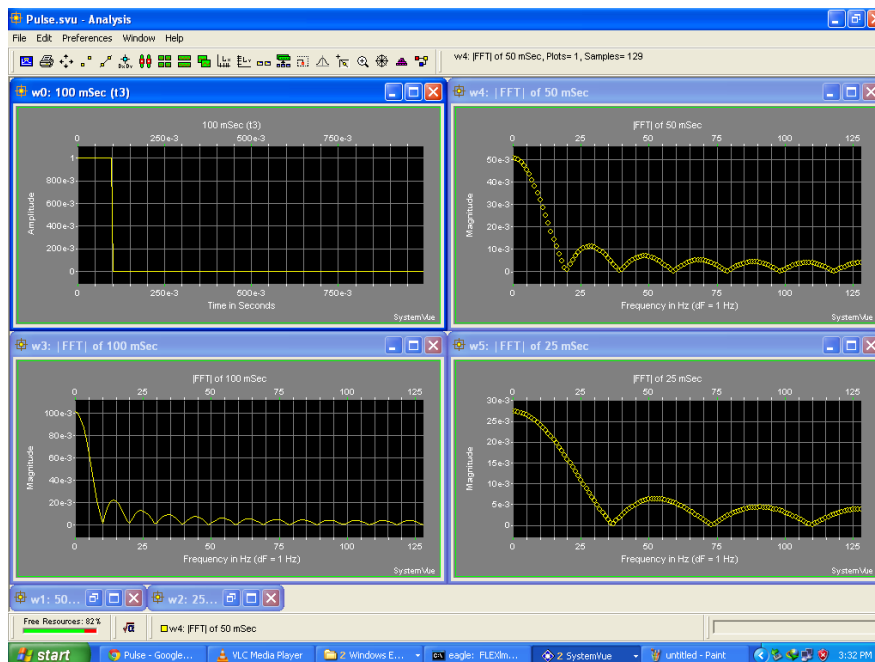
Gambar 18. Hasil analisis square waves

5.2 Rectangular Pulses (Pulsa Persegi Panjang)

Sebuah pulsa rectangular terdiri dari harmonik genap dan ganjil dari fundamental. Harmonisa yang merupakan kelipatan integer dari durasi pulsa yang sama dengan nol. Misalnya, setiap harmonik ke-4 pulsa dengan duty cycle 25% sama dengan nol.



Gambar 19. Model rectangular waves

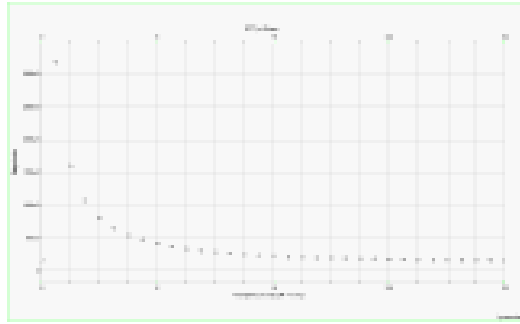


Gambar 20. Hasil analisis rectangular patch

6. Triangle

6.1 Ramp (Jalan)

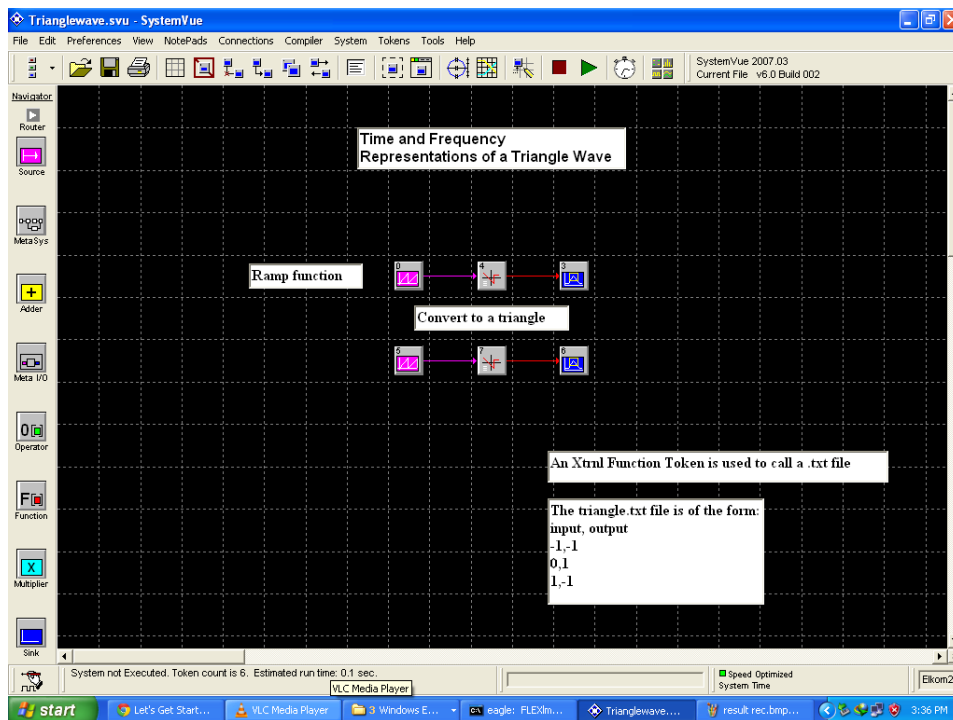
Gelombang jalan terdiri dari harmonik ganjil dari fundamental.



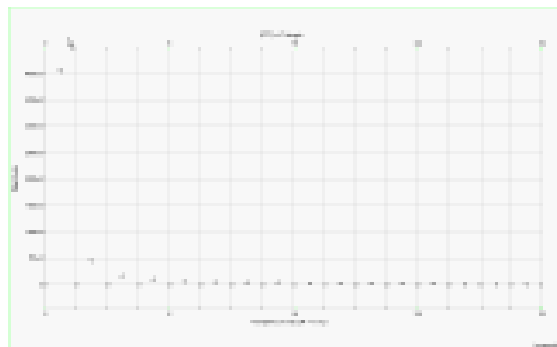
Gambar 21. Grafik hasil analisis

6.2 Triangle (Segitiga)

Gelombang segitiga memiliki harmonisa kurang dari ramp.



Gambar 22. Model triangle

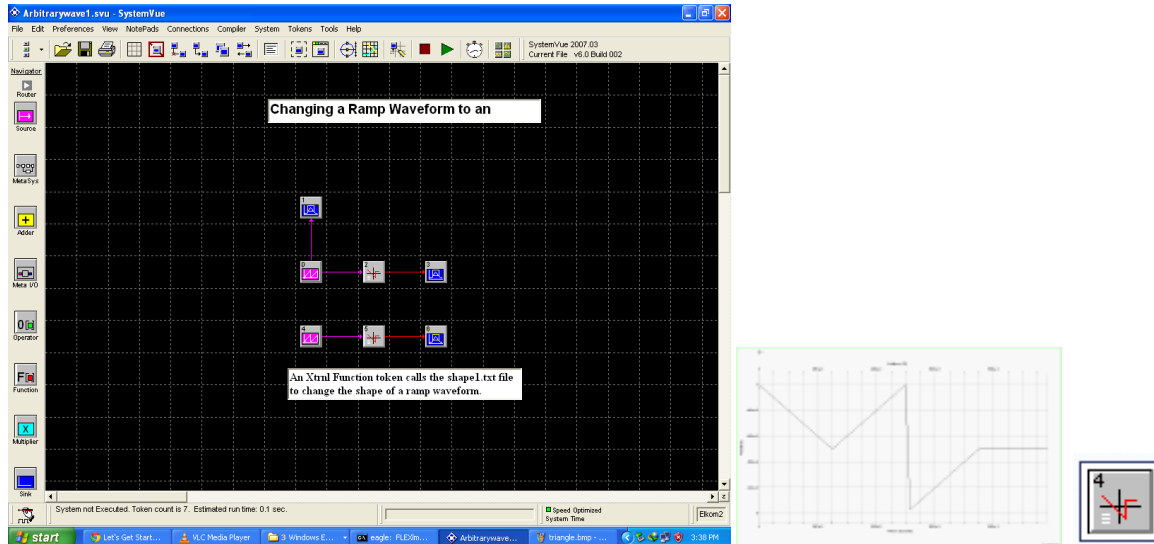


Gambar 23. Grafik hasil analisis



Model ini menggunakan Token Xtrnl (sebuah file teks eksternal) untuk mengubah jalan ke dalam segitiga.

6.3 Arbitrary (Acak atau Sembarang)



Gambar 24. Model dan grafik analisis arbitrary

Model ini menggunakan Token Xtrnl (sebuah file teks eksternal) untuk mengubah jalan ke dalam segitiga.

Gelombang sembarang dapat memiliki spektrum yang kompleks.

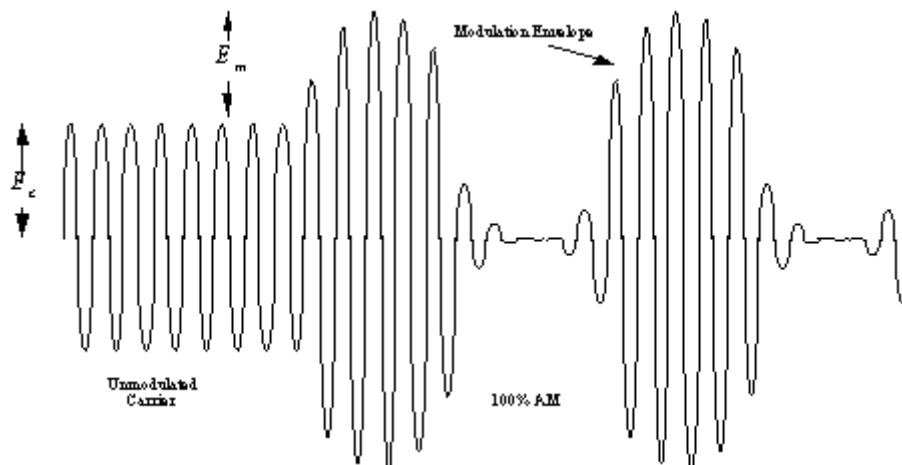
JOBSHEET 4

AMPLITUDO MODULATION

Modulasi amplitudo digunakan dalam radio komersial dan siaran televisi. Meskipun secara tradisional digunakan dalam sistem analog, proses ini dapat disesuaikan untuk membawa informasi digital.

Persamaan AM: $e_{am} = (1 + \text{Cos}\omega_m)\text{Cos}\omega_c$

Sebuah sinyal pembawa sinewave adalah bentuk $e_c = E_c \sin \omega_c t$ dan modulasi sinyal sinewave adalah dalam bentuk $e_m = E_m \sin \omega_m t$. Perhatikan bahwa amplitudo pembawa frekuensi tinggi mengambil bentuk yang lebih rendah sinyal modulasi frekuensi membentuk apa yang disebut amplop modulasi.



Indeks modulasi didefinisikan sebagai rasio amplitudo sinyal modulasi amplitudo sinyal

pembawa. $m = \frac{E_m}{E_c}$ dimana $0 \leq m \leq 1$.. Keseluruhan sinyal dapat dijelaskan oleh:

$$\begin{aligned} e_{am} &= (E_c + E_m \sin \omega_m t) \sin \omega_c t \\ &= (E_c + mE_c \sin \omega_m t) \sin \omega_c t \end{aligned}$$

Akibatnya, memperluas seketika hasil ekspresi di AM :

$$\begin{aligned} e_{am} &= E_c \sin \omega_c t + mE_c \sin \omega_m t \sin \omega_c t \\ &= \underbrace{E_c \sin \omega_c t}_{\text{Carrier}} + \underbrace{\frac{mE_c}{2} \sin(\omega_c - \omega_m)}_{\text{LSB}} - \underbrace{\frac{mE_c}{2} \sin(\omega_c + \omega_m)}_{\text{USB}} \end{aligned}$$

Dari sini kita amati bahwa sidebands atas dan bawah dibuat ketika menggunakan modulasi

amplitudo. Amplitudo sideband: $\frac{mE_c}{2}$, dan total spektrum diduduki adalah dua kali

bandwidth sinyal modulasi atau $2f_m$. Seringkali, amplitudo pembawa dinormalisasi dan ekspresi tertulis:

$$e_{am} = (1 + m \sin \omega_m t) \sin \omega_c t$$

Sinyal AM sering dicirikan dalam hal kekuasaan, karena kekuasaan, yang digunakan untuk menggerakkan antena. Daya total dalam 1Ω resistor diberikan oleh:

$$\begin{aligned} P_T &= E_c^2 + \left(\frac{mE_c}{2}\right)^2 + \left(\frac{mE_c}{2}\right)^2 \\ &= P_c + \frac{m^2}{4} P_c + \frac{m^2}{4} P_c \\ &= P_c \left(1 + \frac{m^2}{2}\right) \end{aligned}$$

Dari sini kita amati bahwa dengan indeks modulasi 0, daya yang ditransmisikan sama dengan daya pembawa. Namun, ketika indeks modulasi 1, daya yang ditransmisikan total meningkat 1,5 kali daya pembawa. Pada 100% modulasi, hanya 1/3 dari total daya dalam sidebands atau hanya 1/2 dari daya pembawa dalam sidebands.

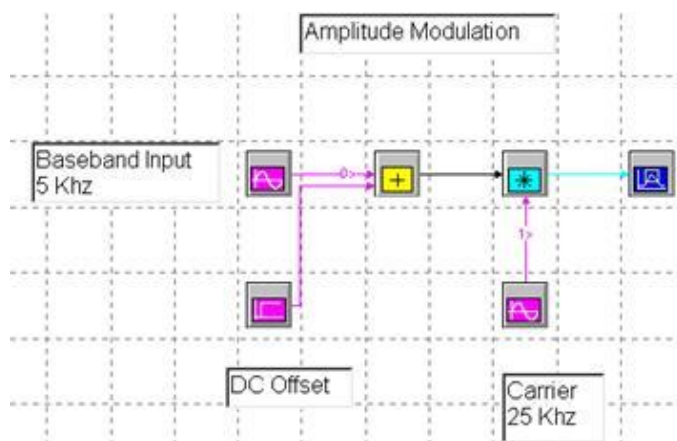
Dalam hal tegangan dan arus:

$$E_T = E_c \sqrt{1 + \frac{m^2}{2}} \quad I_T = I_c \sqrt{1 + \frac{m^2}{2}}$$

Jika pembawa dimodulasi oleh sinyal yang kompleks, modulasi efektif dapat ditentukan oleh kombinasi indeks modulasi masing-masing komponen.

$$m_{eff} = \sqrt{m_1^2 + m_2^2 + m_3^2 + \dots} \text{ (must not exceed 1)}$$

AM Modulator



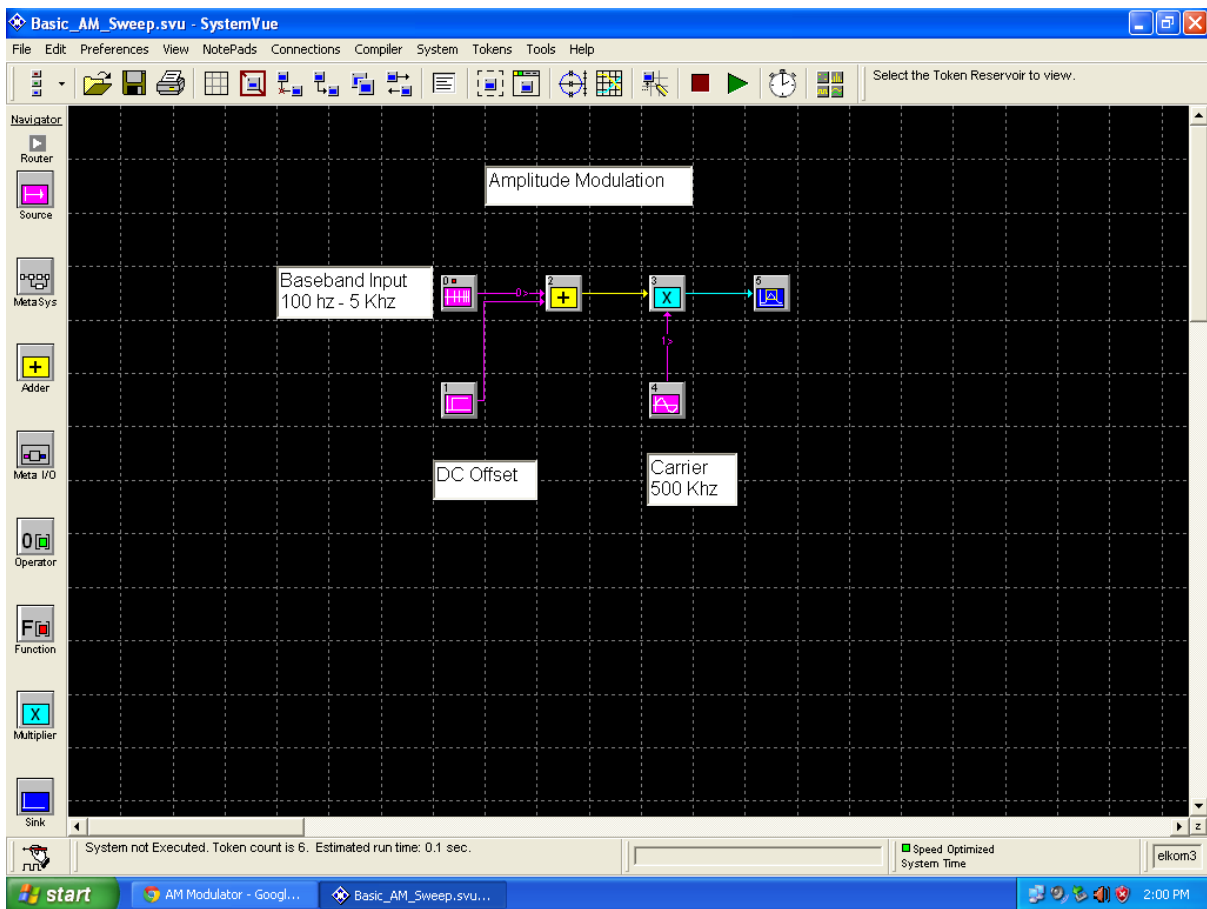
Model ini secara langsung mengimplementasikan persamaan AM.

$$e_{AM} = (1 + \text{Cos}\omega_m) \text{Cos}\omega_c$$

Ungkapan ini dapat dimodelkan oleh:

- Menambahkan DC offset sinyal baseband
- Mengalikan jumlah dengan pembawa

Model ini mensimulasikan AM dua cara:



- Persamaan AM $e_{AM} = (1 + \text{Cos}\omega_m) \text{Cos}\omega_c$
- Sebuah tanda AM

DC offset dalam persamaan di atas mengontrol amplitudo pembawa transmisi. Setiap nomor dapat digunakan tetapi nilai 1 menghasilkan gelombang AM standar dan 0 menghasilkan DSBSC.

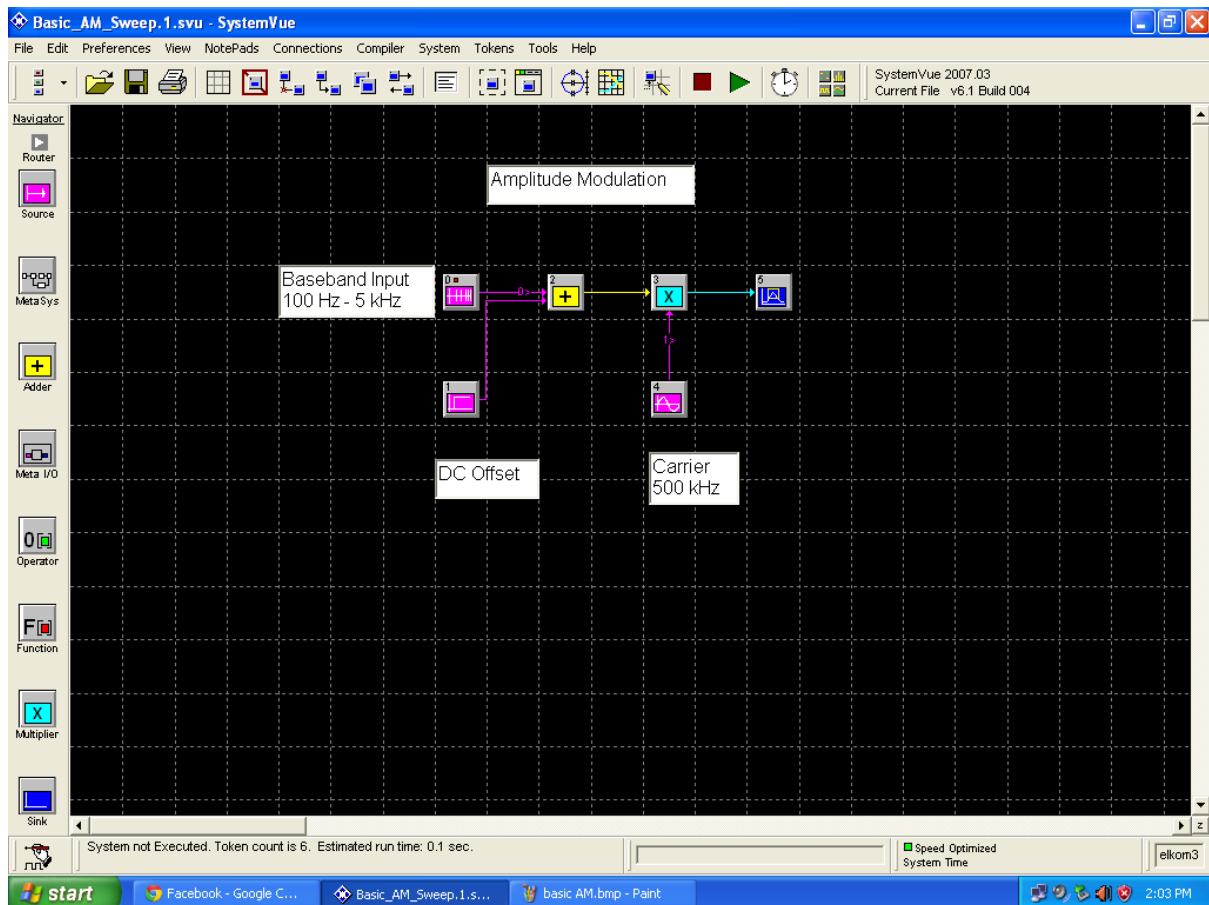


AM Sweep Input

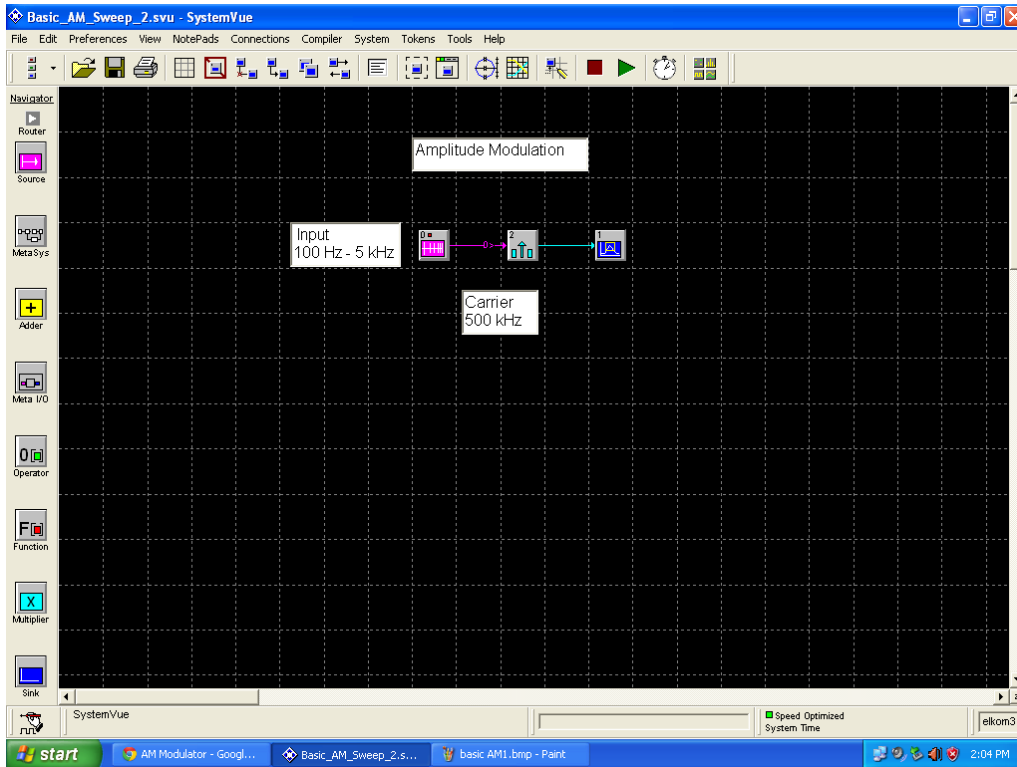
Token menyapu memungkinkan input modulasi untuk menjadi sebuah band frekuensi. Perlu dicatat, bahwa sejak input akan pada setiap frekuensi yang diberikan untuk hanya sebagian kecil dari waktu berjalan, amplitudo sideband akan tampak cukup kecil.

Ini adalah penting bahwa periode token menyapu harus disinkronkan dengan waktu sistem. Hal ini dapat dilakukan dengan menggunakan menu Tools, global Parameter Links, dan pengaturan periode sama dengan jumlah sampel kali langkah waktu sistem ($ns * dt$)

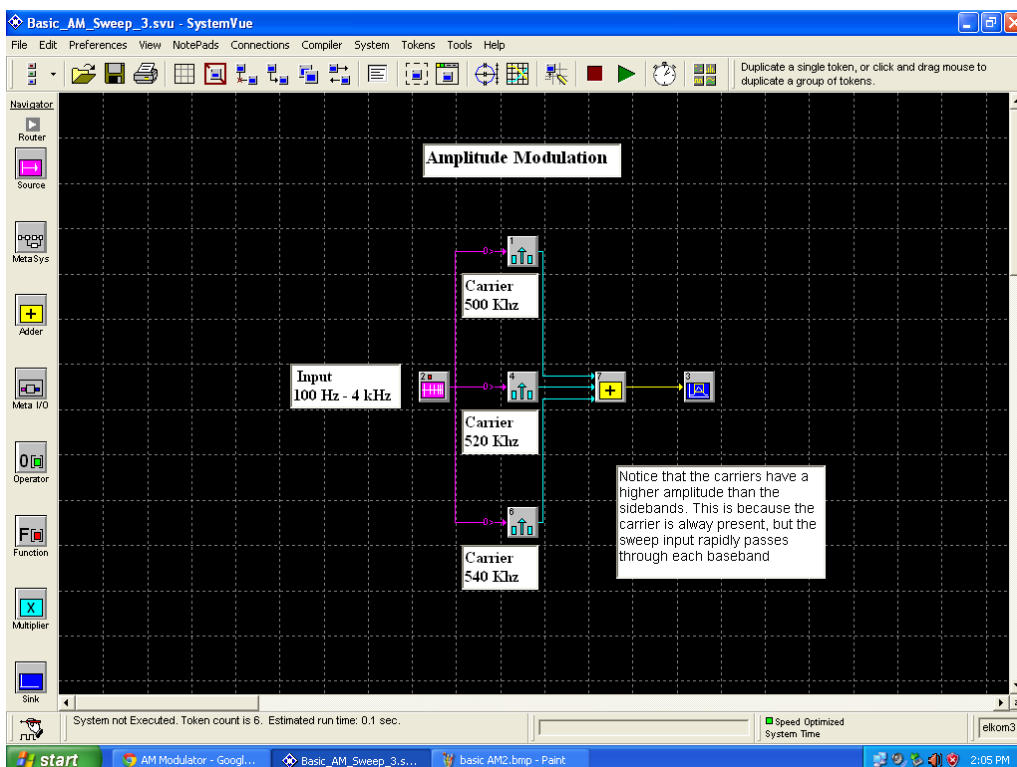
Menggunakan tanda AM.



Dengan langsung menerapkan persamaan AM, operator dapat dikurangi dengan mengurangi DC offset, sehingga membawa amplitudonya lebih dekat dengan yang sidebands.



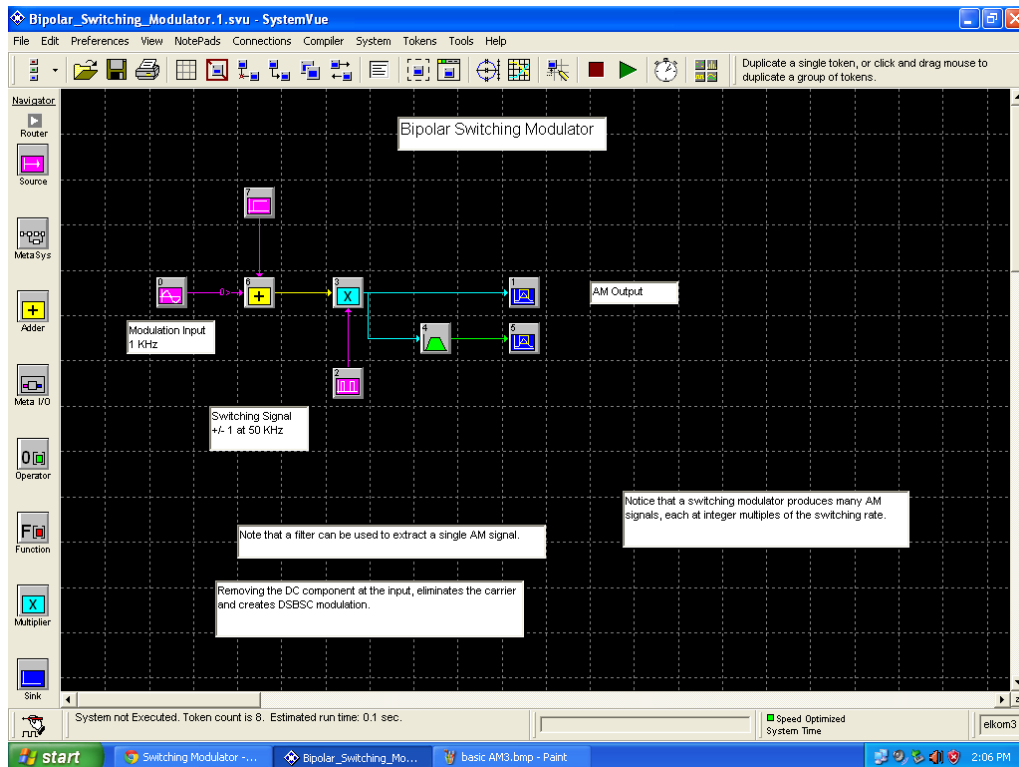
Beberapa AM modulator dapat dikombinasikan untuk menunjukkan FDM (frequency division multiplexing) seperti yang digunakan dalam banyak sistem siaran, termasuk AM komersial dan FM broadcast.



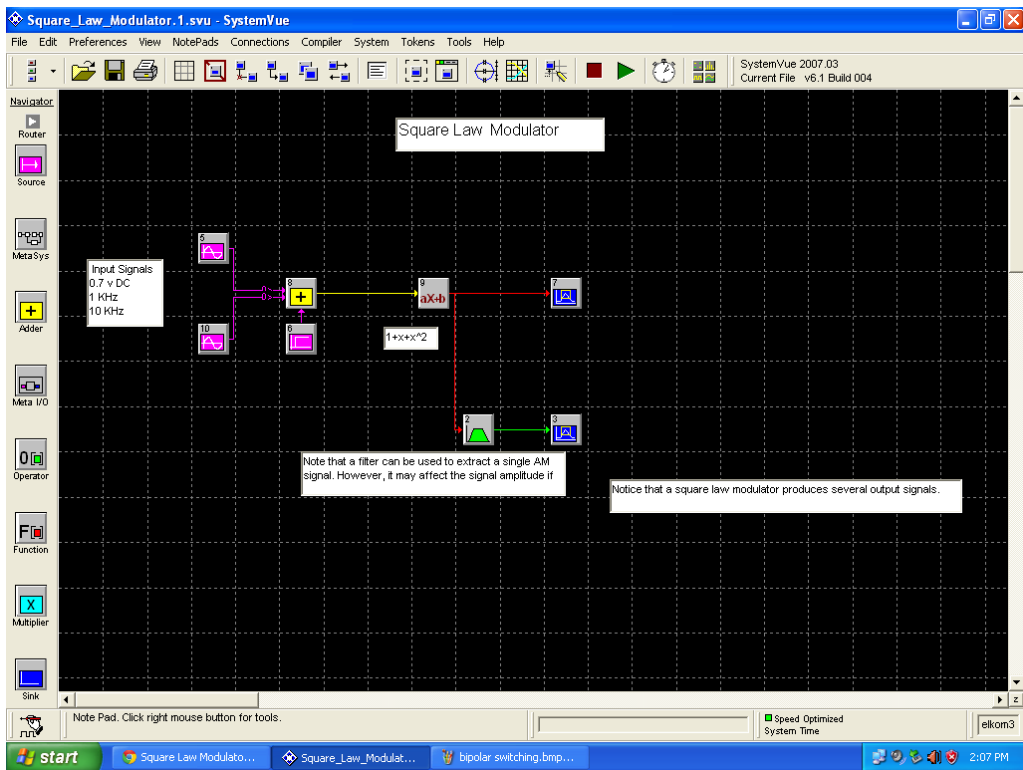
Salah satu dari tiga stasiun AM dapat dideteksi oleh penerima, hanya dengan menyesuaikan frekuensi osilator lokal.

Switching Modulator

- Unipolar Switching Modulator
- Bipolar Switching Modulator
-



- Square Law Modulator



Frequency Shifting

Sistem jam dalam harus setidaknya 3-5 frekuensi tertinggi dalam model. Sebuah sampling rate yang sangat tinggi akan diperlukan karena band siaran AM meluas ke 1,5 MHz. Seperti tingkat tinggi akan masuk akal karena kita, dalam hal ini, terutama tertarik pada sinyal baseband.

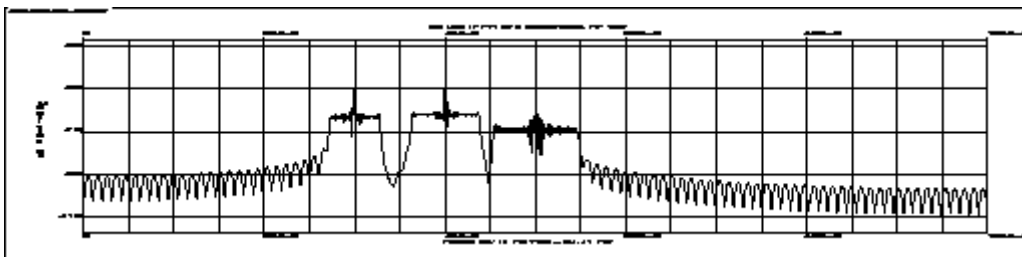
Oleh karena itu operator RF telah bergeser ke frekuensi 30 - 50 KHz, dan 455 KHz IF telah diturunkan menjadi 20 KHz. (Ada teknik lain, menggunakan penipisan, yang tidak memungkinkan berbagai sinyal dan clock rate.)



Sweep Frequency Token

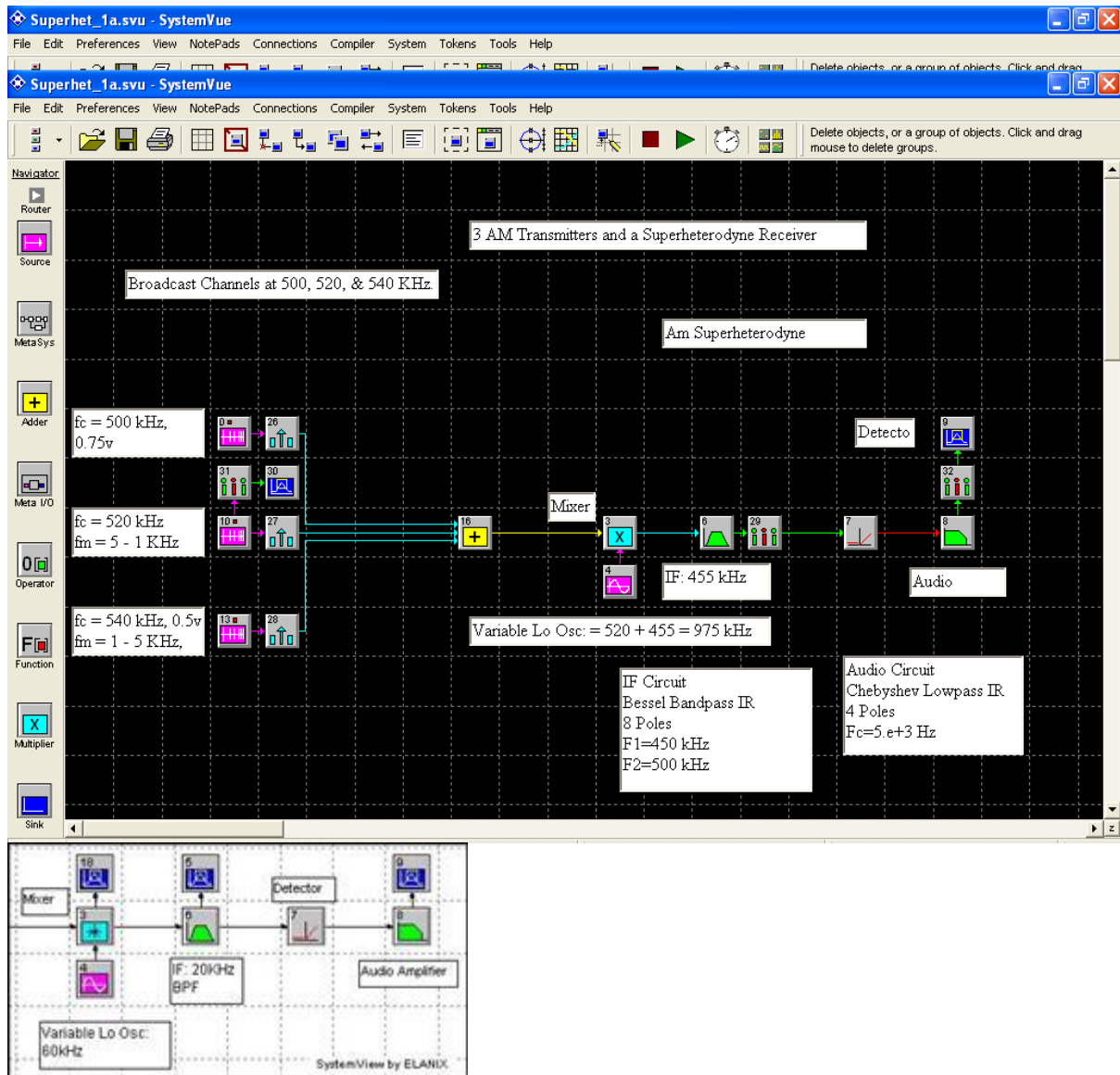
Periode menyapu baseband harus persis sama dengan waktu modeling. Hal ini dapat dilakukan secara otomatis dengan menggunakan link parameter global dalam menu tools. Atur periode menyapu ke $dt * ns$.

Broadcast Spectrum



Setiap stasiun siaran AM simulasi diberi amplitudo yang berbeda dan bandwidth sinyal dalam rangka untuk membuat mereka lebih dibedakan.

AM Receivers

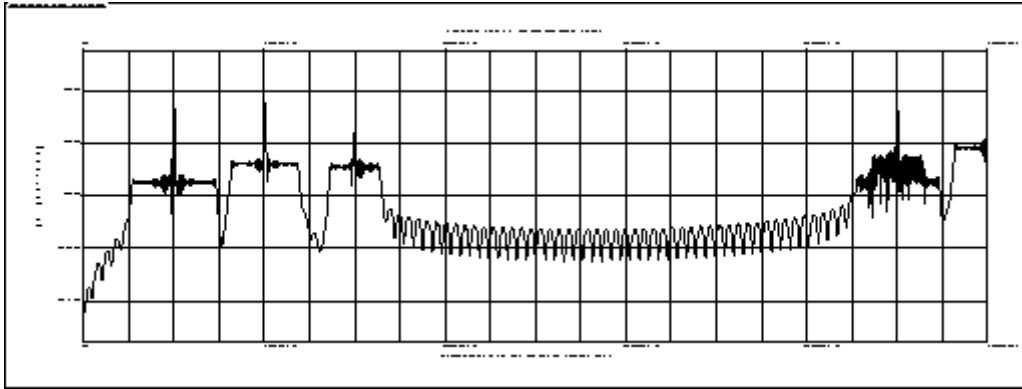


Sebuah penerima radio terdiri dari sebuah konverter bawah, IF bandpass filter, amplop detektor, dan passband filter. Beberapa radio dapat menggunakan detektor sinkron.

RF Mixer

Sebuah Mixer menggabungkan dua frekuensi masukan untuk menghasilkan jumlah dan perbedaan frekuensi.

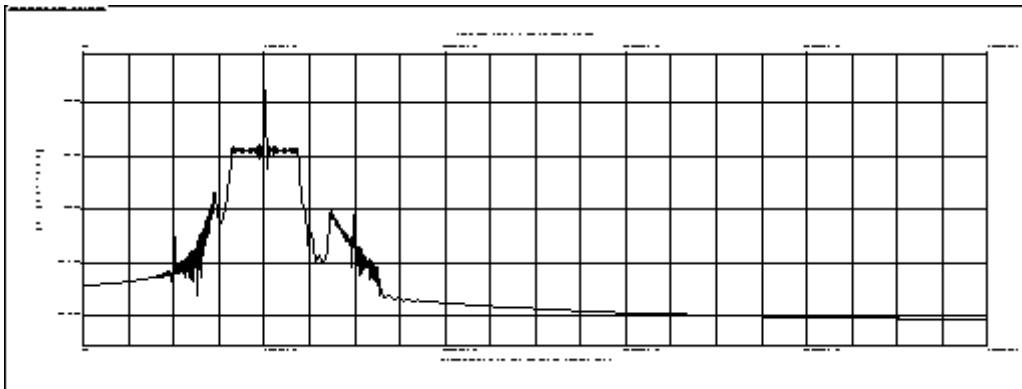
Mixer Output



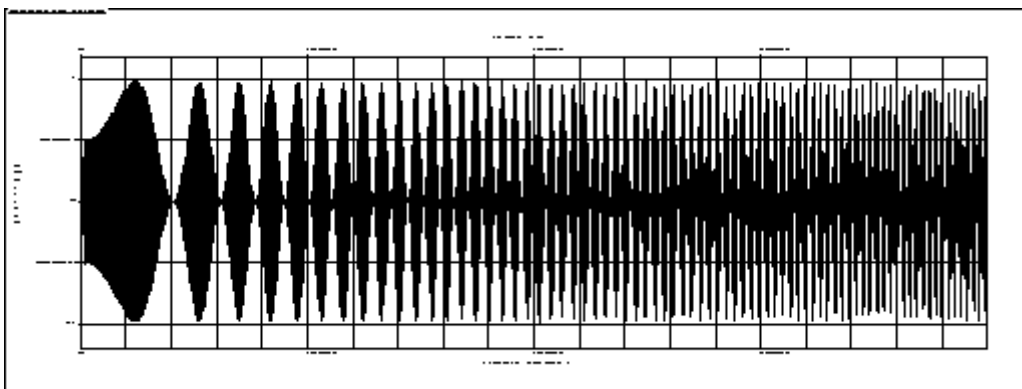
IF Pass Band Filter

Jika sirkuit kontrol selektivitas penerima. Ini adalah filter bandpass memisahkan satu sinyal dari semua orang lain. Model ini menggunakan Chebyshev 5 tiang IIR bandpass filter.

IF Output Frequency Domain



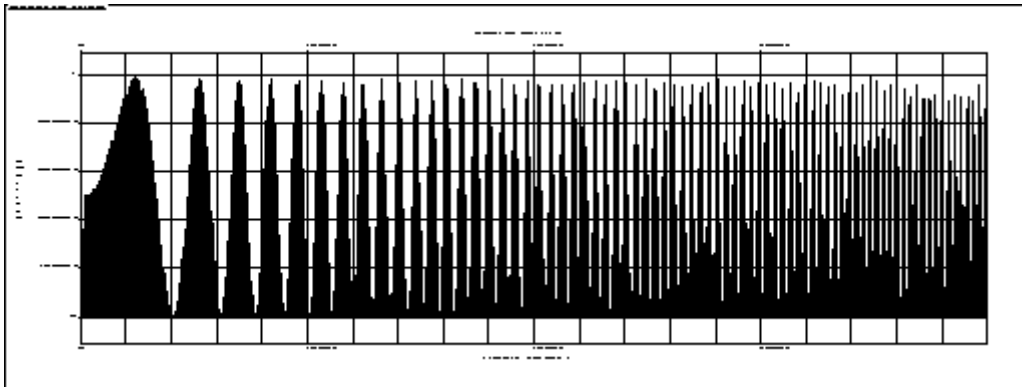
IF Output Time Domain



Envelope Detector

Sebuah amplop detektor hanyalah penyearah setengah gelombang diikuti oleh sebuah filter RC. Hal tersebut terintegrasi amplop, sehingga penggalian passband tanpa heterodyning. Ia juga dikenal sebagai detektor asynchronous.

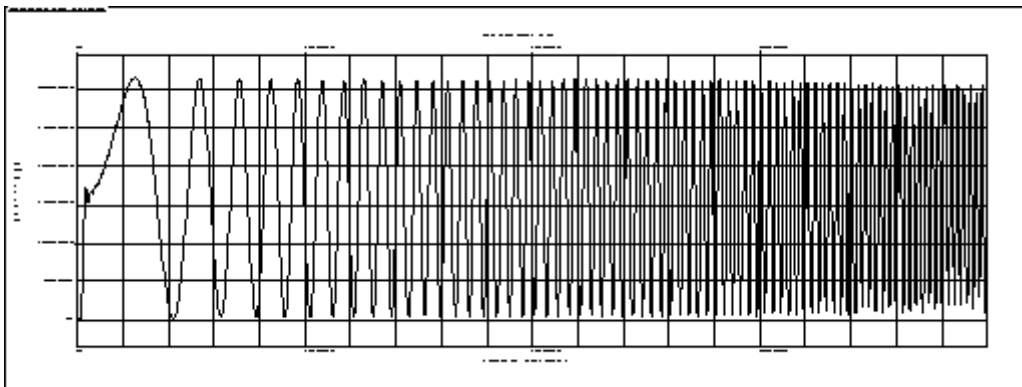
Envelope Detector Output



Baseband Filter

Sebuah amplop detektor menciptakan banyak komponen harmonik frekuensi tinggi. Namun, ini tidak dapat melewati penguat audio. Dalam model ini, 5 KHz Chebyshev 5 tiang IIR lowpass filter digunakan.

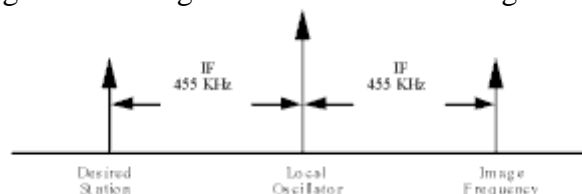
Audio Output



Output audio yang hampir identik dengan sinyal asli yang digunakan untuk memodulasi amplitudo pembawa transmisi. Setelah model telah dipahami dan diverifikasi, dapat runtuh dengan menggunakan Meta Token. Ini memfasilitasi penciptaan sistem yang lebih kompleks.

Image Frequency

Ada dua frekuensi, satu di atas dan satu di bawah osilator lokal, yang jika mereka memasuki bagian RF, akan heterodyne turun ke IF dan melewati detektor. Frekuensi yang tidak diinginkan dikenal sebagai frekuensi gambar dan harus dihilangkan sebelum mencapai mixer.

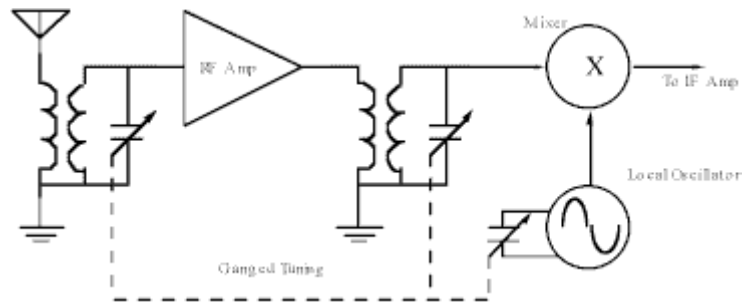


Dalam penerima AM standar, frekuensi gambar lebih tinggi dari osilator lokal.

$$f_{image} = f_s + 2f_{IF} \text{ if } f_o > f_s$$

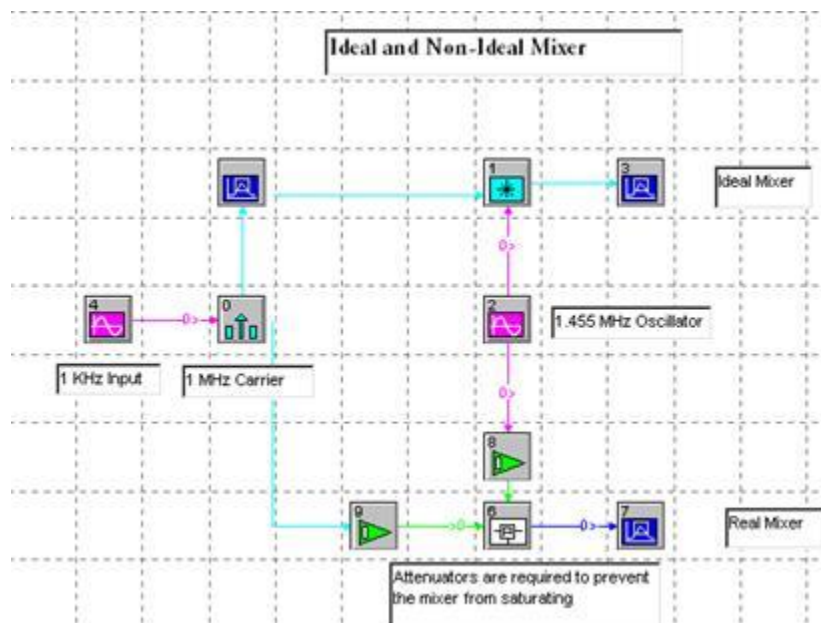
$$f_{image} = f_s - 2f_{IF} \text{ if } f_s > f_o$$

Frekuensi gambar bisa lebih tinggi atau lebih rendah dari stasiun yang menarik



Rangkaian merdu di antena dan mixer masukan dirancang untuk menghilangkan frekuensi gambar

Mixers



Mencampur hanya waktu perkalian domain. Ini memiliki khasiat untuk menciptakan penambahan dan pengurangan dalam domain frekuensi.

$$\sin \omega_1 t \sin \omega_2 t = \frac{1}{2} \cos(\omega_1 - \omega_2)t - \frac{1}{2} \cos(\omega_1 + \omega_2)t$$

Ini berarti bahwa dua frekuensi baru telah dihasilkan, satu digeser ke atas dan yang lain bergeser ke bawah dalam frekuensi. Sering kali filter digunakan untuk memilih salah satu dari dua.

AM Mixers (Modulators)

Sebuah persamaan dasar menggambarkan modulasi amplitudo adalah:

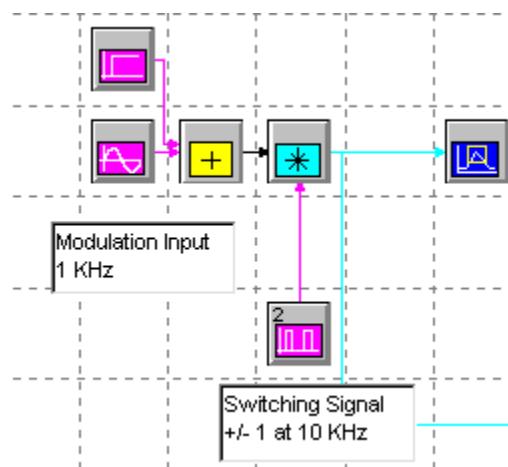
$$e_{am} = (1 + m \sin \omega_m t) \sin \omega_c t$$

Dari sini kita melihat bahwa AM melibatkan proses perkalian. Ada beberapa cara untuk melakukan fungsi ini secara elektronik. Metode paling sederhana menggunakan switch.

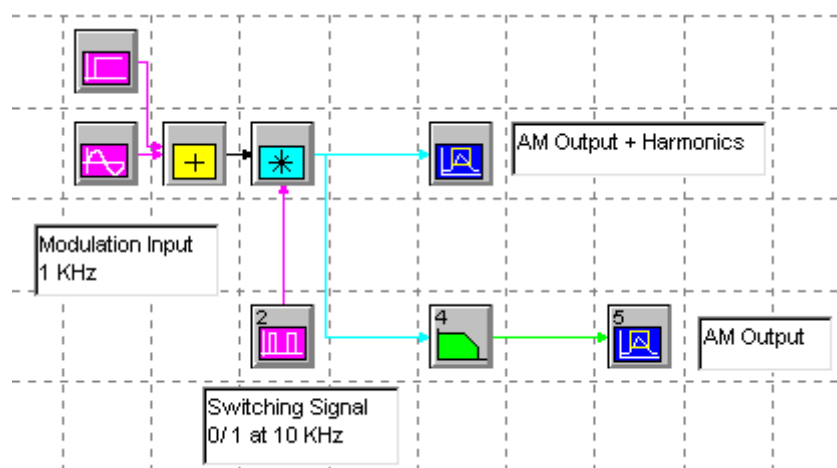
Switching Modulators

Switching modulator semua dapat ditempatkan ke dalam dua kategori: unipolar dan bipolar.

Bipolar Switching Modulator



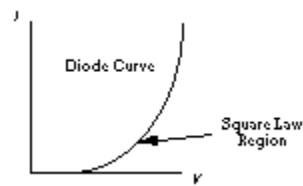
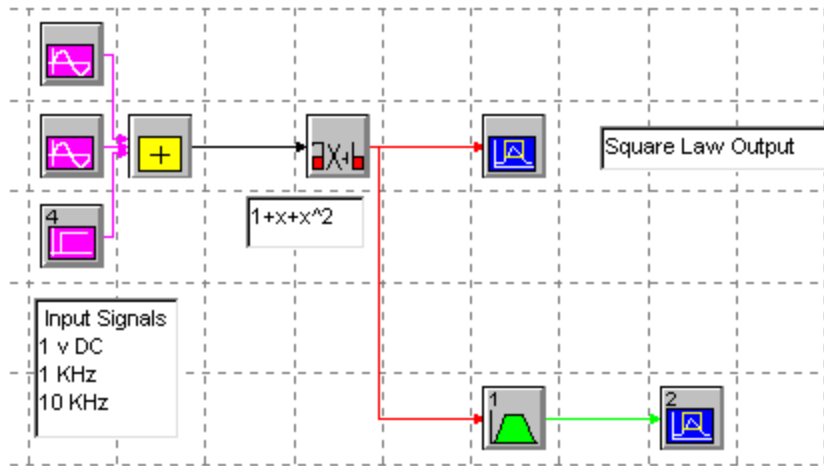
Unipolar Switching Modulator



Square Law Modulator

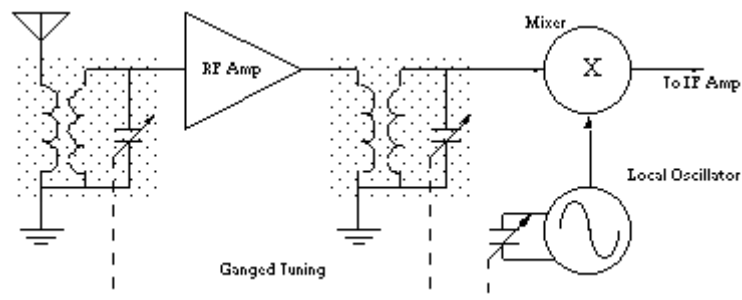
Hubungan tegangan-arus dari dioda tidak linier dekat lutut dan dalam bentuk:

$i(f) = av(f) + bv^2(f)$. Koefisien a dan b adalah konstanta yang terkait dengan dioda itu sendiri.

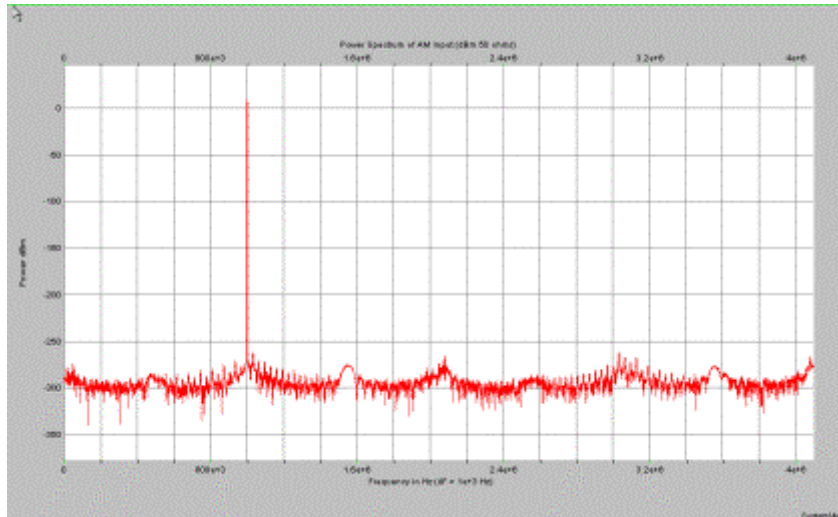


Mixer in Radio Receivers

Setiap Super heterodyne penerima radio memiliki mixer. Tujuan itu adalah untuk menggeser stasiun radio yang menarik ke frekuensi IF.



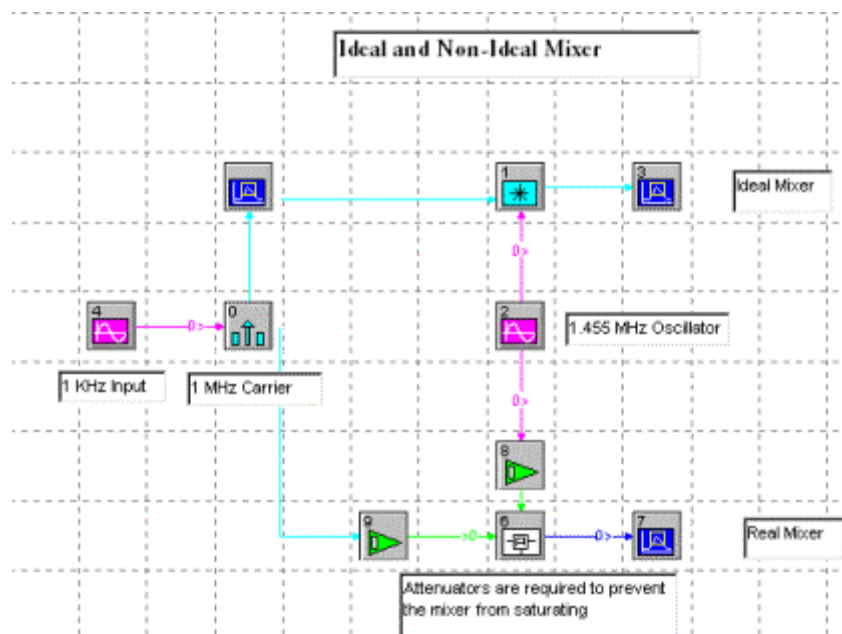
1 MHz AM pembawa ke dalam mixer



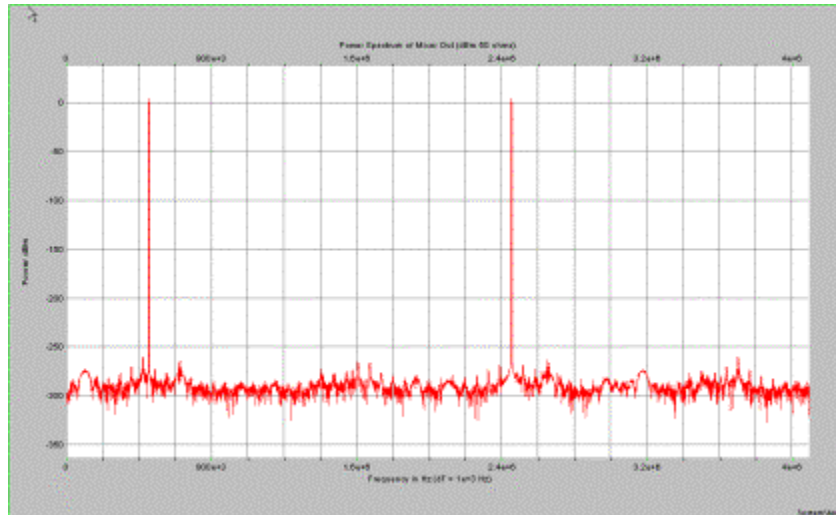
The mixer osilator input 455 KHz diatas frekuensi pembawa yang masuk.

Sebuah mixer yang ideal akan menggabungkan pembawa masuk dengan osilator lokal untuk menciptakan jumlah dan perbedaan frekuensi.

SystemVue Mixer Models



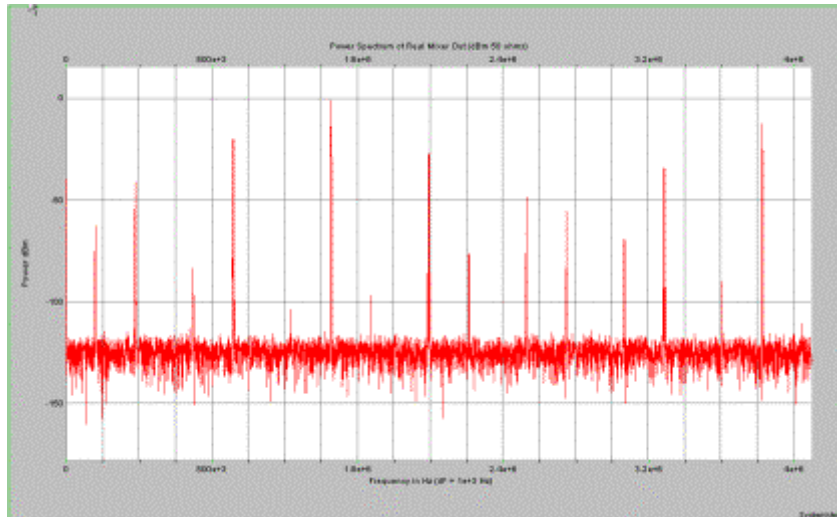
Ideal Mixer Output



Sebuah mixer nyata menggabungkan dua sinyal dan menciptakan sejumlah frekuensi baru:

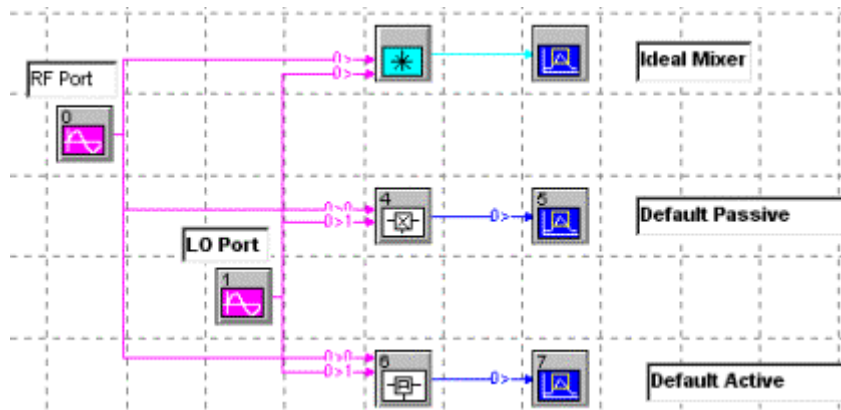
- Tingkat DC
- Dua frekuensi asli
- Jumlah dan perbedaan dari dua frekuensi masukan
- Harmonisa dari dua frekuensi masukan
- Jumlah dan perbedaan dari semua harmonik

Non-Ideal Mixer Out

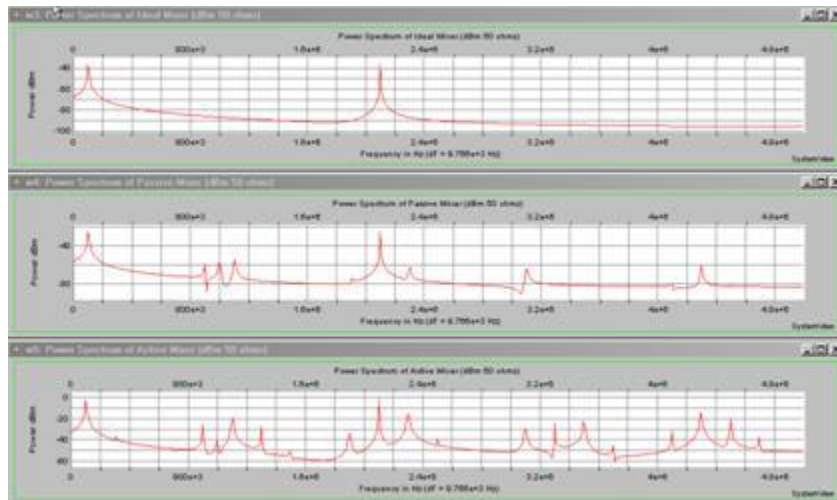


Prinsip mixer output sinyal yang menarik adalah jumlah dan perbedaan frekuensi, baik yang dapat digunakan sebagai IF. Namun, JIKA umumnya dipilih lebih rendah dari frekuensi terendah yang diterima. Akibatnya, IF di radio AM telah standar untuk 455 KHz.

Mixer Comparison



Mixer Outputs



Detectors

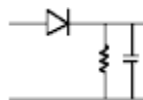
Ada dua tipe dasar detektor AM:

- Koheren (mengkuadratkan, sinkron)
- Non-koheren (envelope)

Detektor koheren

Deteksi koheren bergantung pada regenerasi pembawa dan mencampurnya dengan sinyal AM. Hal ini menciptakan jumlah dan perbedaan frekuensi. Perbedaan frekuensi sesuai dengan modulasi sinyal asli.

Non-Coherent Detectors



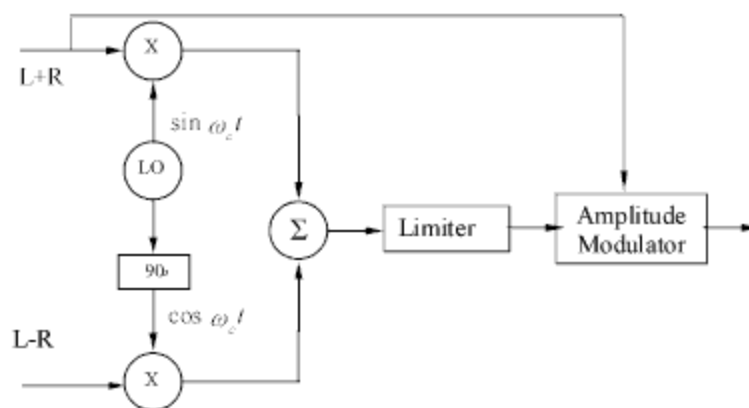
Deteksi non-koheren tidak bergantung pada regenerasi sinyal pembawa. Detektor amplop yang adalah yang paling umum, dan terdiri dari penyearah dioda sederhana dan detektor puncak. Sebuah amplop detektor hanyalah penyearah setengah gelombang diikuti oleh low pass filter.

Meskipun sinyal radio heterodyned ke 455 KHz frekuensi amplop tidak berubah. Dalam penerima AM biasa tingkat amplop maksimum adalah 5 KHz.

Ada tiga jenis prinsip AM detektor:

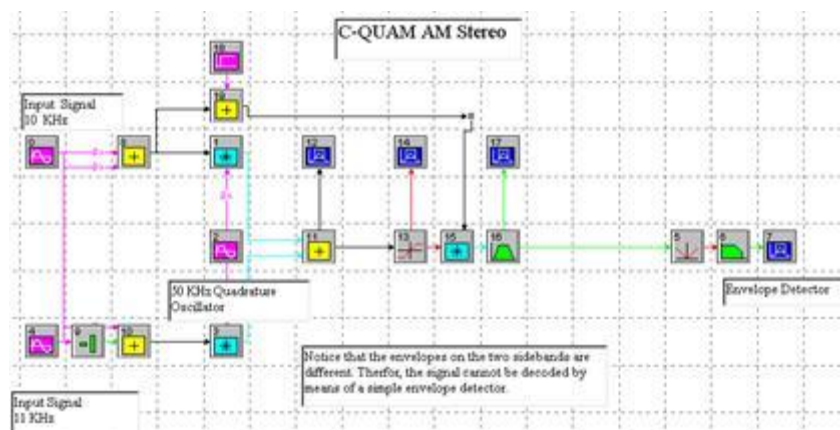
- Envelope (amplop)
- Squaring (Mengkuadratkan)
- Sinkronis

CQUAM



Ide dasar dibalik C-Quam modulator sebenarnya cukup sederhana. Tahap output adalah AM modulator biasa namun, sinyal pembawa telah digantikan oleh terbatas modulator amplitudo vektor. Oleh karena itu, output limiter benar-benar sinyal fase-termodulasi.

Sebuah AM receiver standar akan mendeteksi variasi amplitudo sebagai L + R. Sebuah penerima stereo juga akan mendeteksi variasi fasa dan untuk mengekstrak LR. Ini kemudian akan memproses sinyal-sinyal ini untuk memisahkan saluran kiri dan kanan. Untuk mengaktifkan decoder stereo, 25 Hz nada pilot ditambahkan ke saluran LR.



SSB (Single Side Band)

Tunggal sideband adalah bentuk AM dengan carrier dan satu sideband dihapus. Dalam siaran AM normal, pemancar berperingkat dalam hal daya pembawa.

SSB pemancar mencoba untuk menghilangkan pembawa dan salah satu sidebands. Oleh karena itu, pemancar dinilai dalam PEP [daya selubung puncak].

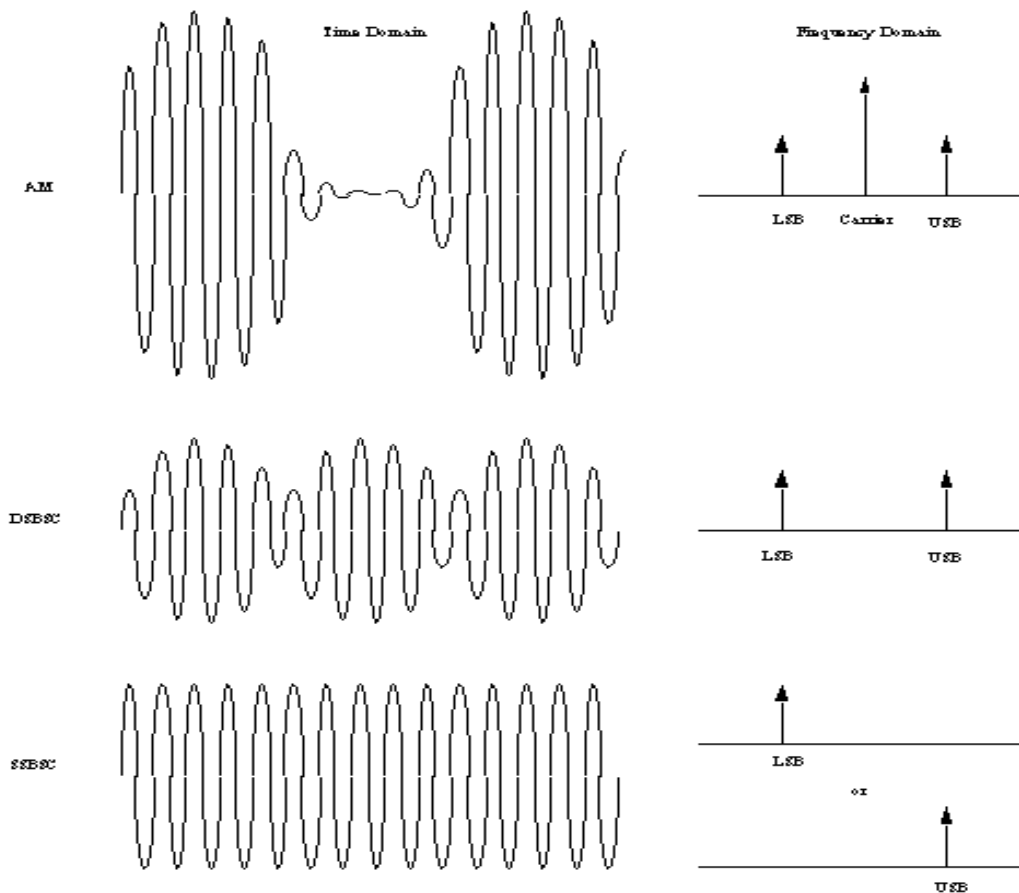
$$PEP = \frac{(\text{peak envelope voltage})^2}{2R_L}$$

Dengan sinyal suara normal, pemancar SSB output 1/4 sampai 1/3 PEP.

Ada beberapa keuntungan menggunakan SSB:

- Pemanfaatan spektrum yang lebih efisien
- Kurang tunduk pada selective fading
- Lebih banyak kekuatan dapat ditempatkan dalam sinyal intelijen
- 10 sampai 12 dB pengurangan kebisingan karena bandwidth membatasi

AM Modulation Waveforms



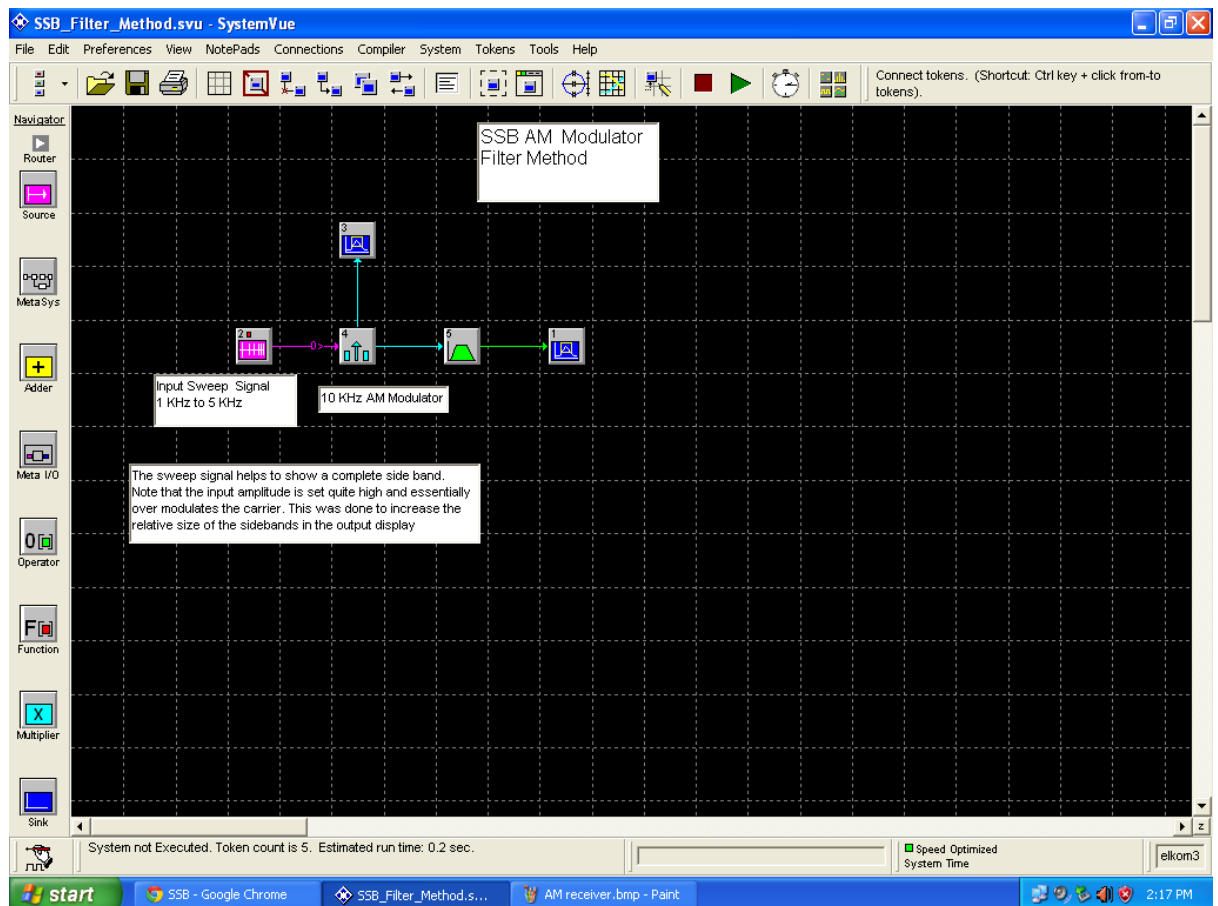
SSB Receivers

Receiver ini memerlukan osilator sangat stabil, baik yang berdekatan selektivitas saluran, dan biasanya menggunakan teknik konversi ganda. Detektor Amplop tidak dapat digunakan karena amplop bervariasi pada dua kali frekuensi amplop AM.

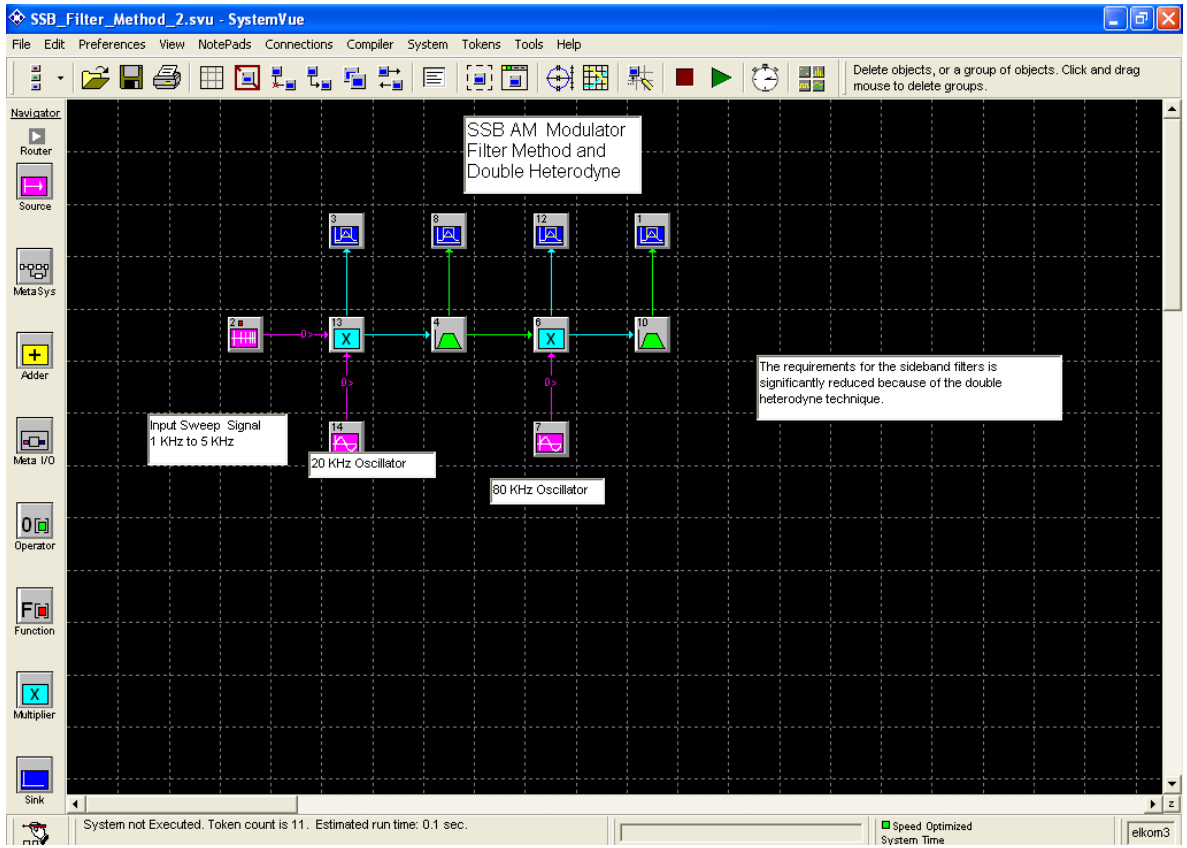
Osilator yang stabil diperlukan karena sinyal yang terdeteksi adalah sebanding dengan perbedaan antara pembawa untransmitted dan band sisi seketika. Pergeseran kecil 50 Hz membuat sinyal yang diterima tidak dapat digunakan.

Penerima SSB biasanya menggunakan tala frekuensi tetap daripada tuning terus menerus seperti yang ditemukan pada kebanyakan radio. Penerima menggunakan osilator kristal untuk memilih saluran frekuensi tetap.

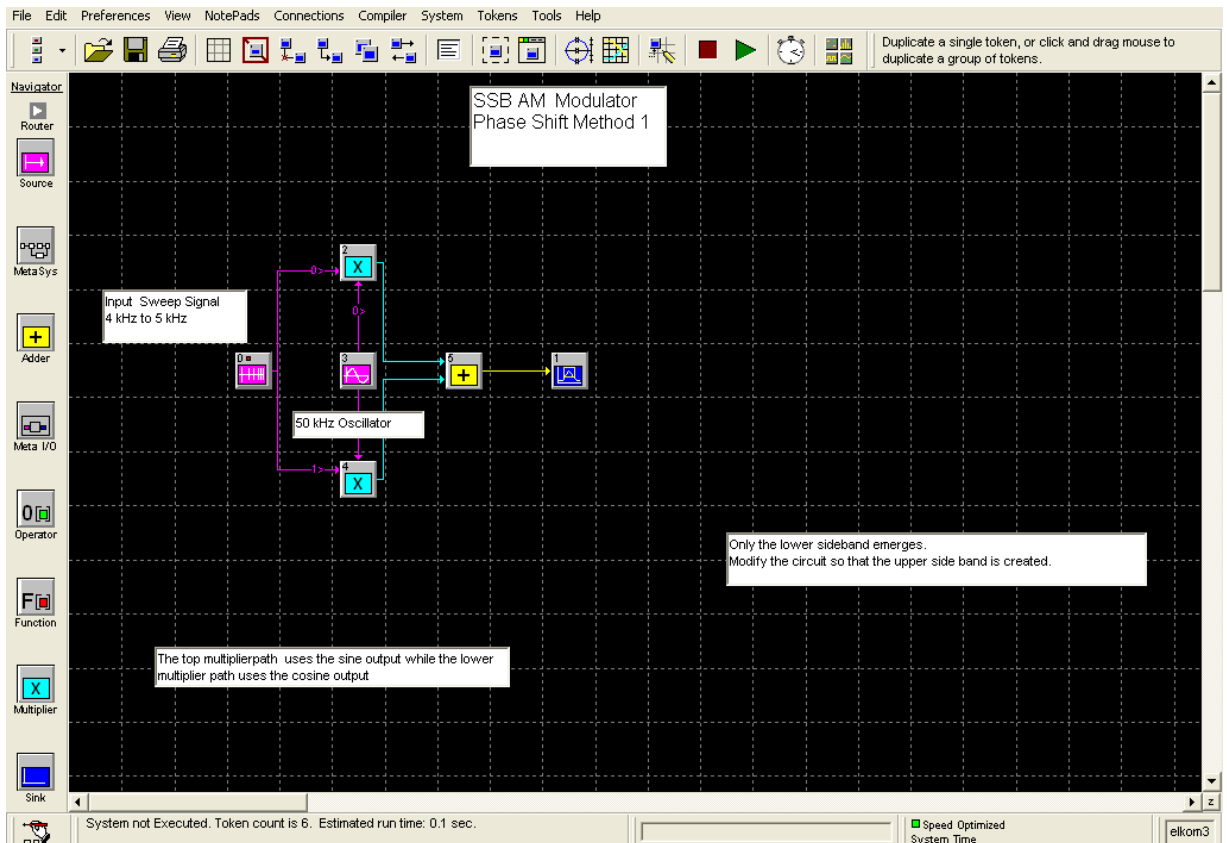
- SSB – Single Sideband - radio amatir
- SSSC – Single Sideband Suppresses Carrier - pembawa percontohan kecil ditransmisikan.
- ISB - Independent Sideband - Dua sidebands terpisah dengan pembawa ditekan. Digunakan dalam telepon radio
- VSB - Vestigial Sideband - Sebuah parsial kedua sideband. Digunakan siaran TV
- ACSSB - Amplitudo Companded SSB
- SSB Filter Method



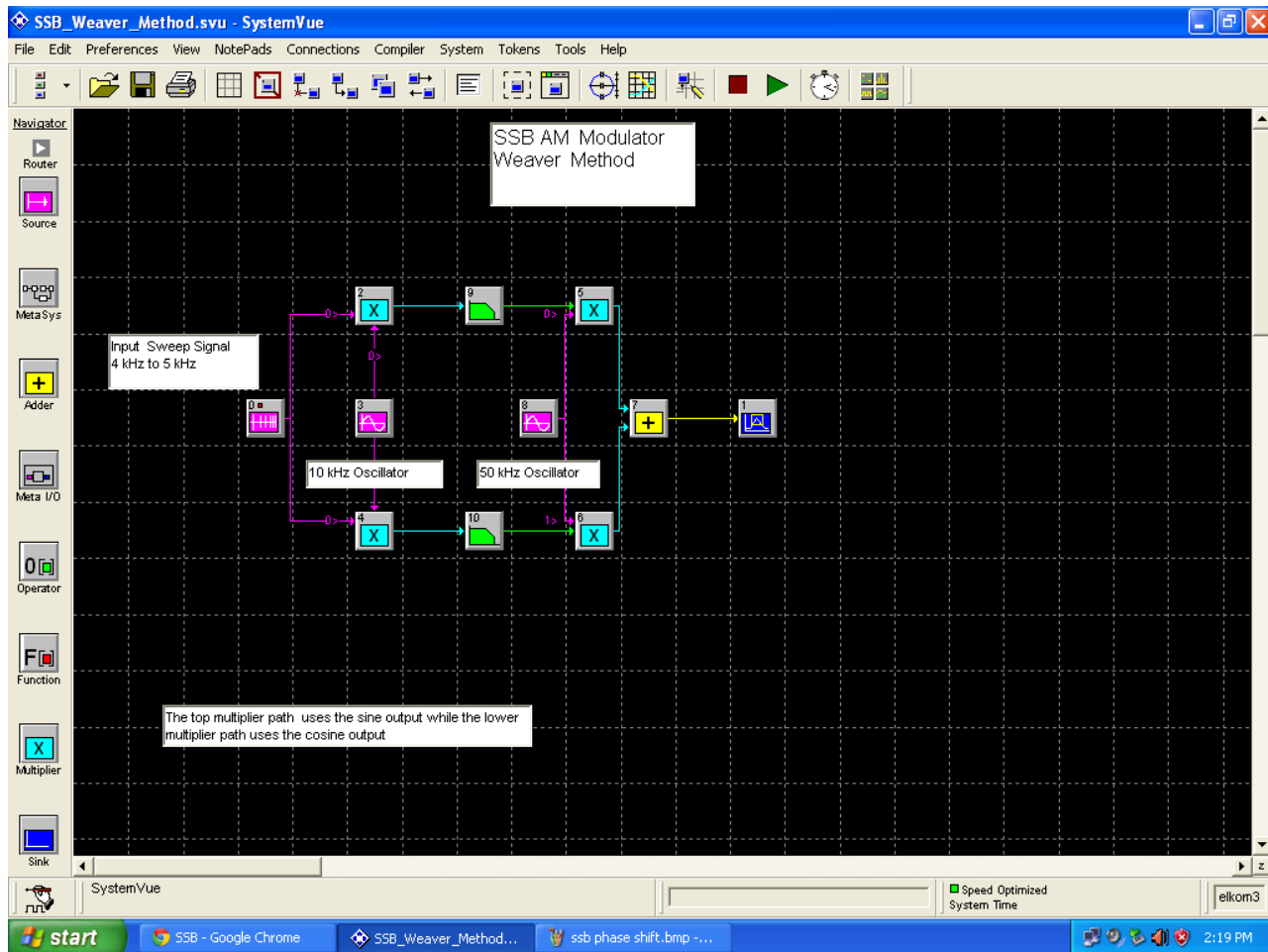
- SSB Double Heterodyne Filter Method



- SSB Phase Shift Method



- SSB Weaver Method



Filter Method

Cara termudah untuk membuat SSB adalah untuk menghasilkan DSBSC dan kemudian menggunakan bandpass filter untuk mengekstrak salah satu sidebands.

Teknik ini dapat digunakan pada frekuensi carrier yang relatif rendah. Pada frekuensi tinggi, Q dari filter menjadi sangat tinggi. Yang diperlukan Q yang diperlukan untuk menyaring dari salah satu sidebands dapat didekati dengan:

$$Q \approx \frac{f_c \sqrt{S}}{4\Delta f}$$

where f_c = carrier frequency

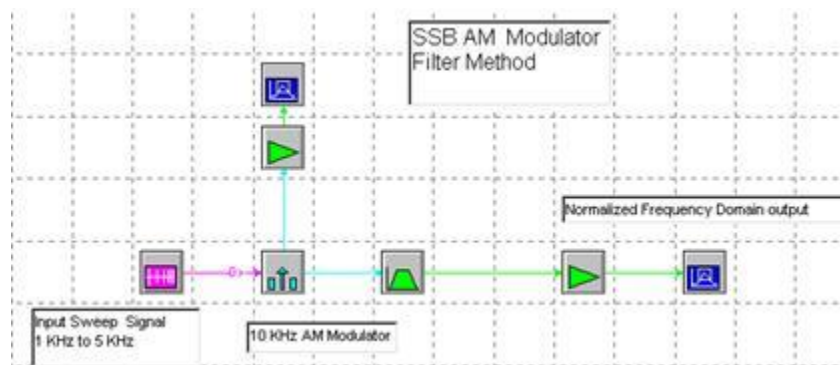
Δf = sideband separation

S = sideband suppression [not in dB]

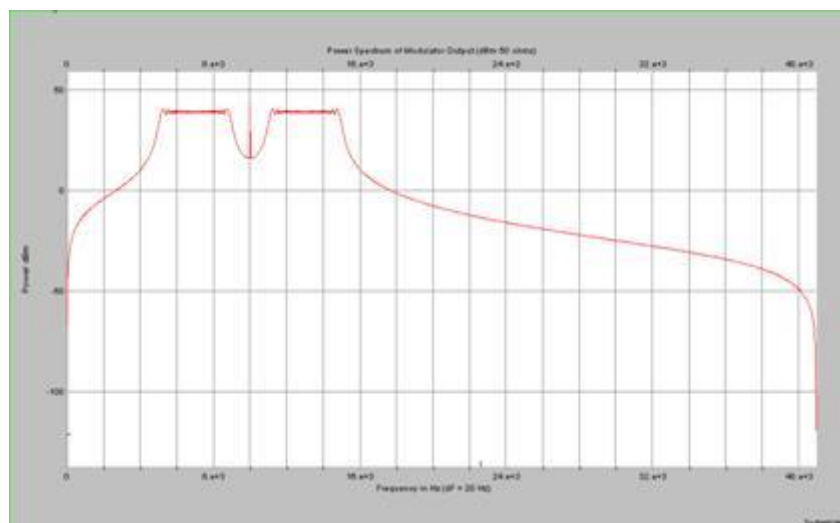
Beberapa jenis filter yang digunakan untuk menekan sidebands yang tidak diinginkan:

| Filter Type | Maximum Q |
|-------------|-----------|
| LC | 200 |
| Ceramic | 2,000 |
| Mechanical | 10,000 |
| Crystal | 50,000 |

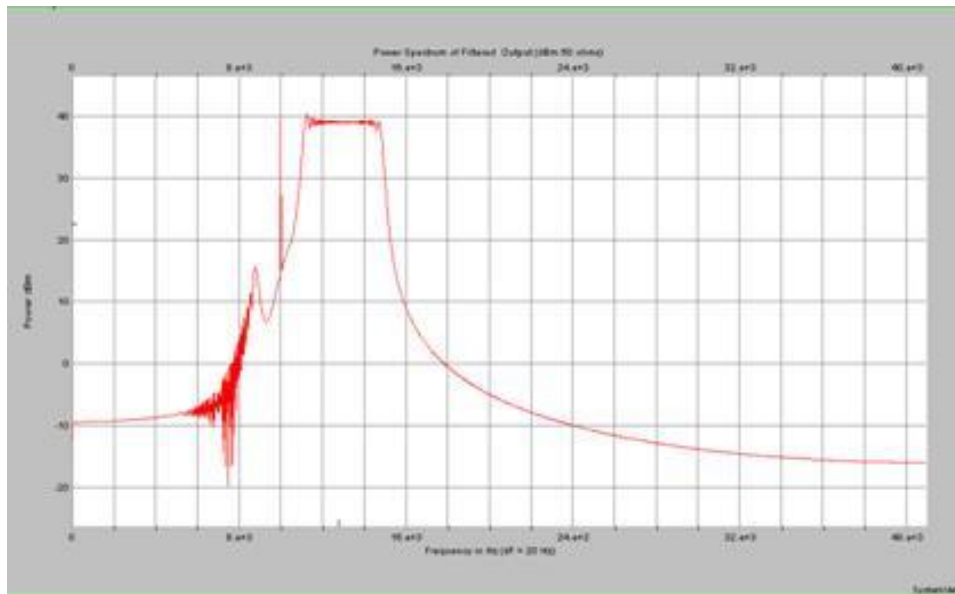
Single Heterodyne SSB Modulator



Mixer Output

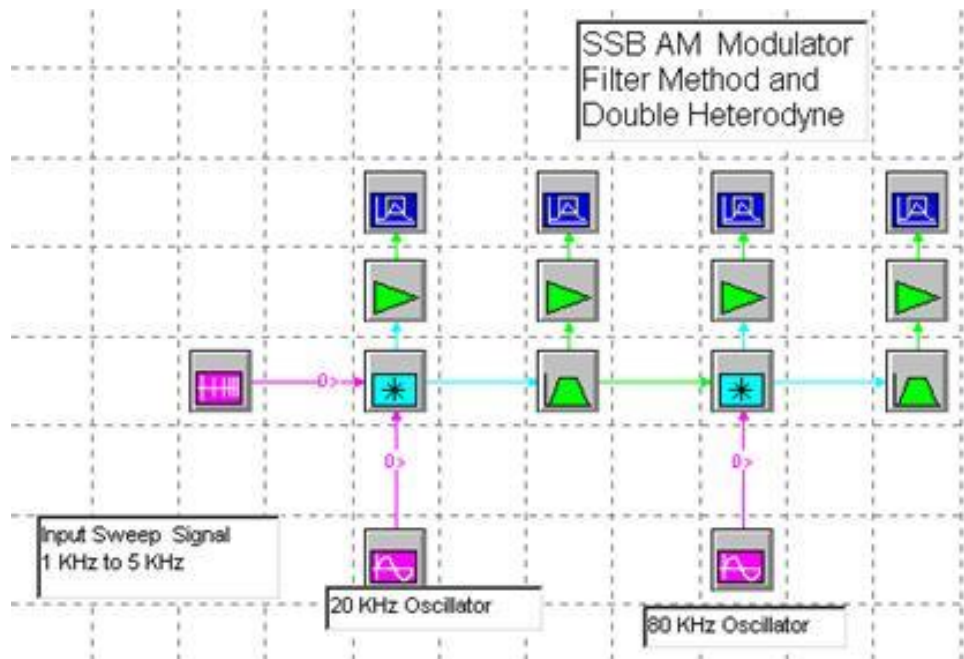


SSB Output

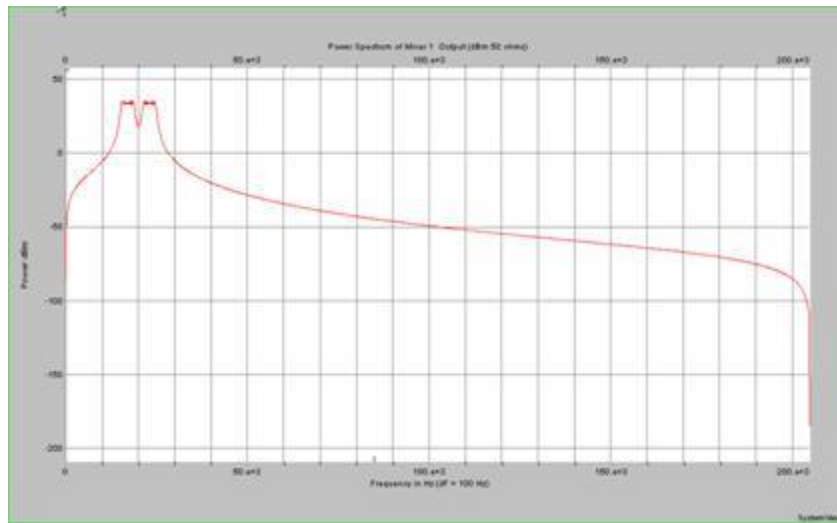


Dalam rangka untuk mengurangi tuntutan ditempatkan pada filter, teknik heterodyne ganda dapat digunakan.

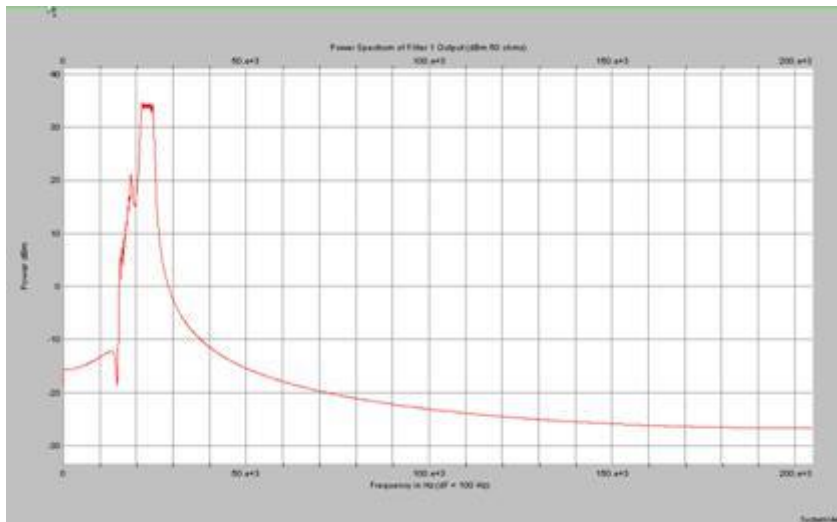
Double Heterodyne SSB Modulator



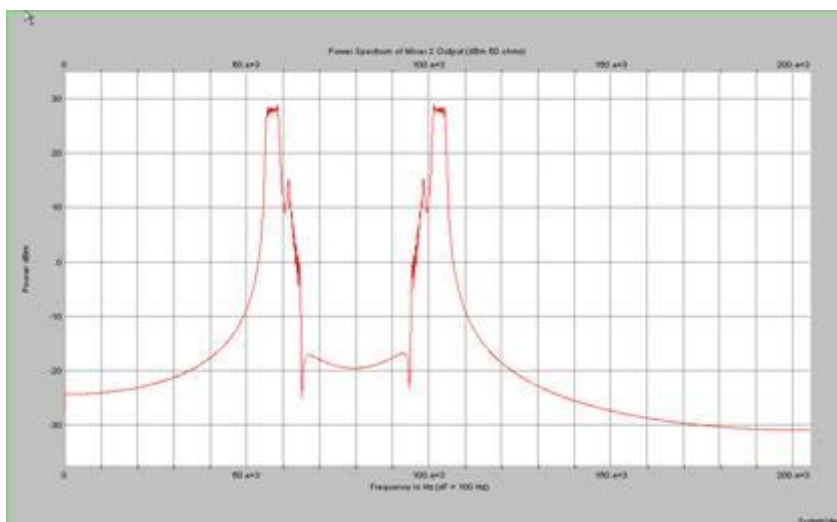
First Mixer Output



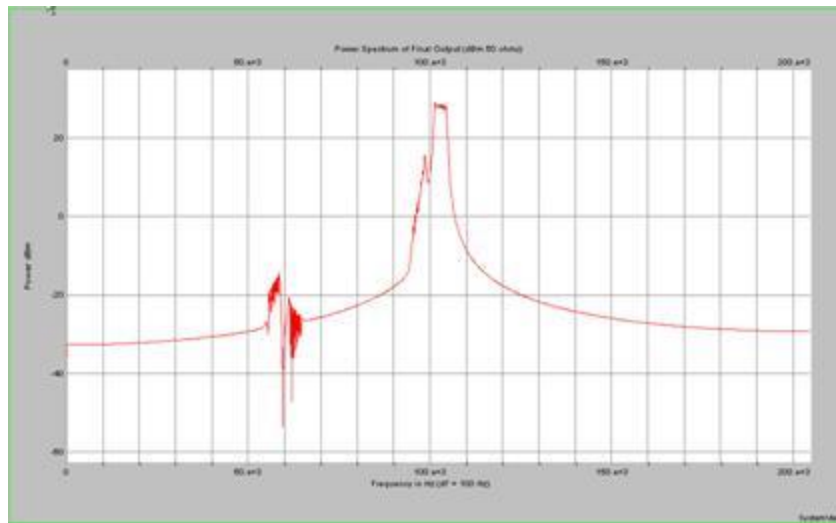
First Filter Output



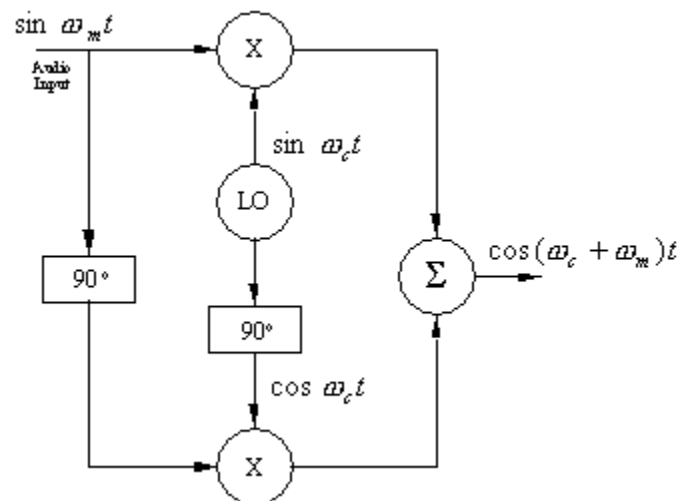
Second Mixer Output



Second Filter Output



Phase Shift Method



Output dari mixer atas diberikan oleh:

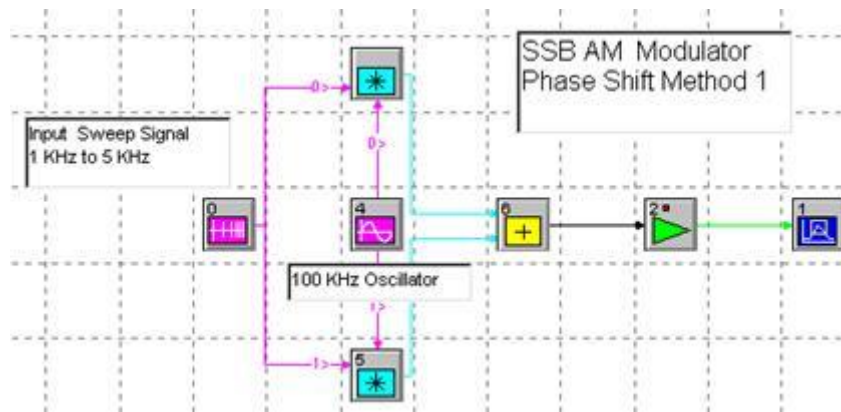
$$\sin \omega_m t \sin \omega_c t = \frac{1}{2} \cos(\omega_c + \omega_m)t - \frac{1}{2} \cos(\omega_c - \omega_m)t$$

Output dari mixer bawah diberikan oleh:

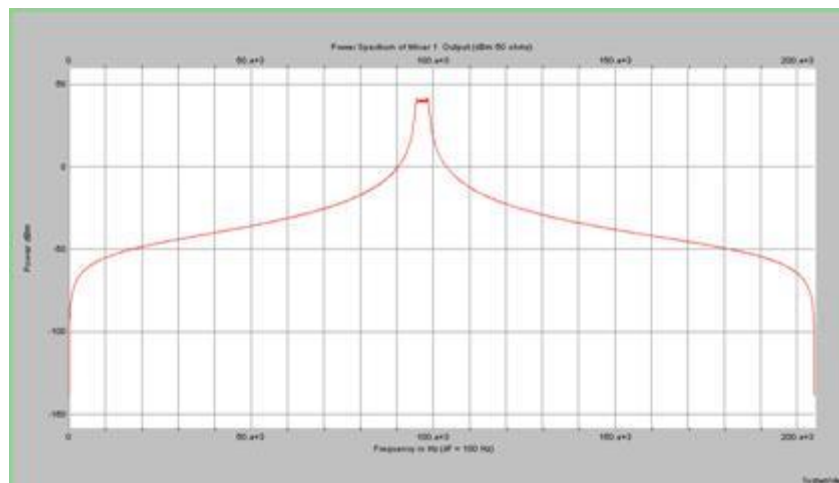
$$\cos \omega_m t \cos \omega_c t = \frac{1}{2} \cos(\omega_c + \omega_m)t + \frac{1}{2} \cos(\omega_c - \omega_m)t$$

Output musim panas: $\cos(\omega_c + \omega_m)t$ Ini sesuai dengan sideband atas saja.

Ini sesuai dengan sideband atas saja.

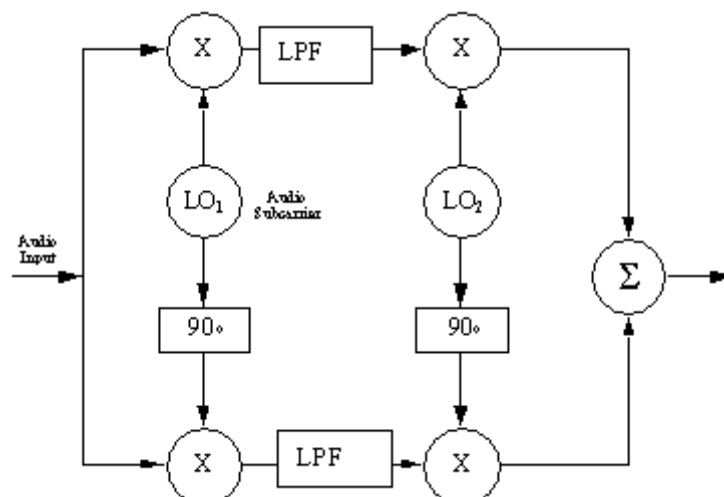


Final Output

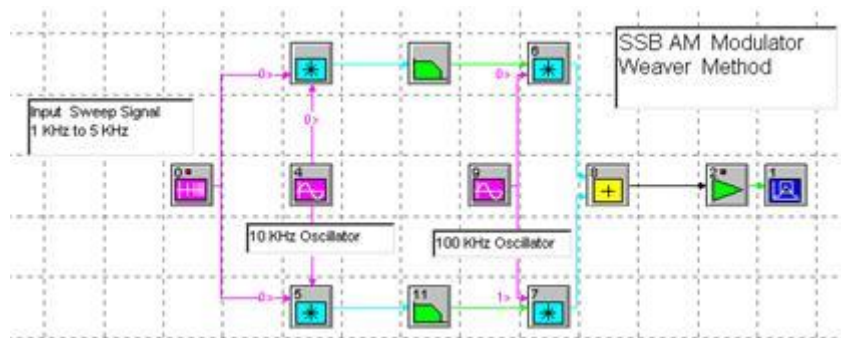


Kesulitan utama dengan teknik ini adalah kebutuhan untuk memberikan pergeseran fasa 90o konstan selama seluruh band input audio. Untuk mengatasi kendala ini, metode Weaver atau ketiga menggunakan sub pembawa audio, yang merupakan fase bergeser.

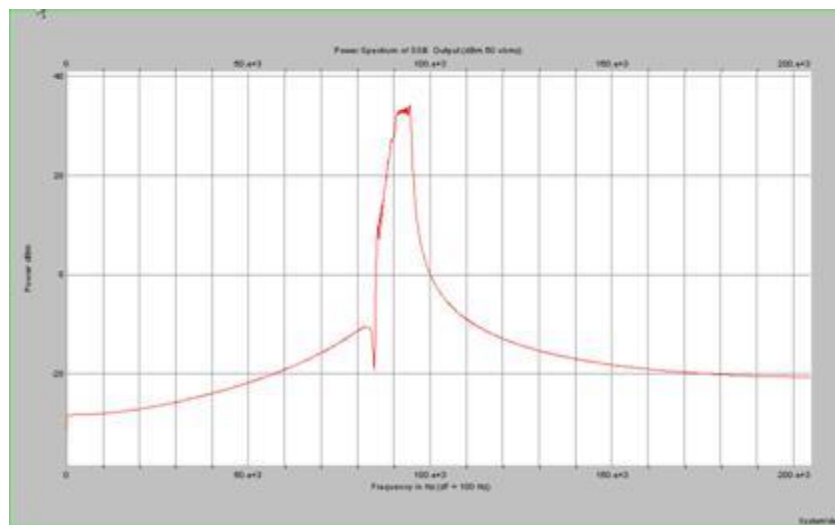
Weaver method



Ini memiliki keuntungan tidak membutuhkan fase shifter broadband Namun, penggunaan empat mixer membuatnya canggung dan jarang digunakan.



Final Output



JOBSHEET 5

FREQUENCY MODULATION

Pengertian FM

Modulasi frekuensi didefinisikan sebagai deviasi frekuensi sesaat sinyal pembawa (dari frekuensi tak termodulasinya) sesuai dengan amplitudo sesaat sinyal pemodulasi. Sinyal pembawa dapat berupa gelombang sinus, sedangkan sinyal pemodulasi (informasi) dapat berupa gelombang apa saja (sinusoidal, kotak, segitiga, atau sinyal lain misalnya sinyal audio). Gambar 1 mengilustrasikan modulasi frekuensi sinyal pembawa sinusoidal dengan menggunakan sinyal pemodulasi yang juga berbentuk sinyal sinusoidal. Secara matematis, sinyal termodulasi FM dapat dinyatakan dengan :

$$e_{FM} = V_c \sin (\omega_c t + m_f \sin \omega_m t)$$

dengan:

e_{FM} : sinyal termodulasi FM

e_m : sinyal pemodulasi

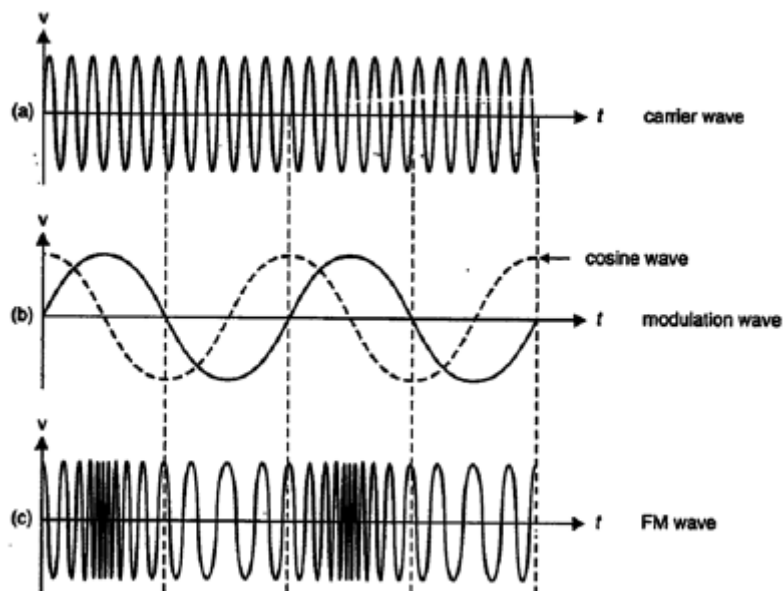
e_c : sinyal pembawa

V_c : amplitudo maksimum sinyal pembawa

m_f : indeks modulasi FM

ω_c : frekuensi sudut sinyal pembawa (radian/detik)

ω_m : frekuensi sudut sinyal pemodulasi (radian/detik)



Gambar 1. (a) Sinyal pembawa (b) Sinyal pemodulasi
(c) Sinyal termodulasi FM

Indeks Modulasi FM

Seperti telah dibahas, pada modulasi frekuensi maka frekuensi sinyal pembawa diubah-ubah sehingga besarnya sebanding dengan dengan besarnya amplitudo sinyal pemodulasi. Semakin besar amplitudo sinyal pemodulasi, maka semakin besar pula frekuensi sinyal termodulasi FM. Besar selisih antara frekuensi sinyal termodulasi FM pada suatu saat dengan frekuensi sinyal pembawa disebut deviasi frekuensi. Deviasi frekuensi maksimum didefinisikan sebagai selisih antara frekuensi sinyal termodulasi tertinggi dengan terendahnya.

Indeks modulasi FM (m_f) merupakan perbandingan antara deviasi frekuensi maksimum dengan frekuensi sinyal pemodulasi:

$$m_f = \delta / f_m$$

dengan:

δ : deviasi frekuensi maksimum

f_m : frekuensi maksimum sinyal pemodulasi

m_f : indeks modulasi FM

Besarnya indeks modulasi FM dapat dipilih sebesar mungkin sejauh tersedia *bandwidth* (lebar bidang) untuk keperluan transmisinya. Biasanya besarnya indeks modulasi ini akan dimaksimalkan dengan cara mengatur besarnya deviasi frekuensi maksimal yang diijinkan.

Sinyal sinusoidal umum termodulasi FM didefinisikan dengan:

$$e_{fm} = \sin \left(\omega_c t - \frac{\Delta f}{f_m} \cos \omega_m t \right)$$

Indeks modulasi FM didefinisikan sebagai rasio deviasi carrier untuk modulasi frekuensi:

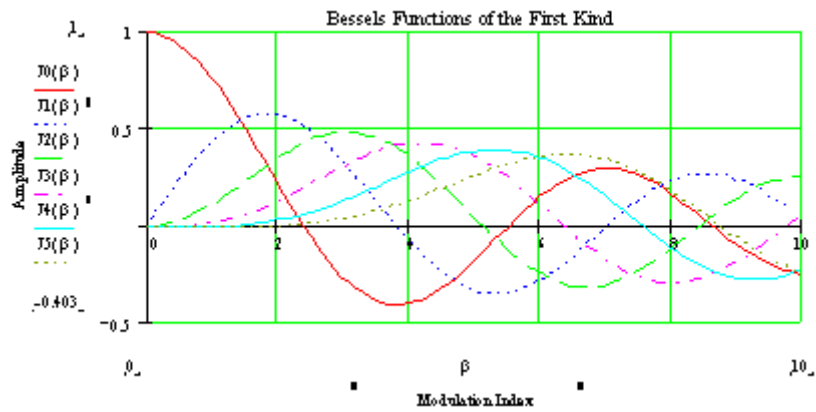
$$m_{fm} = \frac{\Delta f}{f_m}$$

Hasilnya, persamaan FM umumnya ditulis sebagai:

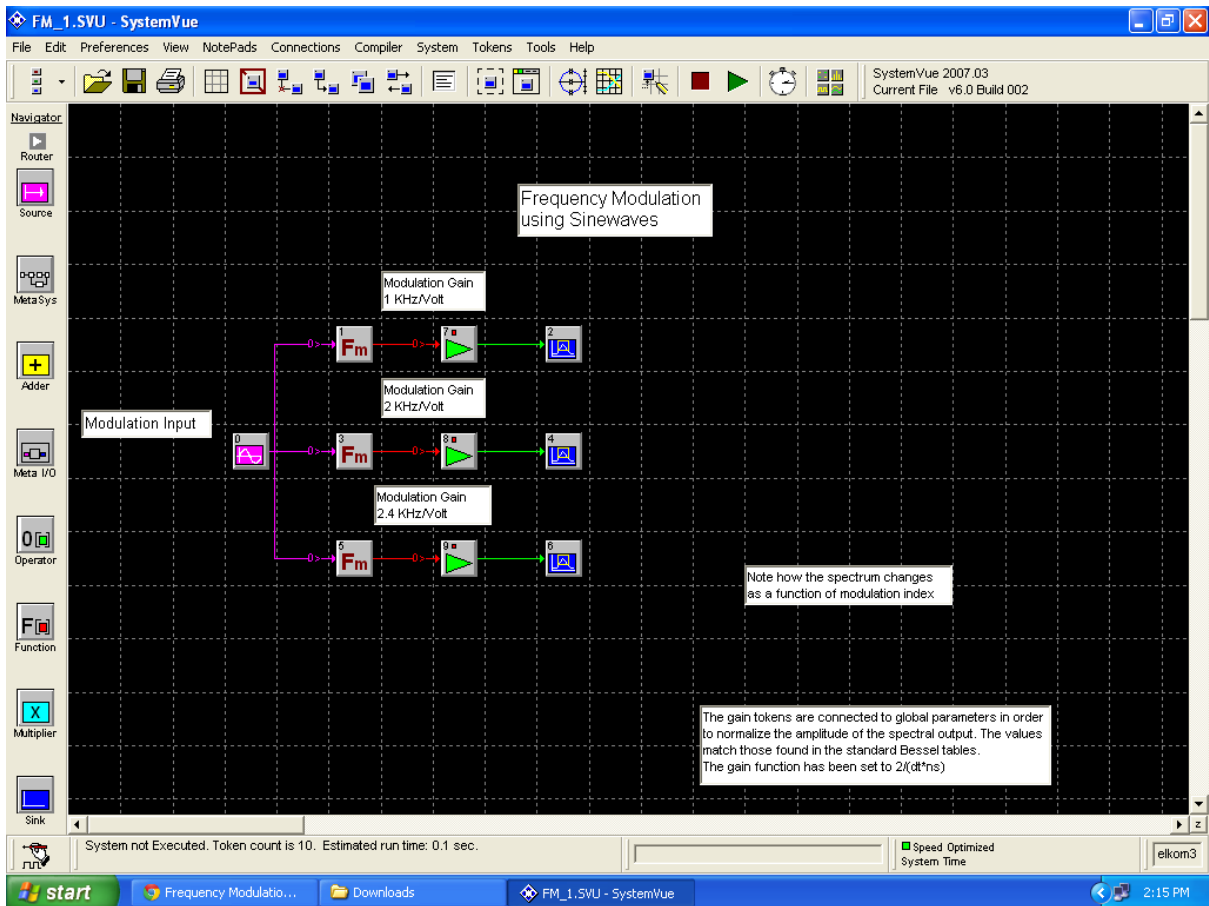
$$e_{fm} = \sin \left(\omega_c t - m_{fm} \cos \omega_m t \right)$$

FM menghasilkan jumlah frekuensi sisi tak terbatas yang masing-masing merupakan kelipatan bilangan bulat dari frekuensi modulasi sinyal. Fungsi Bessel digunakan untuk menghitung amplitudo mereka.

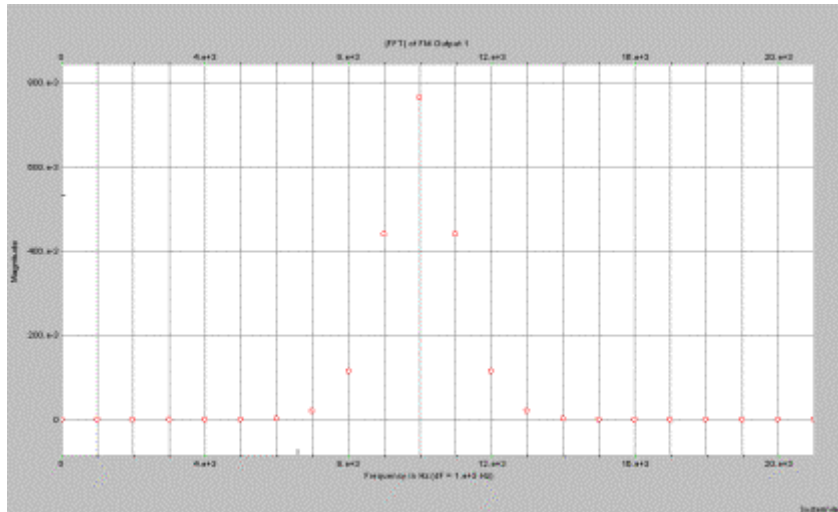
Sebuah plot amplitudo dari carrier dan lima pertama frekuensi sisi sebagai fungsi dari indeks modulasi menyerupai:



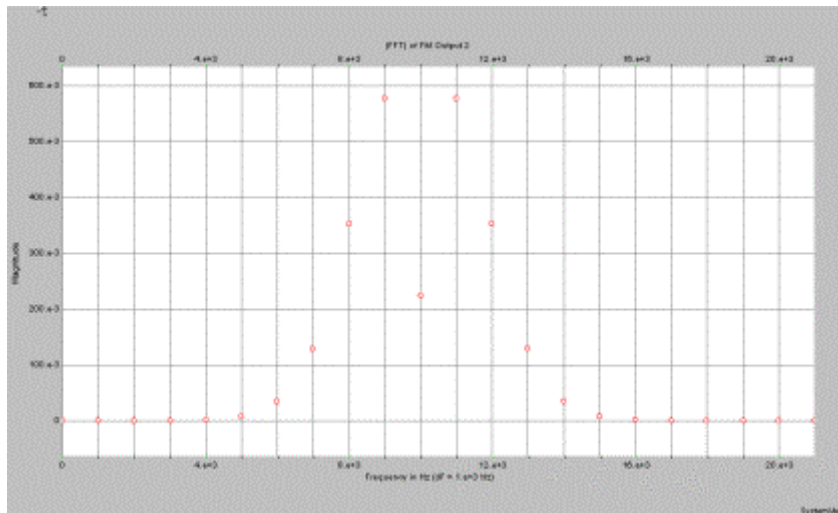
Gambar 2. Indeks Modulasi



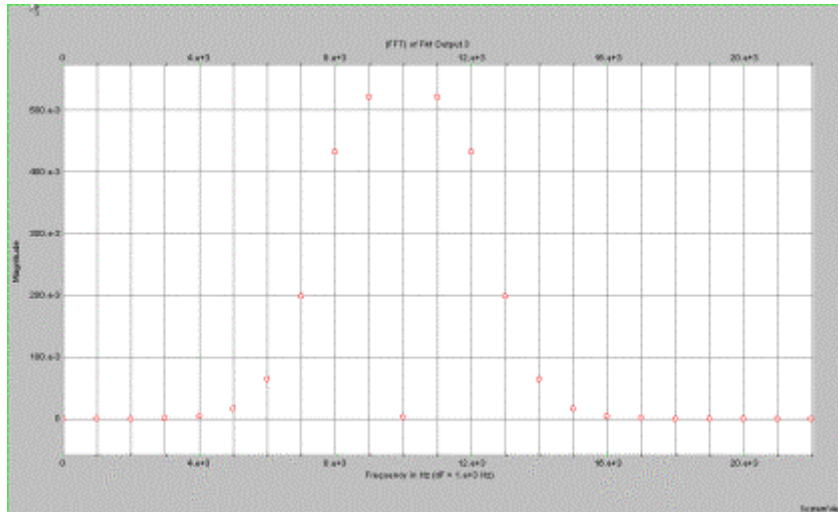
Gambar 3. Rangkaian indeks modulasi



Gambar 4. Tampilan pada spektrum untuk $M_{fm}=1$

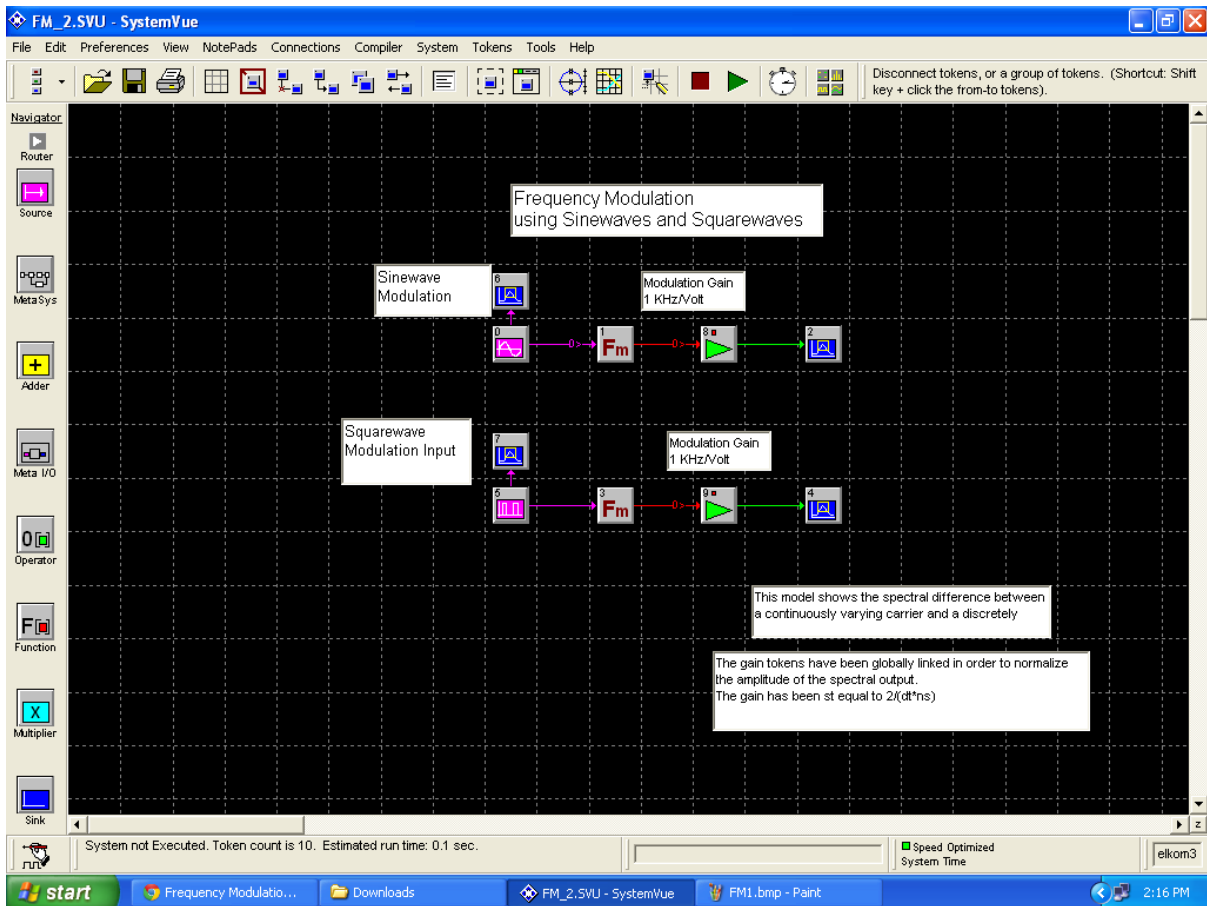


Gambar 5. Tampilan pada spektrum untuk $M_{fm}=2.0$

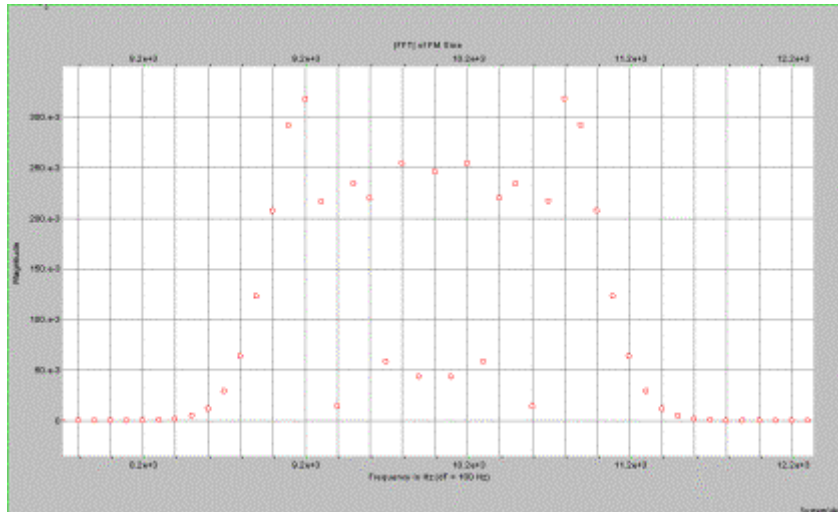


Gambar 6. Tampilan pada spektrum untuk $M_{fm}=2.4$

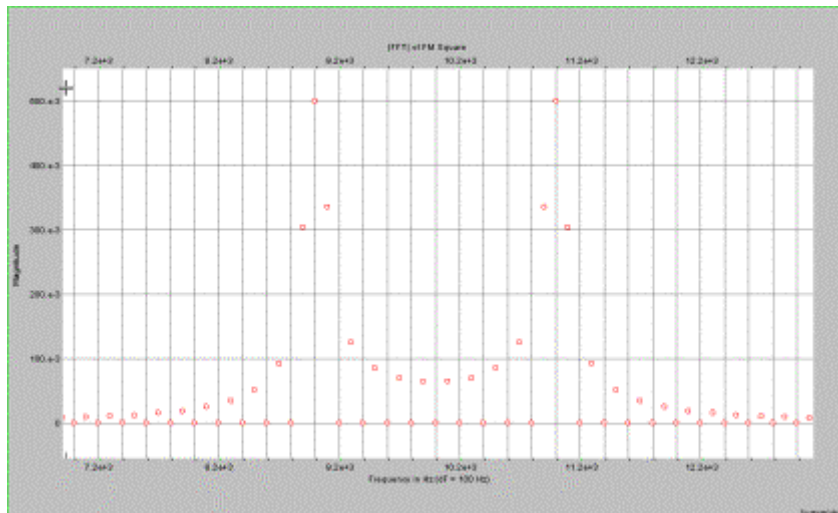
Efek Sinyal Modulasi



Gambar 7. Rangkaian efek sinyal modulasi



Gambar 8. Tampilan pada sinewave spectrum



Gambar 9. Tampilan pada squarewave spectrum

Analisis Frekuensi Gelombang Termodulasi FM

Persamaan gelombang FM dinyatakan sbb:

$$\begin{aligned}
 e_{FM} = & V_c J_0(m_f) \sin \omega_c t \\
 & + V_c \{J_1(m_f) [\sin(\omega_c + \omega_m)t - \sin(\omega_c - \omega_m)t]\} \\
 & + V_c \{J_2(m_f) [\sin(\omega_c + 2\omega_m)t - \sin(\omega_c - 2\omega_m)t]\} \\
 & + V_c \{J_3(m_f) [\sin(\omega_c + 3\omega_m)t - \sin(\omega_c - 3\omega_m)t]\} \\
 & + V_c \{J_4(m_f) [\sin(\omega_c + 4\omega_m)t - \sin(\omega_c - 4\omega_m)t]\} \\
 & + \dots
 \end{aligned}$$

Dengan:

e_{FM} : amplitudo sesaat gelombang termodulasi FM

V_c : amplitudo puncak pembawa

J_n : penyelesaian fungsi Bessel orde ke-n untuk indeks modulasi

m_f : indeks modulasi FM

dan

$V_c J_0(m_f) \sin \omega_c t$ = komponen frekuensi pembawa

$V_c \{J_1(m_f) [\sin(\omega_c + \omega_m)t - \sin(\omega_c - \omega_m)t]\}$ = komp. bid. sisi pertama

$V_c \{J_2(m_f) [\sin(\omega_c + 2\omega_m)t - \sin(\omega_c - 2\omega_m)t]\}$ = komp. bid. sisi ke-dua

$V_c \{J_3(m_f) [\sin(\omega_c + 3\omega_m)t - \sin(\omega_c - 3\omega_m)t]\}$ = komp. bid. sisi ke-tiga

$V_c \{J_4(m_f) [\sin(\omega_c + 4\omega_m)t - \sin(\omega_c - 4\omega_m)t]\}$ = komp. bid. sisi ke-empat

$V_c \{J_4(m_f) [\sin(\omega_c + 5\omega_m)t - \sin(\omega_c - 5\omega_m)t]\}$ = komp. bid. sisi ke-lima dst

Penyelesaian fungsi Bessel orde ke-n untuk berbagai indeks modulasi dapat dilihat pada gambar 11 dan tabel fungsi Bessel.

Bessel functions of the first kind

| Modulation Index (m_f) | n or order of sidebands | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------|-------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|---|
| | Carrier Frequency J_0 | J_1 | J_2 | J_3 | J_4 | J_5 | J_6 | J_7 | J_8 | J_9 | J_{10} | J_{11} | J_{12} | J_{13} | J_{14} | J_{15} | J_{16} | |
| 0.00 | 1.00 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 0.25 | 0.98 | 0.12 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 0.5 | 0.94 | 0.24 | 0.03 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 1.0 | 0.77 | 0.44 | 0.11 | 0.02 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 1.5 | 0.51 | 0.56 | 0.23 | 0.06 | 0.01 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 2.0 | 0.22 | 0.58 | 0.35 | 0.13 | 0.03 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 2.5 | -0.05 | 0.50 | 0.45 | 0.22 | 0.07 | 0.02 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 3.0 | -0.26 | 0.34 | 0.49 | 0.31 | 0.13 | 0.04 | 0.01 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 4.0 | -0.40 | -0.07 | 0.36 | 0.43 | 0.28 | 0.13 | 0.05 | 0.02 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 5.0 | -0.18 | -0.33 | 0.05 | 0.36 | 0.39 | 0.26 | 0.13 | 0.05 | 0.02 | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 6.0 | 0.15 | -0.28 | -0.24 | 0.11 | 0.36 | 0.36 | 0.25 | 0.13 | 0.06 | 0.02 | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 7.0 | 0.30 | 0.00 | -0.30 | -0.17 | 0.16 | 0.35 | 0.34 | 0.23 | 0.13 | 0.06 | 0.02 | — | — | — | — | — | — | — |
| 8.0 | 0.17 | 0.23 | -0.11 | -0.29 | -0.10 | 0.19 | 0.34 | 0.32 | 0.22 | 0.13 | 0.06 | 0.03 | — | — | — | — | — | — |
| 9.0 | -0.09 | 0.24 | 0.14 | -0.18 | -0.27 | -0.06 | 0.20 | 0.33 | 0.30 | 0.21 | 0.12 | 0.06 | 0.03 | 0.01 | — | — | — | — |
| 10.0 | -0.25 | 0.04 | 0.25 | 0.06 | -0.22 | -0.23 | -0.01 | 0.22 | 0.31 | 0.29 | 0.20 | 0.12 | 0.06 | 0.03 | 0.01 | — | — | — |
| 12.0 | 0.05 | -0.22 | -0.08 | 0.20 | 0.18 | -0.07 | -0.24 | -0.17 | 0.05 | 0.23 | 0.30 | 0.27 | 0.20 | 0.12 | 0.07 | 0.03 | 0.01 | — |
| 15.0 | -0.01 | 0.21 | 0.04 | -0.19 | -0.12 | 0.13 | 0.21 | 0.03 | -0.17 | -0.22 | -0.09 | 0.10 | 0.24 | 0.28 | 0.25 | 0.18 | 0.12 | — |

Source: E. Cambi, *Bessel Functions*, Dover Publications, Inc., New York, N.Y., 1948. Courtesy of the publisher.

Gambar 10. Tabel fungsi Bessel

J_i : nilai amplituda komponen frekuensi sideband ke i ($i \neq 0$)

J_0 : nilai amplituda komponen frekuensi sinyal pembawa (bukan sideband)

$\beta = m_f$: indeks modulasi

Lebar bandwidth pada modulasi FM dapat ditentukan menggunakan teorema carson sebagai berikut :

$$BW\{FM\} = 2(f\{d\} + f\{m\})$$

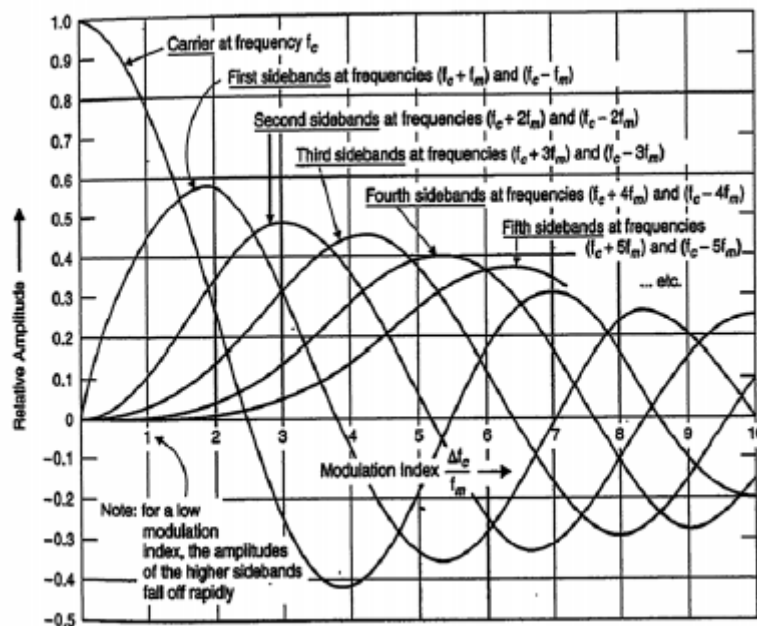
dimana,

f_d = frekuensi deviasi

f_m = frekuensi maksimum sinyal pemodulasi

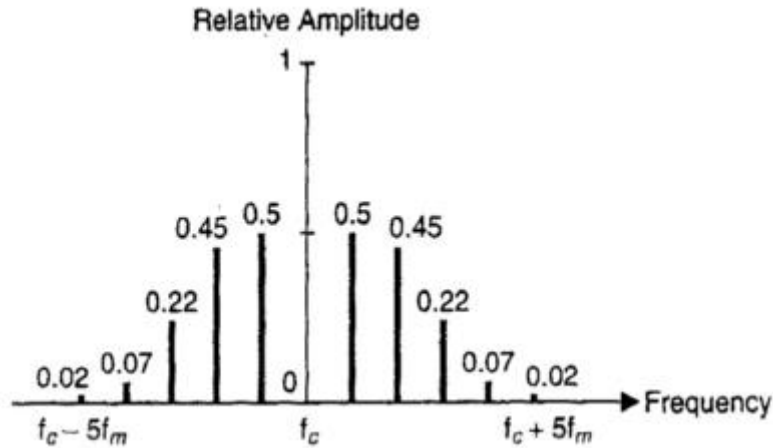
Karakter dari transmisi modulasi frekuensi (Frequency Modulation, FM) adalah :

- Tidak dapat dipantulkannya gelombang elektromagnetik dari modulasi frekuensi sehingga jarak pancaran adalah line of sight dan terbatas pada daya pancar.
- Ketahanan modulasi terhadap noise pada transmisi modulasi frekuensi, sehingga kualitas sinyal informasi yang diterima jernih seperti aslinya.



Gambar 11. Penyelesaian fungsi Bessel orde ke-n untuk berbagai indeks modulasi

Dengan memasukkan nilai-nilai indeks modulasi, frekuensi pembawa, dan frekuensi pemodulasinya maka dapat ditentukan pula penyelesaian fungsi Bessel yang bersangkutan. Selanjutnya dapat digambarkan spektrum frekuensi sinyal termodulasi FM yang bersangkutan. Gambar 12 memperlihatkan contoh spektrum sinyal termodulasi FM.



Gambar 12. Spektrum sinyal termulasi FM

Lebar Bidang Untuk FM

Lebar-bidang yang dibutuhkan untuk mentransmisikan sinyal FM adalah:

$$BW = 2 (n \cdot f_m)$$

Dengan n adalah nilai tertinggi komponen bidang-sisi dan f_m adalah frekuensi tertinggi pemodulasi. Oleh karena pada kenyataannya nilai n mencapai tak hingga, maka secara teoritis lebar bidang yang dibutuhkan adalah tak hingga pula. Namun, amplitudo komponen bidang sisi untuk n yang bernilai besar menjadi tidak terlalu signifikan sehingga kontribusinya dapat diabaikan. Dengan pertimbangan ini, maka nilai n yang digunakan untuk menentukan lebar bidang adalah nilai n yang masih memberikan kontribusi signifikan pada amplitudo komponen bidang sisinya. Kontribusi yang dapat dianggap signifikan adalah yang memberikan tegangan sebesar minimal 1% atau -40 dB. Hal ini dapat dilihat pada tabel fungsi Bessel, misalnya untuk m_f sebesar 5 maka jumlah n yang signifikan adalah 8 (sampai dengan J_8 , untuk $n > 8$ diabaikan).

Pada tahun 1938 J.R. Carson menyatakan bahwa untuk mentransmisikan sinyal termulasi FM dibutuhkan lebar bidang minimal dua kali jumlahan deviasi frekuensi dengan frekuensi maksimum sinyal termulasi. Selanjutnya hal ini dikenal dengan *Carson's rule* dan dapat dinyatakan sebagai:

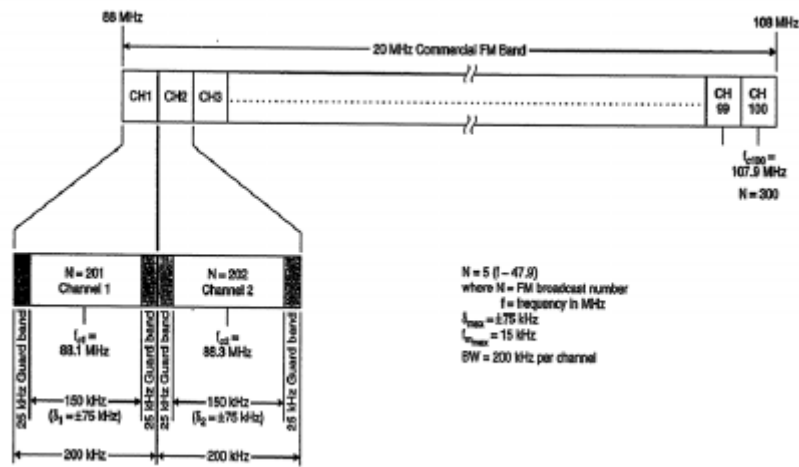
$$BW = 2 (\delta + f_m)$$

dengan δ adalah deviasi frekuensi dan f_m adalah frekuensi tertinggi sinyal pemodulasi.

FCC telah mengalokasikan lebar bidang sebesar 200 kHz untuk siaran FM (disebut FM bidang lebar atau *wideband FM*). Deviasi frekuensi maksimum yang diijinkan adalah sebesar $\delta = \pm 75$ kHz. Dengan batasan ini, maka besarnya indeks modulasi juga dibatasi (mulai sebesar $m_f = 5$ untuk $f_m = 15$ kHz hingga sebesar $m_f = 1500$ untuk $f_m = 50$ Hz). Gambar 13 memperlihatkan bidang frekuensi untuk siaran komersial FM.

Selain yang telah dibahas di atas, FCC juga mengalokasikan bidang frekuensi untuk siaran FM bidang sempit (*narrowband FM*) sebesar 10 – 30 kHz. Indeks modulasinya dibuat mendekati satu sehingga lebar bidang yang diperlukan sama dengan lebar bidang untuk sinyal

AM yaitu hanya sebesar $2 \times f_m$. Contoh FM bidang sempit antara lain sistem radio mobil untuk polisi, dinas kebakaran, pelayanan taksi, telepon seluler, radio amatir, dan lain-lain.

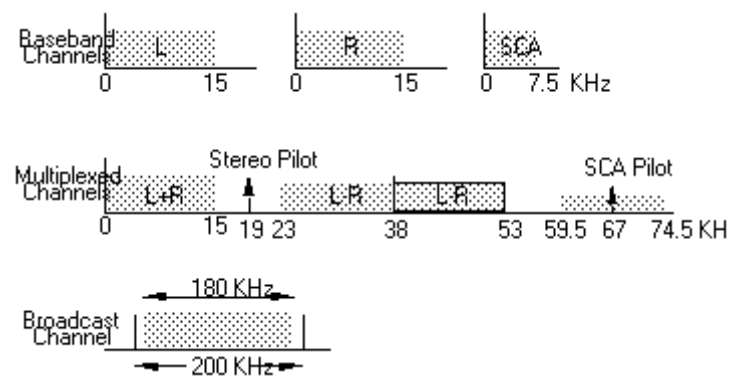


Gambar 13. Bidang frekuensi untuk siaran komersial FM

Stereo Modulator

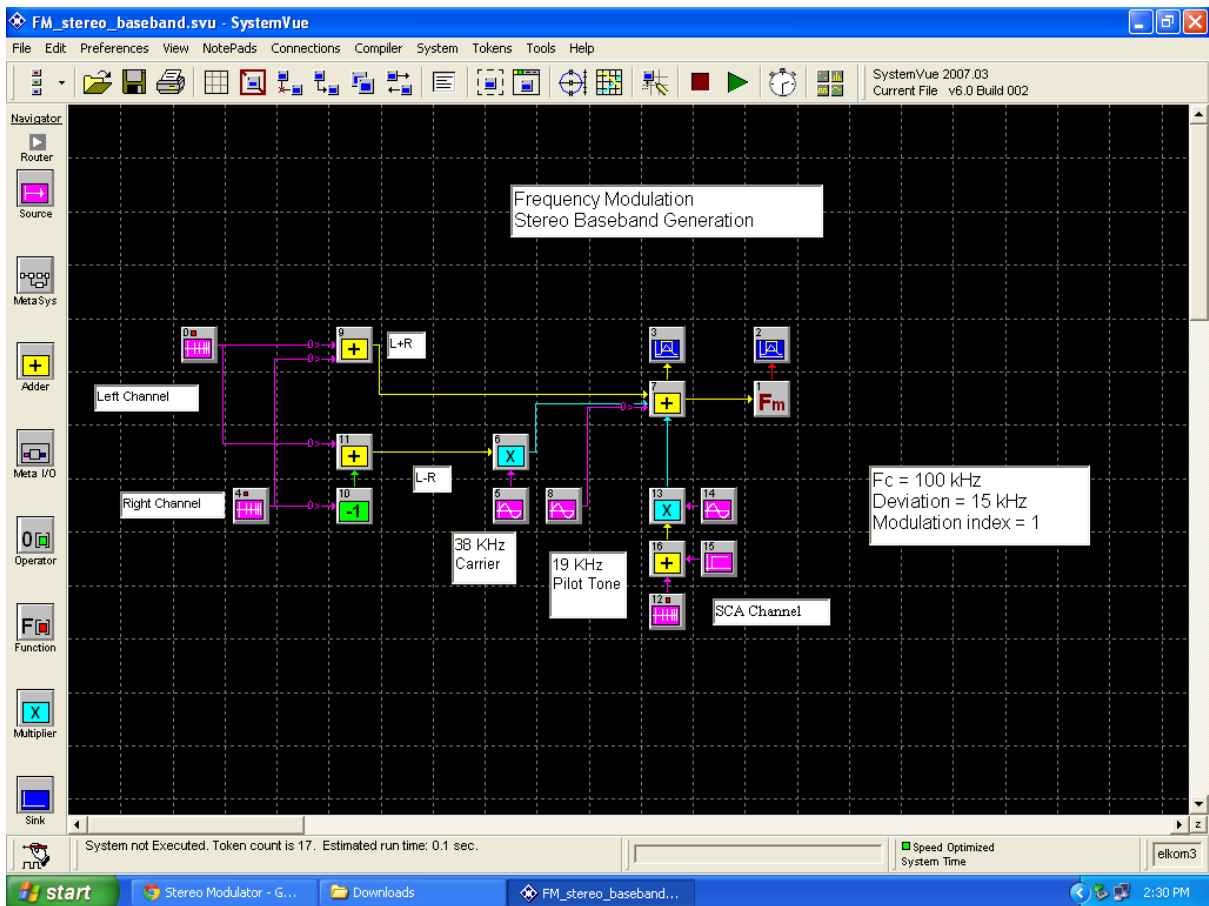
FM Stereo Modulator

Stereo mensyaratkan bahwa ada sinyal pita twobase. Banyak stasiun radio juga disiarkan saluran 3 yang digunakan untuk musik latar belakang. Sinyal-sinyal baseband multiplexing bersama-sama dan digunakan untuk memodulasi frekuensi pembawa FM.

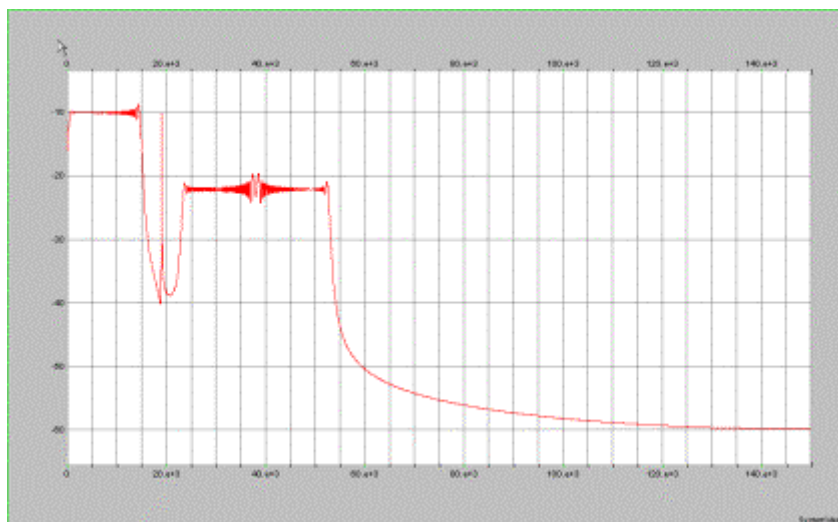


Gambar 14. FM Carrier

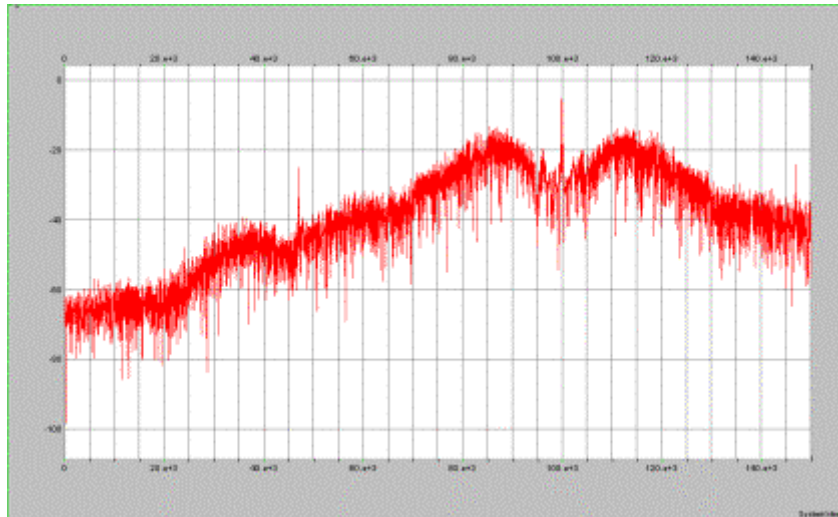
Amplitudo sinyal komponen multiplexing menurun seiring dengan meningkatnya frekuensi. Hal ini untuk mencegah operator dari luar menyimpang di saluran siaran yang ditugaskan.



Gambar 15. Rangkaian FM Stereo Modulator



Gambar 16. Tampilan spektrum FM stereo baseband



Gambar 17. Tampilan spektrum FM stereo transmission