

DEMODULASI DELTA

Budihardja Murtianta

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik – UKSW
Jalan Diponegoro 52-60, Salatiga 50711
Email: budihardja@yahoo.com

INTISARI

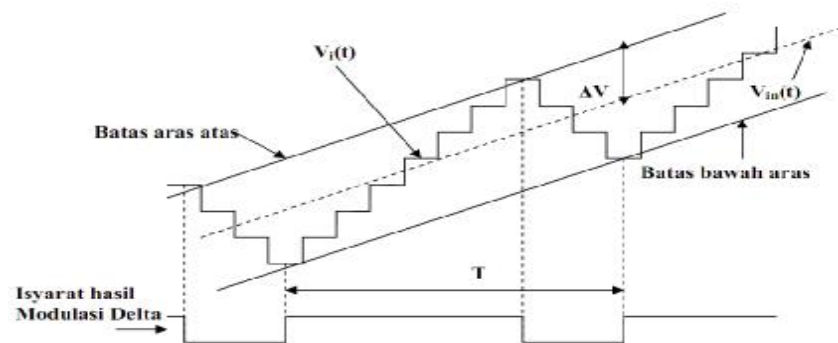
Demodulasi Delta merupakan salah satu dari beberapa macam demodulasi digital yang merupakan suatu teknik konversi sinyal *digital to analog*. Demodulasi Delta dapat memproses sinyal suara yang dikirim secara digital menjadi sinyal suara kembali dengan mengekstrak kembali sinyal digital menjadi sinyal analog serta menekan noise seminimal mungkin untuk mendapatkan kembali sinyal suara. Demodulasi Delta merupakan proses kebalikan dari Modulasi Delta, dimana dalam proses Demodulasi Delta ini sinyal informasi didapatkan kembali dari isyarat termodulasi dengan memisahkan sinyal pemodulasi dari sinyal pembawa termodulasi dan meniadakan sinyal pembawa. Rangkaian Demodulasi Delta terdiri dari beberapa bagian untai yaitu: Penerima FM, Demodulator FSK dan Demodulator Delta yang terdiri dari Integrator dan Detektor Selubung. Pada penelitian ini akan ditunjukkan proses sinyal termodulasi yang diterima dan diproses Demodulator Delta hingga menjadi sinyal informasi.

Kata kunci : Demodulasi Delta, *integrator*, detektor selubung.

1. PENDAHULUAN

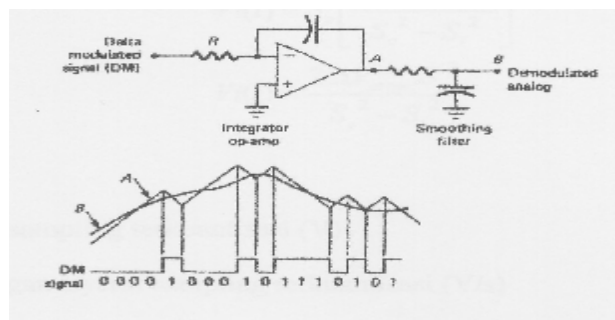
Demodulasi Delta merupakan proses kebalikan dari Modulasi Delta, dimana dalam proses Demodulasi Delta ini sinyal pemodulasi didapatkan kembali dari sinyal pembawa termodulasi. Informasi yang dikirim diproses oleh Modulator Delta sebagai sinyal pemodulasi yang selanjutnya ditumpangkan sinyal pembawa pada pengirim atau

pemancar untuk dipancarkan. Isyarat pada Modulator Delta yang akan diproses kembali menjadi isyarat informasi ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Isyarat Sampling Terkuantisasi $V_i(t)$ dan Isyarat Masukan $V_{in}(t)$.

Pada penerima atau demodulator, informasi diperoleh kembali dengan memisahkan sinyal pemodulasi dari pembawa termodulasi dan meniadakan pembawa. Isyarat digital hasil Modulasi Delta akan diterima oleh penerima FM kemudian keluarannya berupa perubahan frekuensi dimasukkan ke Demodulator FSK agar diperoleh isyarat digital berupa data *high* dan *low*. Isyarat digital tersebut diumpankan ke Demodulator Delta dengan tujuan untuk memperoleh kembali isyarat informasi yang berupa besaran analog. Gambar 2 berikut adalah untaian dasar Demodulator Delta:



Gambar 2. Demodulator Delta.

Pada perancangan ini digunakan untaian integrator diskret dimana integrator diskret ini berupa tegangan *successive* isyarat cuplik terkuantisasi, isyarat ini mengandung isyarat informasi pada setiap *peak*-nya. Untuk itu isyarat sampling terkuantisasi ini dihubungkan ke detektor selubung dengan nilai R dan C yang dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 V_i(t) &= \int_0^{T_{on}} S_c(t) dt \\
 V_i(t) &= S_c \cdot [t]_0^{T_{on}} \\
 V_i(t) &= S_c \cdot T_{on} \\
 Vi(t) &= S_c \left[\frac{2 \cdot \Delta V_{error} \cdot S_c}{S_c^2 - S_i(t)^2} \right] \\
 Vi(t) &= \frac{2 \cdot \Delta V_{error} \cdot S_c^2}{S_c^2 - S_i(t)^2}
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

Dimana :

$V_i(t)$ = isyarat sampling terkuantisasi (V)

S_c = kemiringan isyarat sampling terkuantisasi (V/s)

$S_i(t)$ = kemiringan isyarat masukan (V/s)

Selama periode pengosongan kapasitor (C), tegangan keluaran (V_o) dari detektor selubung yang tersusun atas R_1 terhubung paralel dengan C_1 dapat ditentukan dengan persamaan :

$$V_o = V \cdot e^{-(t-t_0)/R_1C_1}$$

Dimana $V_i(t)$ merupakan fungsi t_0 :

(2)

$$V_i(t_0) = \frac{2 \cdot \Delta V_{error} \cdot S_c^2}{S_c^2 - S_i(t_0)^2}$$

Laju kemiringan (S_{RC}) dari pengosongan kapasitor dapat ditentukan nilainya terhadap t_0 maka :

$$\begin{aligned}
 S_{RC} &= \frac{dV_o}{d(t-t_0)} \\
 S_{RC} &= -\frac{V}{R_1C_1} \\
 R_1C_1 &= \frac{V}{S_{RC}}
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

Dari persamaan diatas dapat dianalogikan V sebagai isyarat sampling terkuantisasi $V_i(t)$ dan laju kemiringan pengosongan kapasitor (S_{RC}) dianalogikan dengan laju kemiringan isyarat sampling terkuantisasi (S_c), maka persamaan akan menjadi sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 R_1 C_1 &= \frac{V_i(t_o)}{S_c} \\
 R_1 C_1 &= \frac{\left(\frac{2 \cdot \Delta V_{error} \cdot S_c^2}{S_c^2 - S_i(t_o)^2} \right)}{S_c} \\
 R_1 C_1 &= \frac{2 \cdot \Delta V_{error} \cdot S_c}{S_c^2 - S_i(t_o)^2}
 \end{aligned} \tag{4}$$

Untuk periode pensakelaran dengan nilai maksimum persamaan menjadi :

$$R_1 C_1 = \frac{2 \Delta V_{error}}{S_c \left[1 - \left(\frac{\omega V}{S_c} \right)^2 \right]} \tag{5}$$

Pada saat periode pensakelaran maksimum maka $\Delta V_{error} = q$. Sedangkan laju kemiringan dari isyarat sampling terkuantisasi mempunyai persamaan sebagai berikut :

$$S_c = \frac{q}{T_{clock}} \tag{6}$$

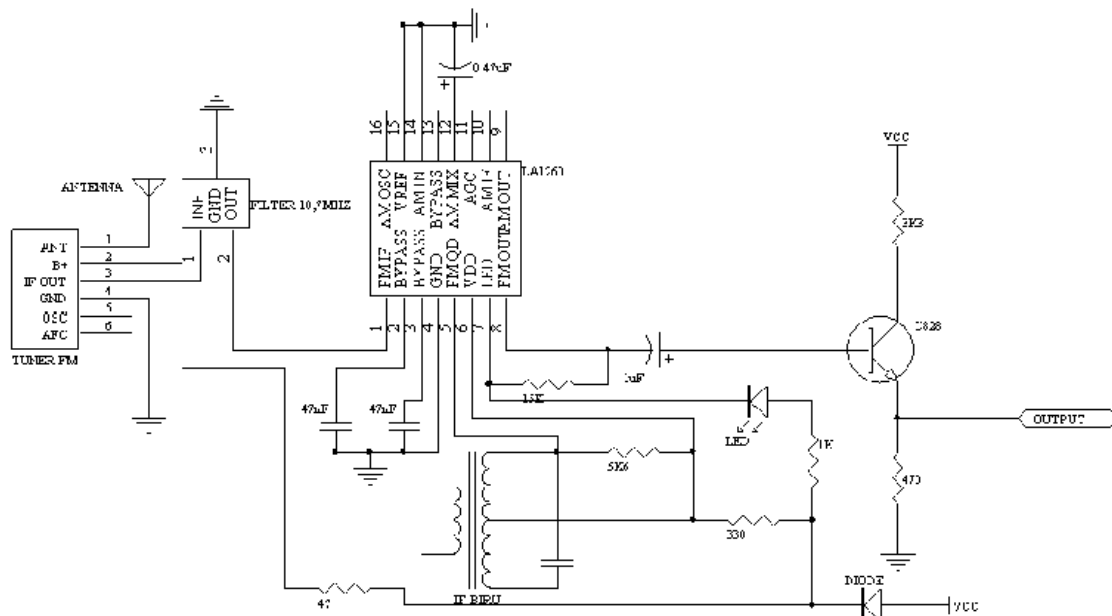
Sehingga untuk mendapatkan nilai R_1 dan C_1 dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 R_1 C_1 &\leq \frac{2 \cdot q}{\left(\frac{q}{T_{clock}} \right) \left[1 - \left(\frac{\omega V}{S_c} \right)^2 \right]} \\
 R_1 C_1 &\leq \frac{2 \cdot T_{clock}}{\left[1 - \left(\frac{\omega V}{S_c} \right)^2 \right]}
 \end{aligned} \tag{7}$$

2. FM DEMODULATOR

Setelah dipancarkan melalui udara, isyarat hasil modulasi FM akan diubah kembali menjadi isyarat termodulasi FSK dan hal itu dilakukan oleh penerima FM / demodulator FM dengan proses yang disebut demodulasi FM. Untai demodulator FM ini berfungsi untuk mengubah isyarat hasil modulasi FM yang berupa gelombang *Radio Frequency* (RF) menjadi isyarat termodulasi FSK yang merupakan isyarat informasi dari pemancar FM. Untai demodulator FM ini terdiri dari 3 bagian yaitu *tunner* FM, detektor frekuensi dan penguat. *Tunner* FM berfungsi untuk menangkap gelombang RF yang dipancarkan oleh pemancar FM pada frekuensi pembawa. Kemudian gelombang RF yang ditangkap oleh *tunner* FM dicampurkan oleh isyarat yang dihasilkan oleh Osilator Lokal untuk kemudian diubah frekuensinya pada *Intermediate Frequency*

yang besarnya 10,7MHz. Isyarat tersebut akan diubah menjadi isyarat termodulasi FSK kembali oleh detektor frekuensi menggunakan IC LA1260 untuk kemudian dihubungkan ke penguat untuk menguatkan isyarat hasil deteksi. Gambar 3 berikut adalah untai dari demodulator FM :



Gambar 3. Untai Demodulator FM.

3. UNTAI DEMODULATOR FSK

Untai FSK Demodulator (Gambar 4.) berfungsi untuk mendapatkan kembali pulsa hasil Modulasi Delta setelah pada untai FSK Modulator direpresentasikan menjadi isyarat sinus dengan frekuensi f_1 untuk *high* dan f_2 untuk *low* . Untuk merealisasikannyadigunakan IC Demodulator FSK /*Tone Decoder* XR2211. Untuk untai perancangannya berdasarkan *datasheet* ada beberapa nilai yang harus didapatkan dengan perhitungan sebagai berikut :

1. Frekuensi tengah (f_0) :

$$f_0 = \sqrt{f_1 \cdot f_2}$$

$$f_0 = \sqrt{11000 \cdot 9000}$$

$$f_0 = 10488\text{Hz}$$

2. Resistor pewaktu R_o terhubung pada pin 12. Nilai R_o harus berkisar antara 10kOhm dan 20kOhm. Berdasarkan datasheet nilai R_o disarankan sebesar 10kOhm dipasang seri dengan potensiometer sebesar 5kOhm untuk penyetelan VCO. Sehingga nilai $R_t = R_o + R_{pot} = 10kOhm + 5kOhm = 15kOhm$.
3. Kapasitor C_o (terhubung pada pin 14 dan 13)

$$C_o = \frac{1}{f_o \cdot R_t}$$

$$C_o = \frac{1}{10488,15000}$$

$$C_o = 6,35nF$$

4. Hambatan R_1 (terhubung pada pin 11 dan 12).

$$R_1 = \frac{2 \cdot R_o \cdot f_o}{(f_1 - f_2)}$$

$$R_1 = \frac{2 \cdot 10000 \cdot 10488}{2000}$$

$$R_1 = 104,88k\Omega$$

5. Kapasitor C_1 (terhubung pada pin 11 dan ground). Faktor dumping dengan nilai $\zeta = 5,0$.

$$C_1 = \frac{1250 \cdot C_o}{R_1 \cdot \zeta^2}$$

$$C_1 = \frac{1250 \cdot 6,35}{104880 \cdot (0,5)^2}$$

$$C_1 = 0,75pF$$

6. R_f (terhubung pada pin 11 dan 8)

$$R_f = 5 \cdot R_1$$

$$R_f = 5 \cdot 104880$$

$$R_f = 525k\Omega$$

7. R_b (terhubung pada pin 7 dan 8)

$$R_b = 5 \cdot R_f$$

$$R_b = 5 \cdot 525000$$

$$R_b = 2,625 M\Omega$$

8. R_{sum}

$$R_{sum} = \frac{(R_f + R_1) R_b}{(R_f + R_1 + R_b)}$$

$$R_{sum} = \frac{(525000 + 104880) 2,625}{(525000 + 104880 + 2,625)}$$

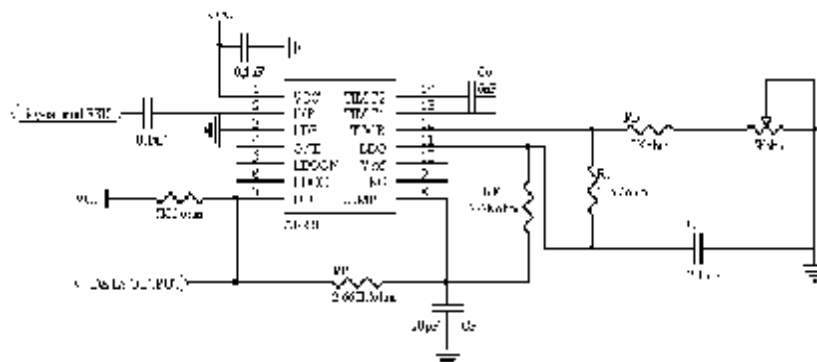
$$R_{sum} = 510 k\Omega$$

9. Kapasitor C_f (terhubung pada pin 8 dan ground). Kapasitor ini menentukan baudrate dari isyarat masukan modulasi FSK.

$$C_f = \frac{0,25}{(R_{sum} \cdot Baudrate)}$$

$$C_f = \frac{0,25}{(510000 \cdot 8000)}$$

$$C_f = 612,74 nF$$



Gambar 4. Untai Demodulator FSK.

Pada komunikasi nirkabel ini isyarat informasi dari untai pemancar FM berupa isyarat analog yaitu isyarat sinus dari hasil modulasi FSK, isyarat sinus ini mempunyai frekuensi pada *bandwidth* suara manusia yaitu antara frekuensi 20Hz-20kHz. Pada komunikasi modulator dan demodulator secara nirkabel data yang dikirimkan

hanyalah isyarat hasil modulasi delta. Untai Demodulator Delta terdiri dari untai integrator dan tapis lolos bawah.

4. UNTAI INTEGRATOR

Untai integrator ini menggunakan komponen pasif R dan C, sedangkan komponen pasifnya adalah Op-Amp LM324. Untai integrator ini berfungsi untuk mengubah isyarat digital hasil modulasi Delta menjadi isyarat yang terintegrasi. Untuk menghitung nilai R dan C maka digunakan persamaan sebagai berikut :

$$V_{out} = -\frac{1}{R.C} \int_0^{T_{dm}} V_{in}.dt$$

$$V_{out} = -\frac{V_{in}.T_{dm}}{R.C} \quad (8)$$

Dari persamaan tersebut dapat dilihat bahwa tegangan keluaran (Vout) dari untai ini sebanding dengan integral waktu selama T_{dm} dari tegangan inputnya (Vin). Dengan nilai periode pensakelaran minimum dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$T_{dm_min} = \frac{2.q}{\left(\frac{q}{T_{clock}}\right) \left[1 - \left(\frac{\omega V}{Sc}\right)^2\right]}$$

$$T_{dm_min} = \frac{2.T_{clock}}{\left[1 - \left(\frac{\omega V}{Sc}\right)^2\right]} \quad (9)$$

Untuk f_{clock} sebesar 4kHz maka $T_{clock} = 1 / 4000\text{Hz}$. Dengan merubah nilai f_{clock} maka nilai amplitudo dari isyarat informasi juga harus diubah. Besar perubahan nilai amplitudo isyarat informasi dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$\begin{aligned}\Delta t &= \frac{1}{2 \cdot f_{clock}} = \frac{\Delta V}{2\pi fV} \\ \frac{1}{2.4000} &= \frac{0,3}{2\pi \cdot 76.V} \\ V &= 5V\end{aligned}\tag{10}$$

Nilai Sc dapat dihitung menggunakan persamaan (6):

$$\begin{aligned}Sc &= \frac{q}{T_{clock}} \\ Sc &= \frac{0,3}{1} \\ Sc &= 1200V / s\end{aligned}$$

Maka T_{dm_min} :

$$\begin{aligned}T_{dm_min} &= \frac{2 \cdot T_{clock}}{\left[1 - \left(\frac{\omega V}{Sc}\right)^2\right]} \\ T_{dm_min} &= \frac{2 \cdot \frac{1}{4000}}{\left[1 - \left(\frac{2\pi \cdot 76.5}{1200}\right)^2\right]}\end{aligned}$$

Jika persamaan diatas maka pada pembilang akan dihasilkan nilai negatif, hal itu dikarenakan kemiringan isyarat informasi terlalu besar daripada kemiringan dari isyarat sampling terkuantisasi. Untuk menghindari hal tersebut maka amplitudo dari isyarat informasi diperkecil misalnya menjadi 1,5Vpp. Sehingga akan dihasilkan nilai T_{dm_min} sebagai berikut :

$$\begin{aligned}T_{dm_min} &= \frac{2 \cdot \frac{1}{4000}}{\left[1 - \left(\frac{2\pi \cdot 76.1,5}{1200}\right)^2\right]} \\ T_{dm_min} &= \frac{1}{[1 - 0,35]} \\ T_{dm_min} &= 0,77ms\end{aligned}$$

Dengan memasukkan nilai T_{dm_min} dan tegangan input (V_{in}) sebesar 1,5Vpp ke persamaan (8) maka akan didapatkan nilai C dengan nilai $R= 10k\Omega$ sebagai berikut :

$$V_{out} = \frac{V_{in} \cdot T_{dm_min}}{R \cdot C}$$

$$\omega V = \frac{V_{in} \cdot T_{dm_min}}{R \cdot C}$$

$$RC \geq \frac{V_{in} \cdot T_{dm_min}}{\omega V}$$

$$RC \geq \frac{5,0,77 \cdot 10^{-3}}{2\pi \cdot 76,5}$$

$$10000 \cdot C \geq 5,37 \cdot 10^{-6}$$

$$C \geq 5,37 \cdot 10^{-10}$$

$$C \geq 0,53nF$$

Nilai C hasil perhitungan tersebut adalah nilai minimum. Pada untai digunakan nilai C sebesar 10nF (Gambar 5).

5. UNTAI TAPIS LOLOS RENDAH

Untai tapis lolos rendah ini berfungsi untuk menapis frekuensi tinggi yang masih terkandung pada isyarat keluaran dari untai integrator sehingga diharapkan didapatkan kembali isyarat informasi berupa isyarat sinus yang merupakan frekuensi tunggal. Untai tapis lolos rendah ini terdiri dari komponen pasif R dan C. Untai tapis lolos rendah ini mempunyai frekuensi penggal (f_p) yang memenuhi persamaan sebagai berikut :

$$f_p = \frac{1}{2\pi R_p \cdot C_p} \quad (11)$$

Dimana :

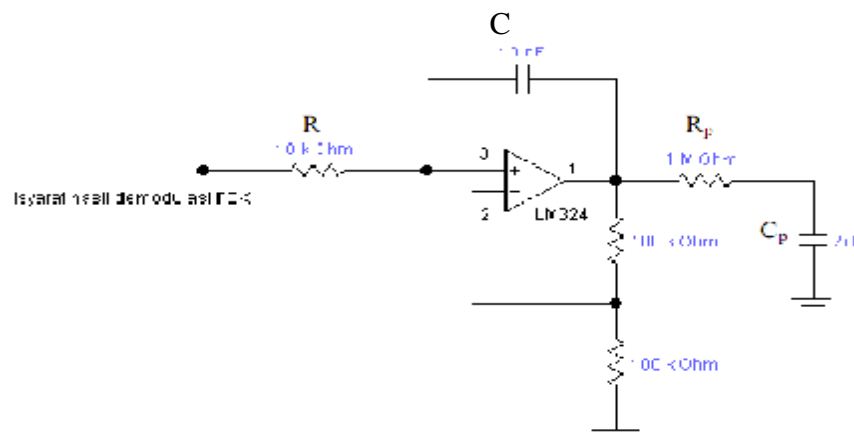
f_p = frekuensi penggal dari tapis (Hz)

R_p = hambatan (Ohm)

C_p = kapasitor(F)

Untuk mendapatkan isyarat informasi sebesar 76Hz maka frekuensi penggal juga bernilai 76Hz. Dengan nilai $R = 1\text{M}\Omega$ maka akan didapatkan nilai kapasitor $C = 2,09\text{ nF}$.

Berikut gambar untai Delta Demodulator



Gambar 5. Untai Demodulator Delta.

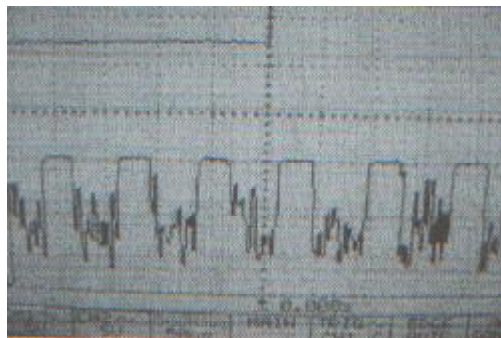
6. PENGUKURAN DAN ANALISA

Pengukuran yang dilakukan pada rancangan ini yaitu:

1. Isyarat sampling terkuantisasi pada demodulator
2. Isyarat keluaran hasil demodulasi (demodulasi *delta*, demodulasi FSK, demodulasi FM)

6.1 Demodulasi FM

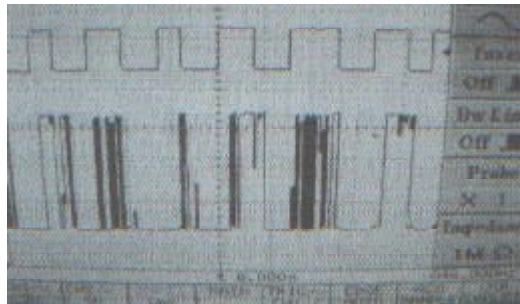
Isyarat informasi berupa hasil modulasi FSK yang telah dipancarkan melalui udara akan diterima oleh antenna pada penerima FM. Hasil demodulasi FM dapat dilihat pada Gambar 6. Dari gambar tersebut terlihat isyarat sinus yang terpotong pada bagian puncak dan lembahnya, hal itu dikarenakan penguatan pada keluaran IC LA1260 yang terlalu besar sehingga melebihi tegangan sumber sebesar 12V. Selain itu isyarat yang diterima juga telah tercampur dengan *noise* yang mengakibatkan isyarat terlihat cacat.



Gambar 6. Isyarat hasil demodulasi FM.

6.2 Demodulasi FSK

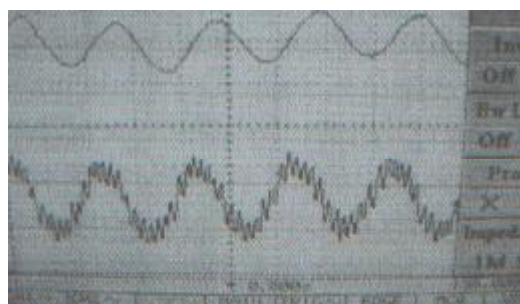
Untuk memperoleh isyarat hasil modulasi Delta yang telah direpresentasikan oleh Modulator FSK maka diperlukan demodulasi FSK. Hasil demodulasi FSK ini dapat dilihat pada Gambar 7. Pada gambar tersebut diperlihatkan isyarat digital hasil modulasi Delta sebelum dipancarkan melalui udara dan isyarat digital hasil modulasi Delta setelah dipancarkan melalui udara. Untuk isyarat digital dengan nilai '*high*' mempunyai tegangan DC sebesar 12V sesuai dengan tegangan pada sumber, sedangkan untuk pulsa dengan nilai '*low*' mempunyai tegangan DC sebesar 0 V. Isyarat yang telah didemodulasi FSK terdistorsi dengan noise sehingga isyarat mengalami cacat, tetapi hasil ini sudah cukup baik.



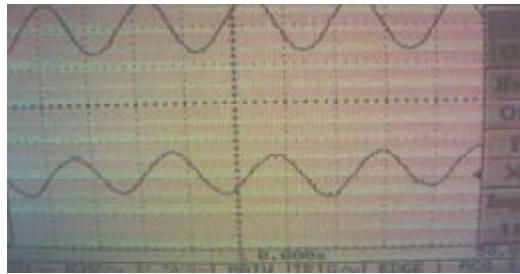
Gambar 7. Isyarat digital hasil modulasi Delta sebelum dipancarkan (atas) dan isyarat hasil demodulasi FSK setelah dipancarkan (bawah)

6.3 Demodulasi Delta

Demodulator Delta terdiri atas *staircase generator* dan detektor puncak (tapis lolos rendah) . Komponen dan penyusun untai *staircase generator* sama persis dengan untai *staircase generator* pada sistem modulasi *Delta*. Dengan mengambil nilai puncak sesuai dengan persamaan 2. dari isyarat cuplik terkuantisasi maka akan didapatkan isyarat informasi yaitu isyarat sinus yang mempunyai frekuensi tunggal. Hasil demodulasi delta diperlihatkan Gambar 8 dan 9. Dari hasil percobaan tersebut terlihat bahwa keluaran integrator belum terbentuk isyarat sinus yang cukup baik. Untuk itu perlu dihubungkan tapis lolos rendah yang akan mendeteksi puncak dari isyarat hasil integrator sehingga dihasilkan isyarat sinus yang sama dengan isyarat informasi.

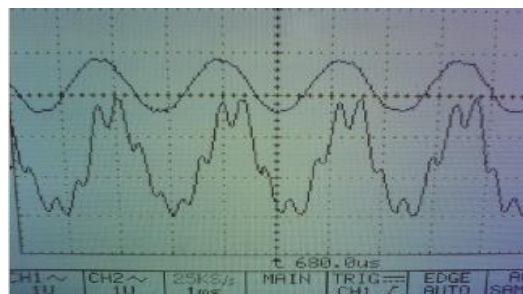


Gambar 8. Isyarat hasil demodulasi delta (atas) dan isyarat keluaran integrator.



Gambar 9. Isyarat informasi (atas) dan isyarat hasil demodulasi delta (bawah).

Jika frekuensi pencuplik diubah menjadi 4 KHz akan terjadi *slope overload* yaitu keadaan dimana isyarat sampling terkuantisasi tidak dapat mengikuti laju dari perubahan isyarat sinus. Pada percobaan saat terjadi *slope overload*, isyarat keluaran dari demodulasi delta akan terjadi *distorsi* sehingga tidak akan didapatkan isyarat informasi secara sempurna, hal itu ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Perbandingan antara isyarat informasi (atas) dan isyarat hasil demodulasi (bawah)

6.4 Pengukuran Bit Error Rate (BER)

BER diukur pada isyarat hasil modulasi delta setelah dipancarkan melalui udara. Pada percobaan ini nilai BER didapatkan dari berapa banyak kesalahan bit yang diterima dari 10 bit yang dikirimkan.

$$\text{BER} = \frac{\text{jumlah kesalahan bit}}{\text{total bit}} \times 100\%$$

banyak bit yang dikirimkan

Gambar 11. menunjukkan perbandingan antara isyarat hasil modulasi delta sebelum dipancarkan melalui udara dan isyarat hasil modulasi delta setelah dipancarkan melalui udara, dari hasil percobaan tersebut terdapat kesalahan pada bit ke-7 yang seharusnya bernilai '0' akan tetapi setelah dipancarkan melalui udara dan melalui proses demodulasi FM dan FSK data yang diterima berupa '1'.

Sehingga nilai BER = 10%. Dari 10 kali percobaan diperoleh BER rata-rata sebesar 1%.



Gambar 11. Isyarat hasil modulasi delta (atas) dan isyarat hasil modulasi delta setelah dipancarkan melalui udara (bawah).

7. KESIMPULAN

- Pada percobaan melalui udara ini data yang dikirimkan hanya isyarat hasil modulasi FSK saja. Oleh karena itu demodulator hanya terdiri dari integrator dan filter. Hasil demodulasi demodulator ini adalah isyarat sinus yang hampir sama dengan isyarat informasi. Akan tetapi untuk frekuensi yang sangat rendah dihasilkan isyarat yang cacat, hal itu dikarenakan waktu yang dibutuhkan untuk mendeteksi *peak* hasil dari integrator lebih besar dari *time constant* dari komponen filter yaitu R dan C.
- Untuk frekuensi sampling lebih kecil dari persyaratan minimum akan terjadi *slope overload* yaitu keadaan dimana isyarat sampling terkuantisasi tidak dapat mengikuti laju dari perubahan isyarat sinus.

- *Bit Error Rate* yang terjadi pada percobaan secara *nirkabel* disebabkan ralat komponen pada untai demodulator FSK.

DAFTAR PUSTAKA

1. Haykin, Simon, Digital Communication , McGraw-Hill, Series in Electrical Engeneering, 2002.
2. Herbert L. Krauss, Charles W. Bostian, Frederick H. Raab, Teknik Radio Benda Padat , Jakarta, Penerbit Universitas Indonesia, 1990.
3. Rappaport, Theodore. S, Wireless Communication System 2nd Edition, Upper Saddle River, Prentice-Hall, 2002.
4. Tocci, Ronald J, Digital System, Principle, and Application , 5th Edition, Englewood Cliff, Prentice Hall, 1991.
5. Tomasi, Wayne, Advanced Electronic Communication System , 2nd Edition, Englewood Cliff, Prentice Hall International, 1992.
6. Young, Paul H, Electronic Communication Technique , 5th Edition, New Jersey, Pearson Prentice Hall, 2004.